

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE
ACTIVIDADES DE KINESIOTERAPIA ACTIVA PARA TELÉFONOS
INTELIGENTES**

EDISSON GABRIEL ORTEGA ROSERO



UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
SANTIAGO DE CALI
2014

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE
ACTIVIDADES DE KINESIOTERAPIA ACTIVA PARA TELÉFONOS
INTELIGENTES**

EDISSON GABRIEL ORTEGA ROSERO

Trabajo de grado Ingeniería Electrónica
Universidad del Valle

Director:

José Miguel Ramírez Scarpetta Ph.D.

Co director:

Eval Bladimir Bacca Cortés Ph.D.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
SANTIAGO DE CALI
2014

NOTA DE ACEPTACIÓN:

José Miguel Ramírez Scarpetta Ph.D.

Eval Bladimir Bacca Cortés Ph.D.

SANTIAGO DE CALI, 27 DE NOVIEMBRE DE 2014

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	4
RESUMEN.....	10
1. CAPÍTULO I.....	11
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. MOTIVACIÓN	12
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.3. TRABAJOS RELACIONADOS	13
1.4. SOLUCIÓN PLANTEADA	15
1.5 PRESENTACIÓN DEL DOCUMENTO	16
2. CAPÍTULO II.....	17
2. KINESIOTERAPIA.....	17
2.1. INTRODUCCIÓN A LA KINESIOTERAPIA.....	17
2.1.1. Tipos de trabajo muscular:.....	18
2.1.1.1. La relajación muscular:.....	18
2.1.1.2. Trabajo muscular estático:	18
2.1.1.3. Ejercicios dinámicos:.....	19
2.1.2. Tipos de movimientos articulares:.....	21
2.1.3. Planos que definen los movimientos del cuerpo humano:.....	22
2.1.4. Cadenas cinéticas musculares:.....	23
2.2. KINESIOTERAPIA ACTIVA DE MIEMBROS SUPERIORES:.....	25
2.2.1. Hombro:	25
2.2.2. Codo:	26
2.2.3. Muñeca:	28
2.3. KINESIOTERAPIA DE TRONCO Y CUELLO:.....	28
2.4. KINESIOTERAPIA DE MIEMBROS INFERIORES:.....	30
2.4.1. Cadera:.....	30

2.4.2.	Rodilla:	33
2.4.3.	Tobillo y pie:	35
2.5.	VARIABLES DE INTERÉS DURANTE TERAPIAS DE MOVILIDAD	36
2.5.1.	Parámetros fisiológicos:	36
2.5.2.	Intensidad del ejercicio:	37
2.5.3.	Series, frecuencia, descansos y duración del ejercicio:	37
2.5.4.	Velocidad del ejercicio:	37
2.5.5.	Amplitud del movimiento:	38
2.5.6.	Otras variables de interés:	38
2.6.	RESUMEN	39
3.	CAPÍTULO III	40
3.	USO DE TELÉFONOS INTELIGENTES EN KINESIOTERAPIA	40
3.1.	TELÉFONOS INTELIGENTES Y SUS PRESTACIONES	40
3.1.1.	Acelerómetro:	41
3.1.2.	Giroscopio:	42
3.1.3.	Sensor de proximidad:	42
3.1.4.	Sensor de luz:	43
3.1.5.	Sensores Virtuales:	43
3.2.	EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS INTEGRADOS EN LOS TELÉFONOS INTELIGENTES PARA USARLOS EN LA MONITORIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE KINESIOTERAPIA	44
3.2.1.	Capacidad de reconstrucción de movimientos:	45
3.2.2.	Valoración de los sensores embebidos:	46
3.2.2.1.	Requerimientos para los acelerómetros:	47
3.2.2.2.	Requerimientos para los giroscopios:	48
3.2.2.3.	Capacidades extra:	49
3.3.	SELECCIÓN DE VARIABLES A MONITORIZAR MEDIANTE LOS RECURSOS DISPONIBLES EN LOS TELÉFONOS INTELIGENTES	50
3.4.	RESUMEN	51

4.	CAPÍTULO IV	52
4.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DEL MOVIMIENTO	52
4.1.	INTRODUCCIÓN A LOS ESQUEMAS DE FUSIÓN DE SENSORES.....	52
4.2.	REPRESENTACIÓN DE LA ROTACIÓN	57
4.2.1.	Ángulos de Euler.....	57
4.2.2.	Cuaterniones:.....	58
4.3.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....	62
4.4.	CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS BASADA EN EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN:.....	64
4.5.	ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO DE MOVIMIENTO.....	68
4.5.1.	Algoritmo de reconocimiento durante la parametrización:	68
4.5.2.	Algoritmo de monitorización durante el ejercicio:	73
4.6.	RESUMEN.....	76
5.	CAPÍTULO V.....	77
5.	DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE ACTIVIDADES (FISIO APP).....	77
5.1.	MODELO CONCEPTUAL.....	77
5.2.	ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.....	78
5.2.1.	Aplicación móvil:.....	79
5.2.1.1.	Especificación de requerimientos	79
5.2.1.2.	Diagrama de casos de uso	81
5.2.1.3.	Casos de uso reales.....	81
5.2.2.	Aplicación web.....	83
5.2.2.	Especificación de requerimientos	84
5.2.2.1.	Diagrama de casos de uso:.....	85
5.2.2.2.	Casos de uso reales.....	85
5.2.3.	Base de datos y Servidor:	85
5.3.	PRUEBAS FUNCIONALES.....	88

5.4.	MANUALES DE USUARIO.....	88
6.	CAPÍTULO VI.....	89
6.	EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN EN UNA TERAPIA DE RODILLA, PRUEBAS Y RESULTADOS.....	89
7.	CAPÍTULO VII.....	94
7.	CONCLUSIONES.....	94
7.1.	TRABAJO FUTURO.....	96
	REFERENCIAS.....	99
	ANEXOS.....	101
	Sección 1	101
	Sección 2.....	102
	Sección 3.....	111
	Sección 4.....	114
	Sección 5.....	120
	Sección 6.....	130
	Sección 7.....	144
	Sección 8.....	156
	Sección 9.....	166
	Sección 10	171

Lista de Figuras

Figura 2-1. Ejemplo de ejercicios isométricos. (a) Individual. (b) Auto asistido. (c) Con resistencia. (d) Ejercicio isométrico a diferentes ángulos.....	19
Figura 2-2. Ejemplo de ejecución de ejercicios. (a) Gravedad eliminada. (b) Contra gravedad. (c) Contra resistencia [12].....	20
Figura 2-3. Movimientos básicos de las articulaciones [14].....	22
Figura 2-4. Planos de referencia del cuerpo humano.	23
Figura 2-5. Ejemplo de cadenas cinéticas. (a) Cadena cinética abierta, el extremo distal (pie) se mueve mientras el extremo proximal se considera estático. (b) Cadena cinética cerrada de las extremidades superiores.	24
Figura 2-6. Movimientos de flexión y extensión del hombro.....	25
Figura 2-7. Aducción y abducción del hombro.	25
Figura 2-8. Rotación medial y lateral del hombro.	26
Figura 2-9. Movimiento de flexión de la articulación del codo.	27
Figura 2-10. Movimientos de supinación y pronación.....	27
Figura 2-11. Movimientos básicos de la columna vertebral.	29
Figura 2-12. Amplitud articular de los movimientos de flexión y extensión de la región cervical b. Flexión lateral.....	29
Figura 2-13. Movimientos deflexión (a) y extensión (b) de la articulación de la cadera.....	31
Figura 2-14. Movimientos de abducción (45° en cada cadera) y aducción de la cadera.	32
Figura 2-15. Rotación medial (interna) y lateral (externa) de la cadera [15].....	32
Figura 2-16. Movimientos de flexión en función de la posición de la cadera.....	34
Figura 2-17. Movimientos de rotación de la rodilla.....	34
Figura 2-18. Movimientos de la articulación del tobillo.	35
Figura 3-1. Aproximación de los principales grados de libertad del miembro superior humano.	45
Figura 3-2. Ejemplo de estructura con 3 articulaciones, la línea punteada representa una segunda solución.....	46
Figura 4-1. Representación gráfica del problema de usar la fusión de sensores para determinar la orientación [18].....	53
Figura 4-2. Esquema general del filtro complementario para calcular la orientación.	54
Figura 4-3. Uso de un filtro paso bajo para obtener la orientación a partir del acelerómetro y el giroscopio [18].....	56
Figura 4-4. Integración de la medida del giroscopio para obtener la orientación [18].	56
Figura 4-5. Uso de filtro Kalman para obtener la orientación.	57
Figura 4-6. Representación de los ángulos de Euler.....	58

Figura 4-7. Representación de los ejes de los Cuaterniones.....	59
Figura 4-8. Sistema de coordenadas del teléfono inteligente referenciadas al sistema de coordenadas globales.....	61
Figura 4-9. Selección del tipo de sensor y de la tasa de muestreo del mismo.....	62
Figura 4-10. Adquisición de los datos del sensor y del instante en que ocurre cada evento.	63
Figura 4-11. Obtención de la orientación en forma de Cuaternión normalizado y su posterior conversión.	63
Figura 4-12. Movimientos de flexo-extensión de rodilla sentado con el dispositivo ubicado en la pantorrilla.	65
Figura 4-13. Datos angulares durante una sesión de ejercicios de rodilla. (a) Dispositivo de cara al este. (b) dispositivo de cara al oeste (aproximadamente).	66
Figura 4-14. Velocidad angular sobre cada uno de los ejes durante una de las sesiones de ejercicios de rodilla.	67
Figura 4-15. Velocidad angular normalizada (eje X) y etapas del ejercicio a lo largo una sesión de terapia de rodilla.	68
Figura 4-16. Vector con las posiciones de la señal cuyos valores son inferiores a 0.05	70
Figura 4-17. Valores de amplitud (azul) y velocidad angular (rojo) normalizados durante tres repeticiones de ejercicios flexión y extensión de rodilla.	71
Figura 5-1. Esquema general del manejo de información.	78
Figura 5-2. Diagrama de casos de uso de la aplicación móvil.....	81
Figura 5-3. Diagrama de actividades de la aplicación móvil.....	83
Figura 5-4. Diagrama de casos de uso Aplicación Web.....	85
Figura 5-5. Esquema general del sistema de base datos.....	87

RESUMEN

Las actividades de fisioterapias orientadas a la movilidad, también conocidas como actividades de kinesioterapia activa, normalmente se realizan por los pacientes desde sus hogares o en los consultorios, sin una presencia permanente del especialista. Adicionalmente, las tecnologías para llevar a cabo una adecuada monitorización de tales actividades, como equipos de registro electromagnético, electro-goniómetros o laboratorios de visión artificial no son asequibles para los usuarios promedio, por lo que el especialista no cuenta con sistemas de monitorización de las actividades de kinesioterapia activa hechas por los pacientes durante su ausencia.

A lo largo de este documento se presenta el desarrollo de un sistema asequible, de bajo costo y portable que permite aprovechar las capacidades de un teléfono inteligente y usarlo como una herramienta efectiva de monitorización de actividades de kinesioterapia. Se describe la motivación que impulsó su elaboración, resaltando el hecho de que a la fecha no existen aplicaciones o trabajos similares y se presentan todas las fases que condujeron a su implementación. Se estudian las principales características de los teléfonos inteligentes y se analiza cómo estas pueden ser utilizadas para evaluar y monitorizar movimientos humanos

Atendiendo a todo esto, se desarrolló un sistema compuesto por tres entidades distintas correspondientes a una aplicación web para la gestión y administración de pacientes, una aplicación móvil capaz de monitorizar las actividades llevadas a cabo por los mismos durante las terapias de rehabilitación y, finalmente, una aplicación servidor encargada de sincronizar la información entre las aplicaciones.

El sistema respondió adecuadamente al objetivo inicialmente planteado, proporcionando una herramienta novedosa, portable y de fácil uso, capaz de mejorar los procesos de rehabilitación basados en el movimiento. El algoritmo que se encuentra en el corazón del sistema es completamente escalable y, aunque aquí se ha implementado en un tipo de ejercicio queda en evidencia que puede usarse para evaluar y monitorizar una gran cantidad de movimientos.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Generalmente, algunas de las terapias de rehabilitación física orientadas a la recuperación o evaluación de la movilidad de los pacientes (kinesioterapia), se llevan a cabo a través de procesos con poca vigilancia y una inconstante presencia del especialista. Sumado a esto, la ausencia de capacidad de los pacientes para realizar una correcta evaluación de sus tareas, su inconstancia al llevar a cabo las tareas asignadas por el especialista y la ausencia de herramientas que permitan hacer un adecuado seguimiento de tales tareas, pueden derivar en procesos de rehabilitación poco efectivos.

Por otro lado, el auge de teléfonos inteligentes y su asequibilidad permiten que las personas tengan al alcance de sus manos y a un relativo bajo costo, potentes sistemas de cómputo con amplias capacidades de procesamiento, memoria y sistemas de sensores integrados.

Teniendo en cuenta estos factores y aprovechando los sensores integrados en los teléfonos inteligentes, se ha desarrollado una aplicación que permite usar dicho dispositivo como medio para llevar a cabo la monitorización de una actividad de kinesioterapia y proporcionar así, apoyo al especialista en la evaluación y registro de la información sobre las tareas de movilidad hechas por los pacientes, ya sea en el consultorio o en el hogar.

Es así, como el hecho de diseñar una herramienta de fácil acceso que permita a los especialistas monitorizar, vigilar y mantener un registro de los ejercicios de movilidad realizados por los pacientes durante actividades de fisioterapia, sin que este esté presente durante el desarrollo de todo el ejercicio, permitirá, además de obtener información cinemática precisa de dichos movimientos, procesos de rehabilitación más controlados y efectivos.

1.1. MOTIVACIÓN

Las actividades de movilidad asignadas a los pacientes durante terapias de rehabilitación física generalmente se realizan sin una adecuada supervisión por parte del especialista. Normalmente dichas terapias se llevan a cabo mediante cortas consultas periódicas en las que el fisioterapeuta asigna una serie de tareas y evalúa el progreso del paciente, no obstante, él no cuenta con herramientas asequibles que le permitan conocer el desempeño del paciente durante las tareas llevadas a cabo en su ausencia, ya sea en el consultorio o más específicamente en el hogar. Esto deriva en procesos de rehabilitación largos, poco efectivos, incapaces de alcanzar los objetivos inicialmente planteados y que a su vez acarrearán procesos más costosos en términos de tiempo y dinero [1].

Es por ello que se ha propuesto el desarrollo de una herramienta asequible que brinde un sistema de monitoreo y registro de los ejercicios realizados por un paciente durante un proceso de fisioterapia, dando al especialista mayor control e información sobre tales tareas asignadas y generando, de ésta forma, procesos de rehabilitación más controlados y efectivos.

1.2. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Diseñar y desarrollar un sistema de monitorización de actividades de kinesioterapia activa para teléfonos inteligentes.

Objetivos específicos

1. Estudiar las variables involucradas en algunas actividades de kinesioterapia activa y su supervisión con los recursos existentes en los teléfonos inteligentes.
2. Definir los requerimientos y especificaciones para el sistema de monitorización.
3. Diseñar la arquitectura software del sistema de monitorización.
4. Desarrollar el sistema de monitorización.
5. Validar las mediciones del sistema de monitorización.
6. Aplicar a un caso específico de terapia.

1.3. TRABAJOS RELACIONADOS

En cuanto a la aplicación de dispositivos móviles en fisioterapia, hay numerosos trabajos que van desde simples aplicaciones de consulta y guía, hasta completos sistemas de medición, instrumentación y supervisión que aprovechan todo el potencial operativo de los teléfonos inteligentes de última generación. Entre algunos de los trabajos más importantes se destacan los siguientes:

- FLEEM (Free Living Expenditure Energy Monitoring System) [2]: Es uno de los trabajos más complejos realizados hasta la fecha. Desarrollado por la Universidad de São Paulo y también conocido como “El control de su salud en sus manos” es capaz de adquirir procesar y visualizar información fisiológica de las personas en su día a día.
- The Mobile Fitness Coach, evaluación de habilidades individuales usando dispositivos móviles personalizados [3]: Se presentan los resultados de la investigación de un trabajo conjunto entre 3 universidades Europeas (Suecia, Alemania y Reino Unido) acerca del desarrollo de una aplicación de evaluación de aptitudes físicas basadas en la precisión de los sensores de los dispositivos móviles, esto con el fin de proporcionar información de retroalimentación de calidad y motivar el ejercicio regular, tanto en terapias de rehabilitación en las que es necesario mantener un asesoramiento seguro y eficaz, como en ejercicio físico tradicional. El programa funciona básicamente en dos etapas, en la primera, se guarda la información y se procesa durante el ejercicio, generando así la evaluación del entrenamiento, posteriormente los datos son post procesados en tiempo real y se generan comentarios sobre aspectos individuales de la ejecución.
- iBalance-ABF, A Smartphone-Based Audio-Biofeedback Balance System [4]: Consiste en la implementación de un sistema capaz de usar los sensores inerciales de un Smartphone, con el fin de estimar y monitorizar los movimientos y evolución angular del tronco durante la marcha. Posteriormente es capaz de ayudar a mejorar el balance a través de un sistema integrado configurable de realimentación.
- JMD (Joint Motion Detector) [5]: Es una aplicación que realiza el análisis del movimiento en una articulación específica. Mediante el uso del acelerómetro y giróscopo al interior del dispositivo, recolecta datos y los grafica. Puede ser usado para medir el rango de movimiento de las rodillas, codos y muñecas. Del mismo modo es capaz de detectar las vibraciones del paciente cuando él está moviendo la articulación,

hecho que es importante para saber si la articulación no se está moviendo suavemente. Además la aplicación permite al paciente enviar sus datos al doctor mediante correo electrónico; por otro lado el fisioterapeuta puede leer los resultados y compararlos con múltiples resultados más en la base de datos de la aplicación.

- Reliability of shoulder range of motion measurement with a Smartphone [6]: Teniendo en cuenta que la medición del rango de movimiento es el primer paso en la evaluación física y funcional de la articulación del hombro y que los inclinómetros digitales disponibles en el mercado son muy costosos y poco usados, en el estudio se presenta un nuevo método para la medición del ROM (Range of Motion) de dicha articulación, el cual consiste en una aplicación de inclinómetro para un Smartphone. Se realizó un estudio con cerca de 40 personas y se comparó la medición realizada por el dispositivo con la evaluación goniometría tradicional. Las conclusiones del estudio mostraron que la medición realizada mediante el dispositivo fue bastante confiable en comparación con la medición goniométrica tradicional, y teniendo en cuenta su conveniencia y rentabilidad, la aplicación podría usarse ampliamente en clínicas y hospitales.
- Towards Evaluation of Movement Disorders via Smartphone [7]: Se describe un método basado en el uso de los sensores acelerómetros y giróscopos de un Smartphone, capaz de detectar y cuantificar los temblores y movimientos irregulares de pacientes que sufren algún tipo de desorden móvil. La aplicación se creó con el objetivo de evaluar y diagnosticar a distancia pacientes que sufren trastornos de movimiento o enfermedades como el Parkinson.

Los trabajos aquí mencionados basan sus principios de operación en la utilización de los recursos embebidos en los teléfonos inteligentes, especialmente los sensores de aceleración y giro (acelerómetro y giroscopio), a partir de los cuales se adquieren mediciones angulares, grados de inclinación e información cinemática del usuario. El objetivo principal de los mismos ha sido brindar herramientas de bajo costo que permitan reemplazar instrumentos de medición específica, y brinden un sistema de supervisión de variables fisiológicas en ausencia del especialista, todo mediante un dispositivo de fácil adquisición tal como es un teléfono inteligente.

Cabe resaltar que a la fecha de realización del presente estado del arte no hay información disponible acerca de trabajos similares realizados en el país. No se encontraron publicaciones o tesis que utilicen los sensores de un teléfono inteligente para algún tipo de medición médica. Los trabajos aquí citados son principalmente realización de universidades Europeas.

1.4. SOLUCIÓN PLANTEADA

Teniendo en cuenta esto se diseñó y desarrollo una aplicación para Smartphone basada en el sistema operativo de uso libre Android. Dicha aplicación es capaz de proporcionar seguimiento y ayuda al paciente a la hora de llevar a cabo las tareas asignadas durante una terapia de rehabilitación. El carácter libre del sistema operativo permitió asimismo diseñar este sistema de tal manera que es posible expandirlo ampliamente, la programación orientada a objetos en la que se basa, igualmente hace que resulte relativamente sencillo implementar los métodos y algoritmos creados con el fin de desarrollar la captura y seguimiento de muchos más movimientos articulares.

La aplicación móvil proporciona una interfaz bastante amigable y es capaz de aprender los parámetros adecuados para la realización de los ejercicios mediante un proceso de realización de los movimientos en compañía del especialista, sin que éste deba conocer de manera específica los valores numéricos de amplitud y velocidad adecuados de los mismos. Así, basta con que el fisioterapeuta enseñe la realización de los ejercicios al paciente con el dispositivo ubicado en su lugar, para que la aplicación almacene los valores adecuados de tales movimientos.

Posteriormente y mediante el uso de alertas sonoras, la aplicación móvil sirve de apoyo al paciente durante la realización de los ejercicios asignados, la aplicación cuenta y emite alarmas en cada una de las repeticiones, emite alertas cuando los ejercicios no se hacen de la manera adecuada y proporciona un mayor control sobre los tiempos de descanso entre cada una de las etapas de la terapia. Posteriormente, genera y envía información de las sesiones contempladas dentro de ésta, así como comentarios hechos por el paciente sobre la realización de las tareas e información cinemática de los ejercicios.

Adicional a esto se diseñó una página web que estará en manos del especialista y le servirá como herramienta de administración y manejo de pacientes, desde aquí el fisioterapeuta podrá asignar los ejercicios a cada uno de ellos y llevar el registro y comentarios sobre los resultados observados. Todo esto sincronizado mediante un sistema de archivos encargado de manejar la información que se comparte entre cada uno de los componentes de la aplicación.

La herramienta diseñada proporciona así, un método de seguimiento y guía para los pacientes por parte del especialista durante la realización de tareas de rehabilitación. Resulta ser una herramienta de muy bajo costo en comparación con soluciones comerciales, las cuales, además se utilizan para estudios de biomecánica más que para el simple monitoreo de las actividades de un paciente, por lo que se convierte también en una herramienta bastante novedosa y asequible.

1.5 PRESENTACIÓN DEL DOCUMENTO

Inicialmente y cumpliendo con el objetivo específico número uno, se exponen los conceptos que permiten entender el término de kinesioterapia, se ilustran sus tipos, aplicaciones y propósitos de uso, se hace una descripción de los ejercicios principales que la componen y sus modos de realización. Posteriormente se dejan en evidencia las variables de interés a la hora de asignar las tareas de movilidad en el marco de esta clase de terapias y se estudian desde el punto de vista de la capacidad de evaluarlas mediante un teléfono inteligente. Así, se realiza un breve estudio sobre las prestaciones de un Smartphone modemo y se evalúan sus sensores integrados para tal fin.

Más adelante, desarrollando los objetivos del dos al cinco se presentan las etapas de desarrollo software que condujeron a la creación del sistema planteado, se ilustran las diferentes etapas de su concepción y se muestran las evidencias de su implementación y correcto funcionamiento. Dicho sistema, en especial la aplicación móvil encargada de la captura de movimiento, constituye una aplicación prototipo con bastas capacidades de expansión, pues el algoritmo base diseñado para su trabajo es capaz de reconocer y monitorizar el movimiento de múltiples segmentos corporales, tal y como se explicará a lo largo de éste trabajo.

Finalmente, acorde al objetivo número seis, se evidencian los resultados de la implementación del sistema durante la realización de una terapia específica con la presencia y valoración de un fisioterapeuta y posteriormente se muestran los resultados de una serie de encuestas que permitieron evaluar la usabilidad y practicidad del sistema creado.

CAPÍTULO II

KINESIOTERAPIA

A lo largo de éste capítulo se presenta una descripción acerca de la kinesioterapia, su clasificación, propósito y se describen los tipos de movimiento que se incluyen en su estudio. Del mismo modo se presentan las variables de interés evaluadas por los especialistas durante su aplicación y se describen la mayoría de los movimientos y rangos de éstos ejercicios.

2.1. INTRODUCCIÓN A LA KINESIOTERAPIA

La kinesioterapia es la forma en que se aplican terapéuticamente los conocimientos de la Kinesiología, que es la ciencia que estudia el movimiento, la anatomía y fisiología de la biomecánica del cuerpo; permite al especialista, analizar el movimiento de cada articulación involucrada en el acto motor realizado por los sujetos en estudio. Las mediciones cinemáticas son realizadas por el registro del desplazamiento de segmentos específicos del cuerpo durante el movimiento. Puede llevarse a cabo por medio de cámaras de video de alta velocidad, sistemas de registro electromagnético, electro goniómetros y acelerómetros [8].

De esta forma, la kinesioterapia comprende un amplio conjunto de técnicas aplicadas al paciente por parte del fisioterapeuta, que contienen como elemento principal el movimiento. Es una de las principales herramientas dentro del conjunto de técnicas que constituye la terapia física para mejorar la fuerza, resistencia o movilidad de personas con limitaciones funcionales, o que requieran de un acondicionamiento físico prolongado.

En el marco de la kinesioterapia es posible clasificar diferentes opciones terapéuticas, tales como kinesioterapia pasiva, kinesioterapia asistida y kinesioterapia activa.

En la kinesioterapia pasiva, es el fisioterapeuta quien aplica una fuerza externa con el fin de provocar el movimiento en un segmento corporal sin colaboración alguna del paciente, es decir sin que este realice contracción muscular. Igualmente esta puede ser relajada, forzada o auto pasiva. La kinesioterapia pasiva puede ser realizada de manera manual, en la que, como se mencionó anteriormente es el especialista quien aplica una fuerza externa, o puede ser asistida

mediante instrumentos, equipos o técnicas, tales como tirantes de fijación, órtesis o cargas directas.

Por su parte, en la kinesioterapia activa, el movimiento se realiza por contracción muscular del paciente y este puede a su vez ser libre o asistido. La kinesioterapia activa es uno de los pilares de la fisioterapia y sus objetivos básicos se pueden resumir en la regulación e integración de la actividad muscular y el desplazamiento o fijación de los segmentos corporales [9].

Antes de iniciar cualquier tipo de actividad con el paciente, es necesario que el fisioterapeuta realice evaluaciones y mediciones iniciales que le permitan tener una noción del estado del paciente con las cuales determinará qué clase de procedimiento llevará a cabo, conocerá el objetivo terapéutico de las sesiones y los medios kinesiológicos que utilizará. De esta forma, y luego de conocer el historial del paciente y de llevar a cabo un interrogatorio con el mismo, deben emplearse diversos medios para establecer la evaluación propiamente dicha. Dichos medios pueden ser visuales, manuales (palpación, movilización) o instrumentales (mediciones de magnitudes físicas y de sus variaciones).

En cuanto a la cuantificación y calificación instrumentales, el especialista usa herramientas de medición con el fin de obtener una valoración acerca de aspectos relacionados con la evolución del paciente al comparar dichos datos con resultados precedentes. Entre los exámenes que se realizan con instrumentos (y de manera pasiva por parte del paciente) se encuentran la goniometría articular, las mediciones centimétricas, el trazado de los contornos y el registro fotográfico.

2.1.1. Tipos de trabajo muscular:

Luego de la fase evaluativa se procede con la selección del tipo de terapia y ejercicios que se llevarán a cabo con el paciente, aquí el especialista cuenta con tres métodos normalmente utilizados: relajación muscular, el trabajo muscular estático isométrico y los ejercicios dinámicos o trabajo muscular isotónico o anisométrico [10].

2.1.1.1. La relajación muscular: Es la fase más importante de la kinesioterapia activa debido a que permite a los músculos recuperar tono y vitalidad, ya que aquí se establece un tiempo similar al del trabajo realizado con el fin de reposar por las actividades realizadas.

2.1.1.2. Trabajo muscular estático: Utiliza las contracciones musculares isométricas, las cuales consisten en tensar el músculo sin alterar su longitud, por lo que esta clase de ejercicio no provoca movimiento, mantiene una posición fija y se realiza básicamente ejerciendo tensión

contra una resistencia fija e inamovible (mecánica o asistida manualmente) o sosteniendo una postura particular.

Los ejercicios isométricos se emplean para desarrollar la fuerza muscular cuando el paciente se encuentra en el inicio de la terapia de la rehabilitación y el movimiento articular puede resultar doloroso. Es por ello que basta con emplear entre un 20% o 90% de la capacidad de un músculo con el fin de desarrollar la fuerza y aumentarla¹. Aquí es importante tener en cuenta la longitud del músculo y la posición o el ángulo de la articulación a la hora de mantener la posición, pues la cantidad de resistencia con la que actúa un músculo varía en distintos puntos de la amplitud [11].

Para lograr beneficios a lo largo de toda la amplitud del movimiento, debería entrenarse el músculo a diferentes grados, sin embargo, debido a lo tedioso de la tarea la mayoría de autores recomiendan hacerlo solamente a tres diferentes ángulos, 45°, 90° y 135°. La Figura 2-1 muestra ejemplos de ejercicios isométricos.

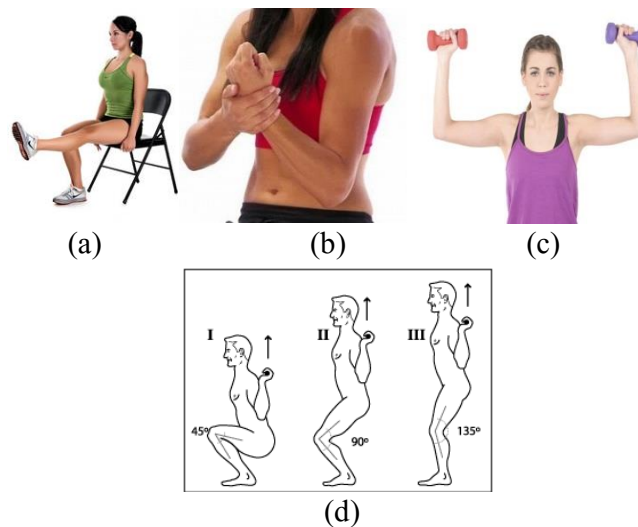


Figura 2-1. Ejemplo de ejercicios isométricos. (a) Individual. (b) Auto asistido. (c) Con resistencia. (d) Ejercicio isométrico a diferentes ángulos.

2.1.1.3. Ejercicios dinámicos: A diferencia del trabajo muscular estático, estos ejercicios generan una variación en la longitud muscular, ocasionando así una fuerza tensora y por consiguiente una acción de movimiento. Esta clase de ejercicios permiten mejorar la fuerza y la

¹Nota: La intensidad de un ejercicio isométrico de un músculo suele definirse con respecto a la fuerza isométrica máxima de dicho músculo, la cual se calcula en función del tiempo que el paciente puede sostener dicho movimiento.

resistencia a la vez que generan fatiga en el plano cardiovascular, por lo que deben realizarse con prudencia.

Las modalidades de ejecución de esos ejercicios son variadas, pues dependen principalmente de la fuerza muscular existente. Así, en caso de que el músculo sea incapaz de actuar contra la simple gravedad, el movimiento deberá realizarse luego de que ésta sea neutralizada (Figura 2-2a). Cuando el músculo sea capaz de superar la gravedad, los movimientos se realizarán contra ésta (Figura 2-2b). Finalmente y conforme el músculo se fortalezca, se realizarán de manera progresiva, ejercicios con una resistencia suplementaria creciente, ya sea manual o mecánica (Figura 2-2c).

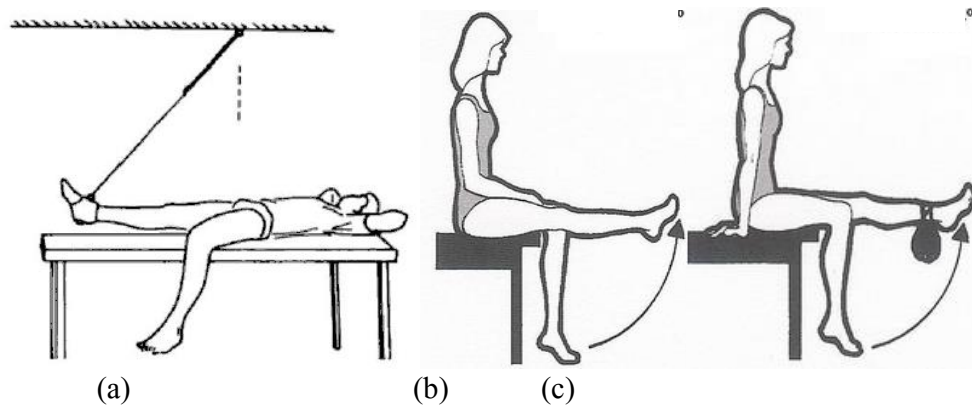


Figura 2-2. Ejemplo de ejecución de ejercicios. (a) Gravedad eliminada. (b) Contra gravedad. (c) Contra resistencia [12].

Una vez establecido el ejercicio o actividad que realizará el paciente, el especialista comunica al sujeto los objetivos a lograr y lleva a cabo una sesión de ensayo, en la cual corrige los movimientos del paciente y posteriormente empieza la fase de repetición, la cual busca el perfeccionamiento del ejercicio y el menor consumo energético. Adicionalmente, las actividades de kinesiología pueden dividirse en dos grupos principales, ya sea de miembros superiores o inferiores, no obstante algunos autores las dividen en actividades de kinesiología de las articulaciones periféricas, kinesiología vertebral y kinesiología respiratoria [10]. A lo largo de este trabajo se utilizará la categorización por miembros superiores e inferiores y los ejercicios planteados por el libro *Kinesiología*, de Genot [13].

El mapa conceptual de la Sección 1 del anexo, permite visualizar la manera en que se organizan los diferentes tipos de terapia, ilustrando cuáles son los grupos de músculos empleados y evaluados durante dichas sesiones. De esta forma, y teniendo en cuenta la clasificación antes

mencionada, las actividades de kinesiología activa de miembros superiores e inferiores se dividen nuevamente en función de los conjuntos motores que componen cada grupo.

2.1.2. Tipos de movimientos articulares:

Antes de exponer los ejercicios específicos de los diferentes grupos musculares se definirán algunos de los tipos de movimiento más generales que pueden ser realizados por una articulación, los cuales aplican para la mayoría de grupos motores (Ver Figura 2-3):

- **Movimiento de flexión y extensión:** Describen el movimiento de aumentar o disminuir el ángulo que se forma entre dos segmentos corporales (articulación). Esto se logra mediante músculos que pueden ser flexores o extensores, aunque existen músculos poliarticulares capaces de desempeñar ambas funciones.
- **Movimiento de aducción y abducción:** Se definen como la aproximación o separación de un segmento corporal hacia la línea media del cuerpo
- **Movimiento de rotación interna y externa:** Se refiere, como su nombre lo indica a la rotación de un miembro sobre su eje longitudinal de forma que la superficie anterior se dirija o se aleje hacia la línea media del cuerpo.
- **Movimientos de supinación y pronación:** Estos dos movimientos son exclusivos del aparato motor del antebrazo y los pies; la supinación del antebrazo consiste envolver la palma hacia adelante, mientras que en el pie se refiere al movimiento con el que el antepié gira hasta que la planta queda expuesta medialmente. La pronación es el movimiento opuesto a los mencionados.

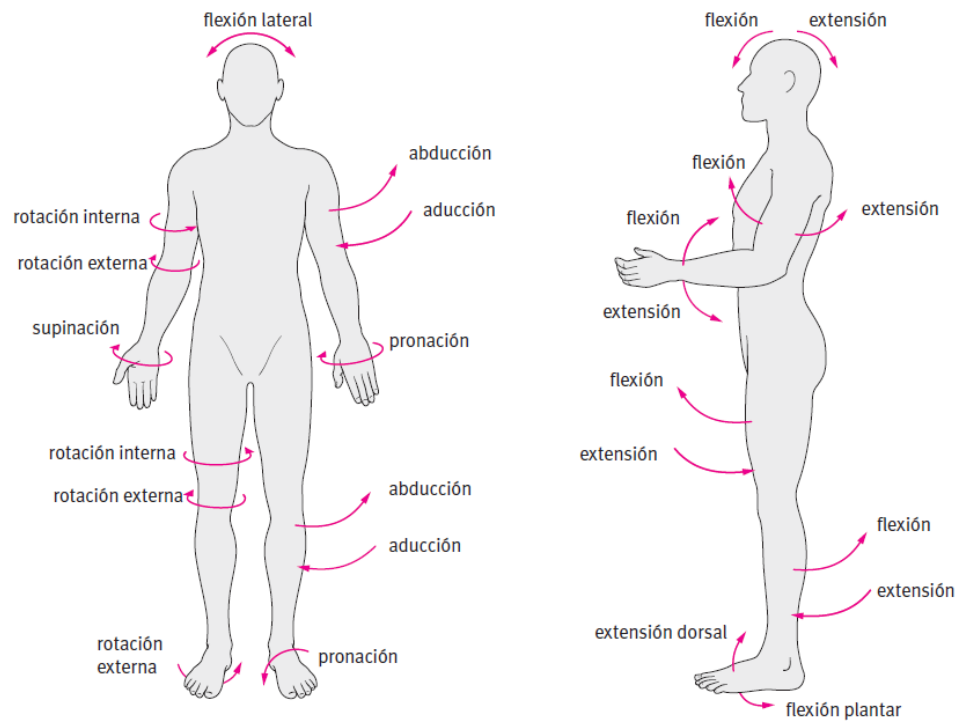


Figura 2-3. Movimientos básicos de las articulaciones [14].

2.1.3. Planos que definen los movimientos del cuerpo humano:

Igualmente, es necesario detallar los planos que sirven para definir los movimientos del cuerpo humano y su ubicación en el espacio. Figura 2-4.

- Plano sagital: Divide al cuerpo en las mitades derecha e izquierda. En este plano se realizan los movimientos de flexión y extensión.
- Plano Frontal: Divide al cuerpo en mitad anterior y posterior, sobre este plano tiene lugar los movimiento de abducción y aducción así como las flexiones laterales de cabeza cuello y tronco.
- Plano horizontal: Divide al cuerpo en parte superior e inferior, en este plano se desarrollan los movimientos de rotación y aducción-abducción horizontal.

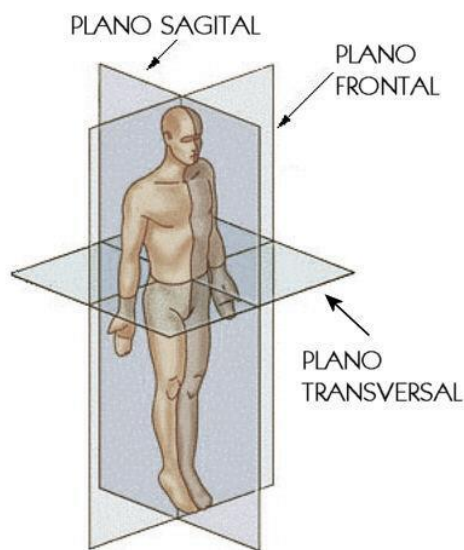


Figura 2-4. Planos de referencia del cuerpo humano.

2.1.4. Cadenas cinéticas musculares:

Debido a que normalmente las funciones no son llevadas a cabo por un solo músculo, y que existen diferentes funciones en cada movimiento (agonistas, antagonistas, estabilizadores, entre otros) así como la existencia de músculos que realizan diferentes funciones, el especialista está obligado a llevar a cabo un examen global de los grupos musculares teniendo en cuenta los movimiento combinados. La organización de diferentes movimientos se conoce como cadenas cinéticas musculares y constituyen una parte importante en el marco de los ejercicios de kinesioterapia activa, pues se realizan para cada uno de los trabajos musculares que se mencionarán más adelante. De esta forma, el fisioterapeuta cuenta con cinco principales tipos de ejercicios:

- Ejercicios en cadenas homolaterales: son aquellos en los que trabajan los músculos de un solo miembro.
- Ejercicios selectivos: Son ejercicios destinados no a una cadena articular sino a un músculo en particular.
- Ejercicios en cadenas facilitadoras contralaterales: Se logran al aplicar resistencia a un músculo mediante la estimulación cruzada de su antagonista.

- Ejercicios en cadenas axioperiféricas y periféricas axioperiféricas: La secuencia de las contracciones musculares se produce desde los segmentos proximales (más cercanos al pecho del paciente) hacia los distales (más alejados del pecho del paciente) y viceversa.
- Ejercicios con aparatos de reeducación: Son técnicas que emplean el uso de máquinas con el fin de apoyar u ofrecer resistencia a los ejercicios del paciente.

Adicionalmente, las cadenas cinéticas musculares mencionadas se dividen en 2 grupos, pues estas pueden ser cadenas cinéticas abiertas o cerradas.

- Cadenas cinéticas abiertas: Son aquellos movimientos en los que el extremo distal de la articulación se mueve de manera libre mientras el extremo proximal permanece fijo. Figura 2-5a.
- Cadenas cinéticas cerradas: Son aquellos movimientos en los que el extremo distal de la articulación permanece fijo mientras que el extremo proximal se desplaza con el movimiento. Figura 2-5b.

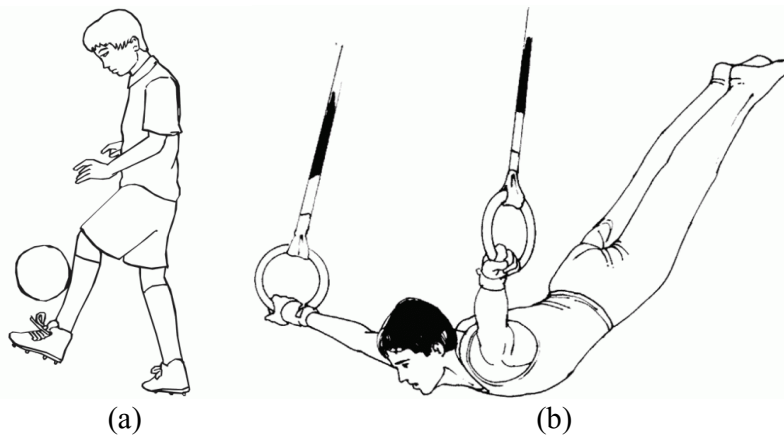


Figura 2-5. Ejemplo de cadenas cinéticas. (a) Cadena cinética abierta, el extremo distal (pie) se mueve mientras el extremo proximal se considera estático. (b) Cadena cinética cerrada de las extremidades superiores.

A continuación se describen los trabajos que puede realizar cada conjunto articular de los miembros superiores e inferiores. Es importante destacar, que cada uno de los ítems de trabajo muscular abajo mencionados contiene los ejercicios del tipo homolaterales, contralaterales,

selectivos, con aparatos de reeducación, axioperiféricos y periféricos axioperiféricos anteriormente descritos. No se especificará en que consiste cada ejercicio en particular puesto que no es el propósito de este trabajo, el objetivo de esta sección es simplemente dar a conocer los movimientos y ejercicios posibles en función de cada grupo articular y describir las características y tipos de movimientos principales de los grupos articulares más importantes.

2.2. KINESIOTERAPIA ACTIVA DE MIEMBROS SUPERIORES:

2.2.1. Hombro:

El hombro es una de las articulaciones con mayor amplitud de movimiento y es capaz de realizar movimientos de flexión (alcanzando aproximadamente 90°) y extensión (aproximadamente 120°), abducción (hasta 180°), aducción (alcanza los 45° si se evita el tronco por delante o por detrás) y rotación medial y lateral (alcanzando los 80°) [15], [16]. Ver Figura 2-6, Figura 2-7 y Figura 2-8.

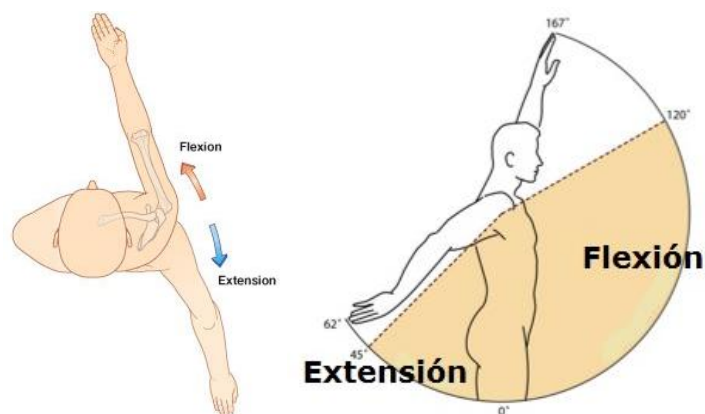


Figura 2-6. Movimientos de flexión y extensión del hombro.

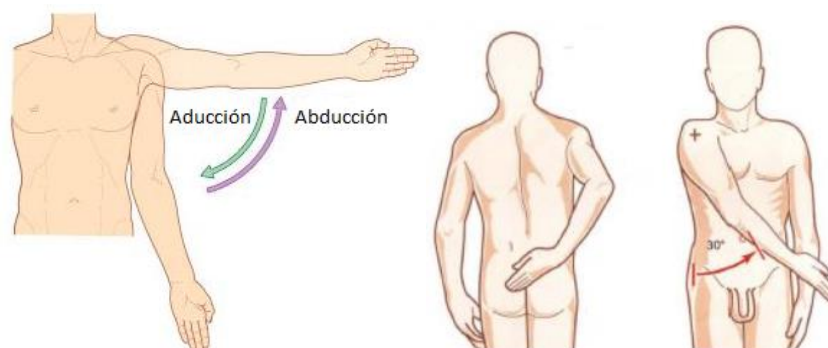


Figura 2-7. Aducción y abducción del hombro.

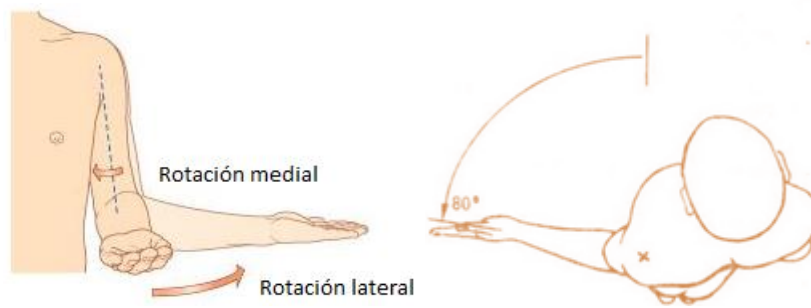


Figura 2-8. Rotación medial y lateral del hombro.

Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de conocer las características cinéticas de las articulaciones es la velocidad de los movimientos. De esta forma y siendo el hombro extremadamente móvil, algunos de sus movimientos se realizan a velocidades relativamente altas.

Teniendo en cuenta el texto *Anatomía y movimiento humano* de Palastanga [15], mediante técnicas cinefílmicas y relaciones trigonométricas adecuadas se han calculado las velocidades de movimiento máximas en la articulación del hombro al realizar actividades normales como tender ropa (100 mm/s), barrer (34 mm/s), el balanceo de los brazos al andar (30 mm/s) y vestirse (25 mm/s). Por supuesto en actividades deportivas que requieren movimiento rápido y forzado como el tenis, las velocidades son mucho mayores.

2.2.2. Codo:

La articulación del codo es una articulación intermedia de las extremidades superiores, situada entre el brazo y el antebrazo. Es la responsable del acortamiento y alargamiento de los miembros superiores del cuerpo y del giro del antebrazo permitiéndole a las manos ubicarse en el espacio. Los movimientos que es capaz de realizar ésta articulación son:

Flexión y extensión: La flexión corresponde al movimiento del antebrazo en sentido anterior, continuando hasta que el contacto entre el antebrazo y el brazo impide el movimiento (Figura 2-9). La amplitud de la flexión es de aproximadamente 150° . La extensión corresponde al movimiento opuesto, regresando el antebrazo a la posición anatómica o de referencia, es por ello que hablando estrictamente, la amplitud posible del movimiento de extensión es cero (la extensión completa corresponde a la posición atómica) [15].



Figura 2-9. Movimiento de flexión de la articulación del codo.

Pronación y supinación: En este movimiento el radio rota alrededor del cúbito y para analizarlo no se parte de la posición de referencia, sino por el contrario con el codo flexionado a 90° y la mano colocada de forma vertical. La pronación tiene una amplitud de 85° mientras que en la supinación se alcanzan 90° (Ver Figura 2-10).

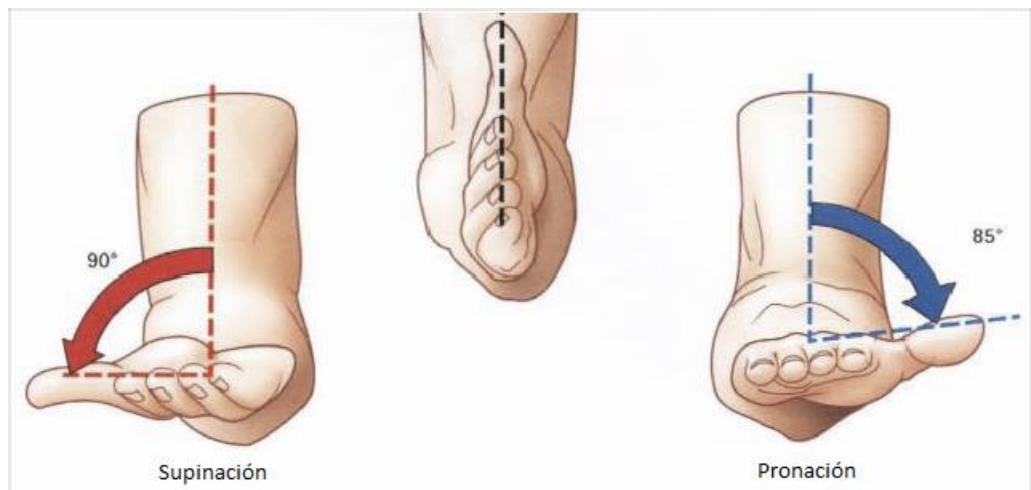


Figura 2-10. Movimientos de supinación y pronación.

Debido a que el objetivo de este trabajo es proporcionar una herramienta de monitorización de actividades de kinesioterapia mediante un teléfono inteligente, aprovechando la potencialidad de sus sensores integrados, se omitirá la profundización en los movimientos particulares de la muñeca y los dedos, pues resulta de gran dificultad posicionar el dispositivo en los segmentos de interés de estas articulaciones, por lo que sería necesario el uso de periféricos extra o sistemas de

medición diferentes. Sin embargo se describen los movimientos propios de estos grupos articulares.

2.2.3. Muñeca:

La muñeca no es una articulación única, sino que por el contrario, está formada por numerosas articulaciones entre los huesos del carpo y la articulación con el antebrazo. Los trabajos musculares activos principales que se llevan a cabo en los músculos de la muñeca contemplan el trabajo de los músculos que realizan la flexión, la extensión, la inclinación cubital y la inclinación radial.

2.3. KINESIOTERAPIA DE TRONCO Y CUELLO:

Los movimientos entre las vértebras se producen debido a que los elásticos discos intervertebrales son ligeramente flexibles. Asimismo el tipo de movimiento en cada región está determinado por la forma y orientación de las apófisis vertebrales². A pesar de que el movimiento entre vertebras contiguas es limitado y escaso, cuando se tiene en cuenta toda la columna la amplitud del movimiento se vuelve considerable [11]. Los movimientos básicos de la columna vertebral son:

Flexión y extensión: Corresponden básicamente a la inclinación hacia adelante y hacia atrás del tronco, son movimientos relativamente libres y alcanzan una amplitud aproximadamente de 55° grados (siendo la amplitud en extensión de 30°) Ver Figura 2-11a.

Flexión y extensión lateral: La amplitud de la flexión lateral, así como la de flexión y extensión varía en función de la persona y la edad. De esta forma, en una persona joven puede alcanzar hasta 60° a ambos lados de la línea media (ver Figura 2-11b).

Rotación: Este movimiento tiene una amplitud considerablemente escasa, siendo de apenas unos pocos grados (ver Figura 2-11c).

² Las apófisis vertebrales son las prominencias óseas o proyecciones que surgen en la parte posterior de las láminas de las vértebras y sirven como puntos de conexión de ligamentos y tendones.

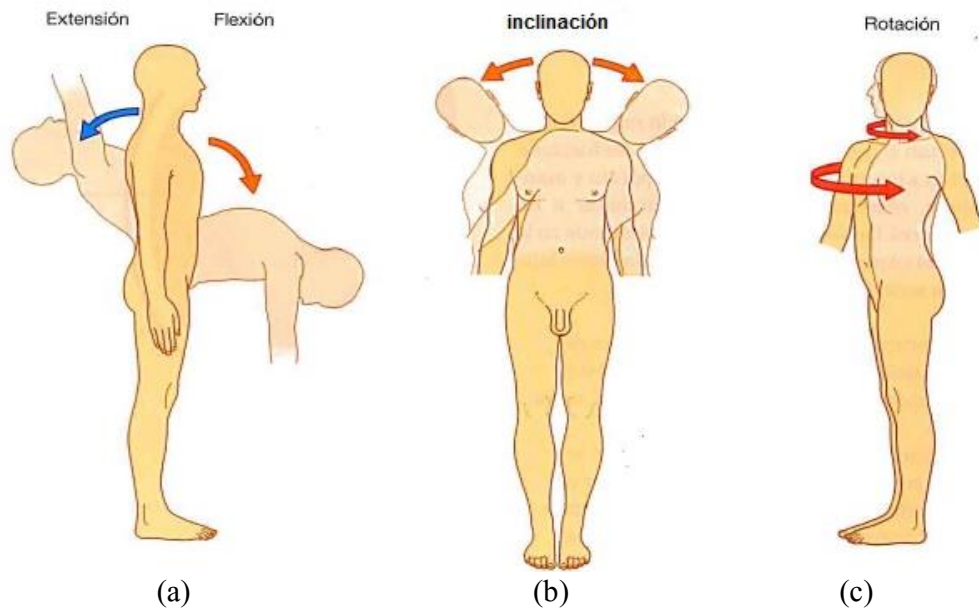


Figura 2-11. Movimientos básicos de la columna vertebral.

Se debe resaltar que estos grupos de ejercicios también se realizan en el resto de las zonas de la columna vertebral (región torácica y cervical) y que los ángulos de amplitud poseen diferentes valores, hecho que debe tenerse en cuenta al evaluar cada zona en particular. La Figura 2-12 muestra la amplitud total de los movimientos de flexión y extensión (Figura 2-12a) y flexión lateral (Figura 2-12b) de la articulación de la columna en la región cervical (cabeza).

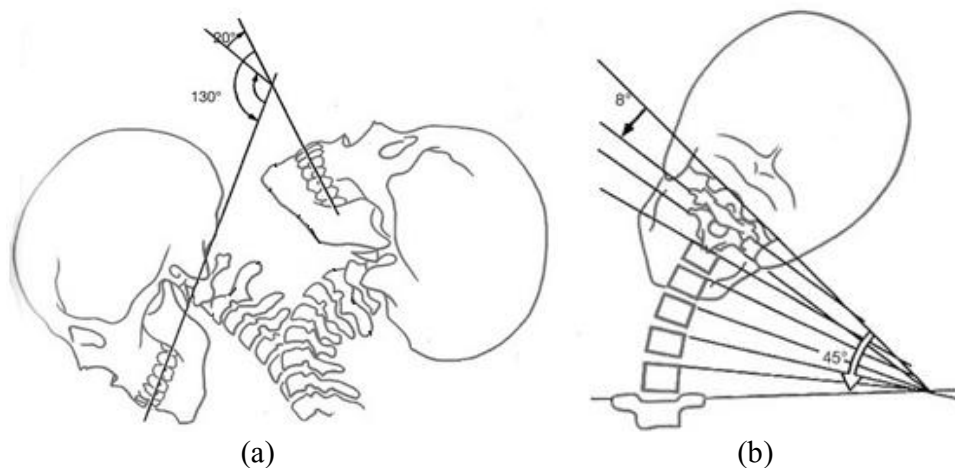


Figura 2-12. Amplitud articular de los movimientos de flexión y extensión de la región cervical b.
Flexión lateral

Entre los trabajos musculares contemplados en el marco de la terapia activa de los músculos de la cabeza, tronco y el cuello se encuentran los trabajos de los músculos que efectúan:

- La flexión.
- La extensión.
- La traslación anterior.
- La traslación posterior.
- La inclinación y rotación

En este mismo grupo se encuentran las técnicas activas de la columna dorsolumbar, las cuales comprenden el trabajo de los músculos que realizan flexión, extensión, inclinación y rotación.

2.4. KINESIOTERAPIA DE MIEMBROS INFERIORES:

Análogo a la kinesioterapia de miembros superiores, la kinesioterapia de miembros inferiores se divide en la terapia activa de tres grupos articulares principales, cada uno de los cuales contiene su propio conjunto de actividades musculares.

2.4.1. Cadera:

Similar a la articulación del hombro, la cadera es una articulación triaxial con la capacidad de operar en tres planos diferentes de movimiento. Sin embargo, a diferencia del hombro, el cual está diseñado para soportar movilidad, la cadera es una articulación estable concebida para resistir el peso del cuerpo en carga, pues soporta las fuerzas que se transmiten hacia arriba generadas desde las extremidades inferiores durante la marcha y otras actividades. Igualmente aguanta el peso de la cabeza, el tronco y las extremidades superiores. De esta forma, la cadera ocupa una posición de bisagra entre la movilidad del miembro inferior y la relativa rigidez del tronco. Realiza tres pares de movimientos básicos:

Flexión y extensión: Aunque la flexión de la cadera es libre, está limitada por el contacto del músculo con la pared abdominal cuando la rodilla está flexionada [15]. El movimiento de flexión alcanza una amplitud de 120° flexionando la rodilla (90° si la rodilla está extendida) Fig.13a. Por su parte, el movimiento de extensión no suele ser posible más allá de los 30° (Figura 2-13b).

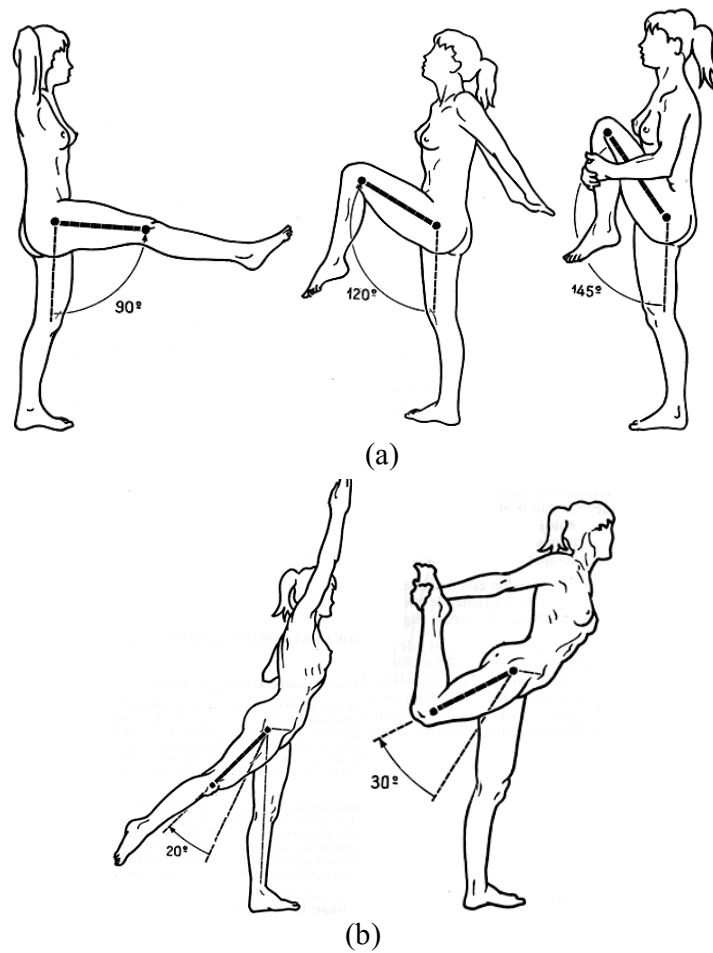


Figura 2-13. Movimientos deflexión (a) y extensión (b) de la articulación de la cadera.

Abducción y aducción: Los movimientos de aducción y abducción de la cadera son movimiento libre en casi todas las posiciones de las extremidades inferiores. Aunque teóricamente es posible realizar la abducción de una sola cadera, en la práctica la abducción de una cadera se ve acompañada por una abducción idéntica de la otra cadera. De esta forma la abducción alcanza una amplitud máxima de 45° mientras la aducción aproximadamente 30° (Figura 2-14).

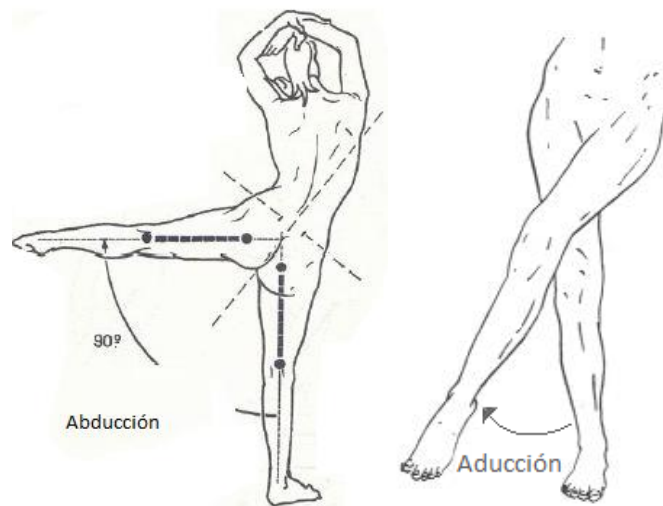


Figura 2-14. Movimientos de abducción (45° en cada cadera) y aducción de la cadera.

Rotación: La rotación de la articulación de la cadera se produce en torno al eje mecánico del fémur y no en torno al eje largo de la diáfisis del fémur³. De esta forma durante la rotación medial el fémur se mueve hacia afuera en torno al eje mecánico, lo contrario ocurre durante la rotación lateral. La amplitud total de la rotación medial y lateral es cercana a los 90° (Figura 2-15).

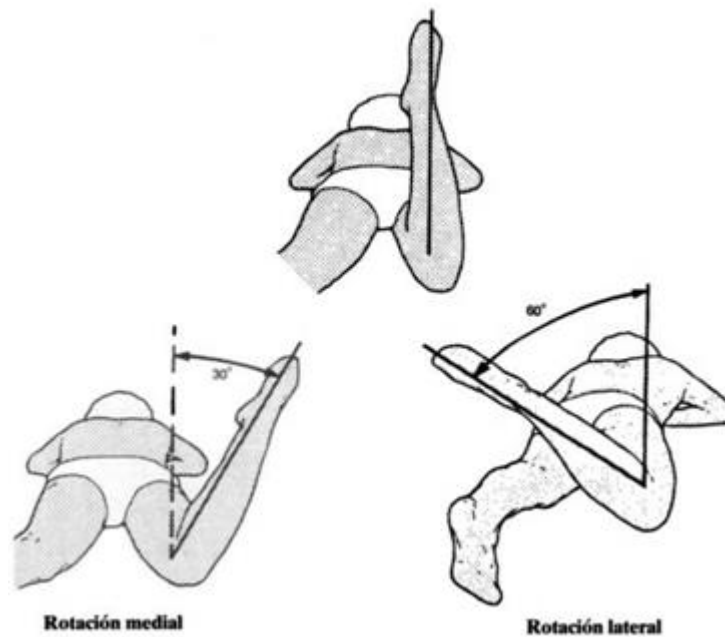


Figura 2-15. Rotación medial (interna) y lateral (externa) de la cadera [15].

³La diáfisis del fémur corresponde a la porción central o cuerpo de los huesos largos.

Las actividades de terapia activa de la articulación de la cadera comprenden el trabajo muscular que generan cada uno de los movimientos antes descritos, involucrando así, el trabajo de los músculos que realizan:

- La flexión.
- La extensión.
- La aducción.
- La abducción.
- La rotación externa.
- La rotación interna.

Entre los parámetros de interés a la hora de evaluar la articulación de la cadera, se encuentran el cálculo de las fuerzas articulares que actúan sobre la misma durante actividades como caminar o correr, las cuales alcanzan valores entre 1.8 y 6 veces el peso del cuerpo⁴.

2.4.2. Rodilla:

La articulación de la rodilla está diseñada para aportar movilidad y estabilidad, permite movimientos de flexión, extensión y cierto grado de rotación sobre la pierna. Su función básica radica en alargar y acortar funcionalmente la extremidad inferior, sostener el cuerpo durante la marcha y cumple una función primordial en actividades como escalar caminar y sentarse [11].

Flexión y extensión: En el movimiento de flexión la cara posterior de la pantorrilla se mueve hacia la cara posterior del muslo, lo opuesto ocurre durante el movimiento de extensión. Adicionalmente existe un movimiento llamado hiperextensión en el cual se supera la posición de alineamiento del eje entre la pierna y el muslo.

La amplitud de la flexión lograda depende de la posición de la cadera y de si el movimiento se realiza de manera pasiva o activa, pues es en este último donde se consigue la amplitud máxima. Así, el movimiento de flexión activa de la rodilla puede alcanzar los 140° cuando la cadera se encuentra flexionada (Figura 2-16a) pero solamente 120° así se encuentra extendida (Figura 2-16b). En condiciones normales, la flexión de la rodilla está solamente limitada por el contacto entre los músculos del muslo y la pantorrilla, por lo que la detención del movimiento antes de alcanzar estos límites es un indicador para el especialista, pues se valorará el proceso de

⁴Palastanga Nigel, Field Derek, Soames Roger. Anatomía y movimiento humano estructura y funcionamiento. p308.

intervención en función de la distancia entre el talón y la nalga [15]. En cuanto a la hiperextensión, éste alcanza una amplitud máxima de 5 a 10°.

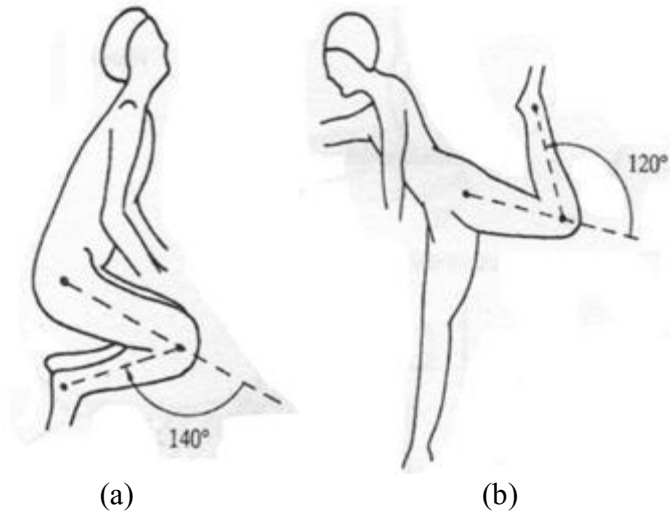


Figura 2-16. Movimientos de flexión en función de la posición de la cadera.

Rotación axial: Consiste en la rotación de la pierna en torno a su eje largo y solo puede realizarse con la rodilla flexionada. Asimismo, es el grado de dicha flexión el que influye ligeramente la amplitud de la rotación. Con un ángulo de flexión de la rodilla de 90°, la amplitud de la rotación puede aumentar hasta 35° (50° si el movimiento es pasivo) Ver Figura 2-17.

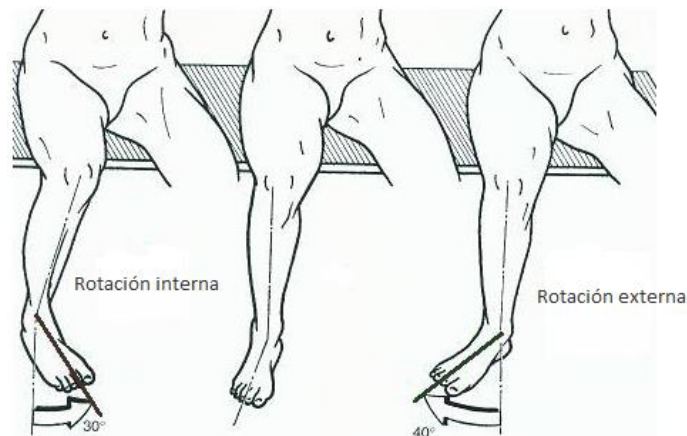


Figura 2-17. Movimientos de rotación de la rodilla.

De esta forma, los trabajos musculares activos de la articulación de la rodilla se resumen en:

- Trabajo de los músculos que efectúan la flexión.
- Trabajo de los músculos que efectúan la extensión.
- Trabajo de los músculos que efectúan la rotación externa.
- Trabajo de los músculos que efectúan la rotación interna.

2.4.3. Tobillo y pie:

La articulación del tobillo posee solamente un grado de libertad de movimiento. El tobillo y el pie son las estructuras encargadas de proporcionar la propulsión y el control a cada paso durante el movimiento del cuerpo, pues están concebidos para aportar estabilidad y movilidad a las estructuras terminales de la extremidad inferior. El pie por su parte, es el encargado de soportar el peso del cuerpo durante la marcha, por lo que debe adaptarse a las superficies irregulares y convertir en una palana estructural para impulsar el cuerpo hacia adelante durante dichas actividades [11]. Los movimientos posibles de la articulación del tobillo son dos;

Dorsiflexión y flexión planar: La dorsiflexión (o flexión dorsal) es aquel movimiento en el que el pie es atraído hacia arriba mientras que en la flexión planar (o extensión), el movimiento se realiza en dirección opuesta. La amplitud máxima de dichos movimientos es de aproximadamente 80° - 90° , 30° en dorsiflexión y 50° en flexión plantar, no obstante existen considerables variaciones individuales respecto a la extensión de estos movimientos (Figura 2-18).

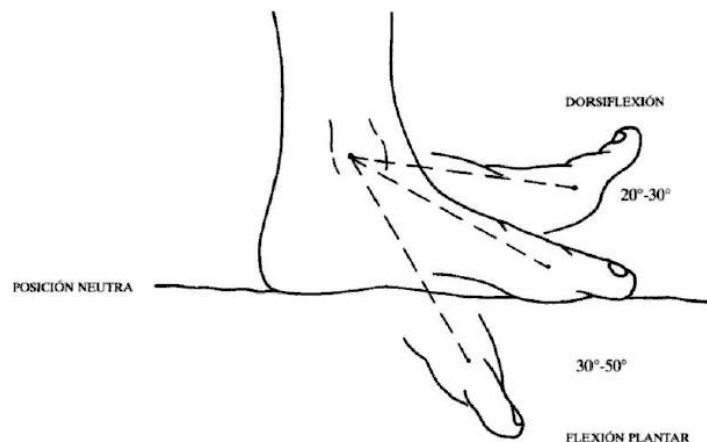


Figura 2-18. Movimientos de la articulación del tobillo.

No se describen los movimientos específicos de la articulación del pie ya que al igual que en la articulación de la mano y los dedos y teniendo en cuenta el propósito del trabajo, resulta poco práctico usar, al menos directamente, un Smartphone para evaluar características cinemáticas en

estos lugares del cuerpo. Sin embargo y al igual que en los casos anteriores, a continuación se establecen los trabajos musculares activos que se llevan a cabo en estas articulaciones.

- Trabajo de los músculos que efectúan la extensión.
- Trabajo de los músculos que efectúan la flexión dorsal del pie.
- Trabajo de los músculos que efectúan la abducción y pronación.
- Trabajo de los músculos que efectúan la aducción y supinación.

2.5. VARIABLES DE INTERÉS DURANTE TERAPIAS DE MOVILIDAD

A continuación se realiza una descripción acerca de algunas de las variables y parámetros de interés para el especialista a la hora de evaluar tanto las actividades de movilidad de los pacientes, como el progreso en los mismos durante un trabajo de rehabilitación, ya que son muchas las variables que pueden introducirse en un programa de kinesioterapia y no se ha determinado una combinación óptima de variables que sea la más eficaz o eficiente para mejorar el rendimiento muscular. Las variables que se evalúan durante tales sesiones dependen de los componentes necesarios para alcanzar los resultados funcionales deseados. De esta forma, son variables la intensidad del ejercicio, cuanto peso se levanta o se baja, el número de repeticiones, número de series, frecuencia del ejercicio, cuantas veces se realiza a la semana, la velocidad en que se realiza el ejercicio, periodos de descanso, los arcos de movimiento de las extremidades y la posición del paciente o la extremidad durante el proceso.⁵ Adicionalmente, el fisioterapeuta debe monitorear parámetros fisiológicos que puedan afectar el desarrollo de los ejercicios del paciente.

2.5.1. Parámetros fisiológicos:

Durante las terapias de rehabilitación es importante que el especialista realice una cuidadosa monitorización de los síntomas del paciente, tales como el esfuerzo percibido, la tensión arterial, cambio en el calor y el color del segmento articular y las frecuencias cardíaca y respiratoria, pues son indicadores del estado físico del paciente durante la realización de los ejercicios. Asimismo, durante las terapias físicas de alto rendimiento se monitorizan otras variables como señales electromiográficas y niveles químicos en la sangre con el fin de conocer el origen de las fatigas ya sean de origen neural o periférico (muscular) y la intensidad del trabajo muscular. En este

⁵Carolyn Kisner, Lynn Colby. Ejercicio terapéutico, fundamentos y técnicas. España. Editorial Paidotribo, 2005. p82, p83, p84.

sentido, el registro de la actividad eléctrica integrada (IEMG) es la mejor manera de evaluar la evolución de los factores nerviosos de los grupos musculares que intervienen en el ejercicio [16].

2.5.2. Intensidad del ejercicio:

La intensidad de un programa de ejercicios está estrechamente relacionada con el grado en que se carga uno o un grupo de músculos, pues es ésta la que provoca las contracciones musculares. En este sentido, el especialista usa dispositivos como dinamómetros o miómetros⁶ con el fin de medir la fuerza empleada por el paciente durante un ejercicio. El número de repeticiones también constituye un indicador de la intensidad del ejercicio.

Aquí es importante definir lo que es una repetición máxima (RM) el cual es un término usado para determinar el peso máximo que una persona puede levantar en la amplitud del movimiento durante un número específico de veces (entre 6 y 15). Un RM se usa para establecer la cantidad de resistencia que una persona debe emplear durante un entrenamiento o ejercicio de rehabilitación.

2.5.3. Series, frecuencia, descansos y duración del ejercicio:

Las series son el número de repeticiones realizadas durante cada sesión de ejercicio, mientras la frecuencia determina el número de veces que se realiza al día o a la semana. Los tiempos de descanso entre serie y serie, se recomiendan sean de entre 30 segundos y un minuto aproximadamente.

2.5.4. Velocidad del ejercicio:

La tensión generada por un músculo es afectada directamente por la velocidad a la cual se contrae el mismo, a medida que se aumenta la velocidad de dicha contracción la fuerza generada por el músculo se reduce. Igualmente la actividad electromiografía y rotatoria disminuyen a medida que el músculo se acorta a velocidades mayores.

Cuando los ejercicios de movilidad se realizan con máquinas o equipos que ofrecen resistencia en toda la amplitud del movimiento, las velocidades angulares pueden ser muy lentas (30 grados por segundo) o muy rápidas, de hasta 500 grados por segundo, valores lejanos si se compara con los movimientos de las extremidades en algunas actividades funcionales o deportes, donde los valores superan los 1000 grados por segundo. Actualmente se establece que el ejercicio

⁶ El miómetro es un dispositivo diseñado para medir la contracción muscular durante ejercicios isométricos.

isocinéticos debe realizarse a velocidades acordes con la actividad funcional deseada, y teniendo en cuenta que las actividades funcionales como caminar o levantar objetos, se hacen a velocidad media rápida, se cree que el ejercicio debe realizarse a velocidades similares. Citando un ejemplo, en algunos ejercicios de movilidad suele usarse un programa conocido como *rehabilitación con espectro de velocidades*, en el cual una serie de ejercicios deben incluir un entrenamiento a velocidades de 60, 120 y 180 grados por segundo o 60, 150 y 240 grados por segundo [11].

2.5.5. Amplitud del movimiento:

Los ejercicios de movilidad pueden llevarse a cabo a lo largo del arco completo que permite la articulación o solamente sobre una fracción de éste. Los ejercicios de arco corto se realizan con el fin de proteger partes de las articulaciones luego de una lesión. Por su parte, los ejercicios isométricos de múltiples ángulos por ejemplo, contemplan el recorrido articular de hasta 20 grados de movimiento.

El electrogoniómetro es una herramienta que permite conocer el valor angular de un determinado segmento en el transcurso del movimiento, normalmente está constituido por un potenciómetro unido a un sistema mecánico que sensa el cambio de potencial eléctrico y convierte dicha señal en un valor angular. Éste dispositivo puede ser de uno dos o 3 ejes. Sin embargo cuenta con el inconveniente de que no se puede conocer los grados de movimiento absolutos y que el mismo dispositivo afecta la forma de realizar la actividad. Por otra parte, existen herramientas como el análisis por videofotogrametría (VFG)⁷, el cual es más confiable que la goniometría convencional y puede estudiar todos los planos de movimiento [17]. También está disponible la fotogrametría tradicional, sin embargo ésta, al igual que la VFG no permite registrar la información en tiempo real. Otra alternativa se encuentra en los sistemas de captura de movimiento en tiempo real, algunos de ellos implementados en los últimos años mediante herramientas como Kinect, de Microsoft.

2.5.6. Otras variables de interés:

Algunas de las variables extra que se miden durante actividades de movilidad humana incluyen la medición de vibraciones de los segmentos corporales mediante el uso de acelerómetros, que aunque la variable principal de este sensor es la aceleración y pertenece a la cinemática, la acelerometría se asocia más con el análisis de impactos o la reducción de fuerzas, obteniendo parámetros cercanos a la cinética.

⁷La VFG sirve para obtener información bidimensional o tridimensional del movimiento a partir de imágenes planas (fotogramas).

Igualmente se realiza la medición de temperatura y de las fuerzas internas ejercidas por el aparato locomotor mediante la dinamometría y electromiografía de superficie, por su parte, la medición de la presión o fuerza ejercida sobre el medio, se realiza a través de sistemas como los podómetros o plataformas dinamométricas, las cuales registran la presión media, máxima y el área donde se producen. Normalmente estas mediciones se realizan con frecuencias de muestreo de 50 a 100 Hz, pero para movimientos de velocidad deben ser superiores a los 200 Hz.

En estudios de biomecánica también es importante conocer los centros de masa de los segmentos corporales y como estos cambian durante las distintas etapas del movimiento. Por su parte, en el campo deportivo también se usa el análisis de posición mediante GPS, hecho que permite conocer y registrar la velocidad, aceleración y posición de los sujetos en el campo de entrenamiento.

2.6. RESUMEN

En este capítulo se ha presentado una descripción acerca de los movimientos básicos de las diferentes articulaciones del cuerpo humano, se ilustraron los planos de referencia bajo los cuales se evalúan y se hizo una breve descripción de cada uno y de sus rangos normales de realización. Asimismo, se estudiaron y presentaron las variables de interés evaluadas por los especialistas a la hora de asignar esta clase de ejercicios a sus pacientes, tales como la velocidad, la amplitud, las series, la frecuencia o la intensidad del ejercicio, hecho que permitirá diseñar el sistema de monitorización a partir de tales variables y necesidades.

CAPÍTULO III

USO DE TELÉFONOS INTELIGENTES EN KINESIOTERAPIA

Los teléfonos inteligentes modernos se han convertido en objetos de uso masivo y son poderosas máquinas con amplias capacidades no solo de comunicación, sino también de almacenamiento, procesamiento y de captura de información del exterior gracias a los sensores con los que cuentan. A lo largo de éste capítulo se presenta una introducción a los teléfonos inteligentes actuales, se analizan sus prestaciones, capacidades a nivel de hardware, sensores integrados y se analiza su potencial de uso a la hora de evaluar los variables de interés durante una terapia de rehabilitación basada en el movimiento.

3.1. TELÉFONOS INTELIGENTES Y SUS PRESTACIONES

Los teléfonos inteligentes (Smartphone) son teléfonos celulares contruidos sobre un sistema operativo móvil, los cuales cuentan con una desarrollada capacidad de procesamiento, conexión (Bluetooth, Wi-fi, GPS, 3G, entre otros), función multitarea y pueden soportar una gran cantidad de aplicaciones para funciones específicas. Normalmente poseen un entorno táctil como interfaz con el usuario y cuentan con cámaras de grabación de video y fotografía de alta resolución y una gran cantidad de sensores, desde sensores de movimiento, pasando por sensores de ángulo, giro, aceleración, intensidad luminosa, magnetómetros, entre otros.

Hoy por hoy, los Smartphone modernos trabajan sobre distintos sistemas operativos, tales como Android de Google, iOS de Apple, Symbian de Nokia, BlackBerry de RIM, Bada de Samsnug, Windows Phone de Microsoft y webOS de Hewlett-Packard; sin embargo, la plataforma de desarrollo más usada es Android, debido a su naturaleza de “Open source”.

Remontándose al surgimiento de dichos dispositivos, estos nacieron por la necesidad de combinar las prestaciones de una PDA (personal digital assitants), las cuales servían como organizadores portables, contenían información de contactos y la capacidad de conectarse con un computador, con las capacidades de comunicación y conectividad de un celular común. Hoy por hoy. los celulares inteligentes se han convertido en complejos sistemas de cómputo, contando con

procesadores multinúcleo, amplia capacidad de memoria⁸, altas velocidades de conexión y gran versatilidad. Adicionalmente, los teléfonos inteligentes han dejado de usarse con fines personales para usarse en ámbitos de investigación, telemedicina, robótica pedagogía, industria, finanzas entre muchos otros. Cabe resaltar que tal amplitud de campos se debe en parte a la existencia de plataformas de desarrollo libre como Android, que ha permitido usar el hardware y las capacidades de los Smartphones a través de un sinnúmero de aplicaciones.

Una de las prestaciones más importantes con las que cuenta un teléfono inteligente tiene que ver con los sensores que posee integrados en su hardware y la capacidad de conectarse con periféricos adicionales para aumentar tal capacidad de instrumentación. Esto permite medir variables físicas tales como aceleración, presión, velocidad angular, intensidad luminosa, presión atmosférica, concentración gaseosa y humedad, entre muchas otras.

A continuación se describen algunos de los sensores que se encuentran integrados en un teléfono inteligente, (algunos de ellos conocidos como MEMS, sensores microelectromecánicos) y se presentan detalles adicionales de los sensores con los que cuenta el teléfono que se utilizará a lo largo de este trabajo, un LG Nexus 4. La información técnica sobre los rangos y tasas de muestreo de los sensores se ha tomado de los datos proporcionados por el teléfono acerca de los mismos y del texto *Professional Android Sensor Programming* de Millete Greg y Adam Stroud [18].

3.1.1. Acelerómetro:

Es un dispositivo capaz de medir la aceleración y las fuerzas inducidas por la gravedad. En otras palabras es un sensor que permite medir la aceleración y la dirección en que se mueve el dispositivo (cada uno de los 3 ejes), permitiendo controlar con esto distintas aplicaciones.

Actualmente existen 6 tipos diferentes de acelerómetros, clasificados según la forma en que realizan la medición; estos pueden ser capacitivos, piezoeléctricos, piezoresistivos, de efecto Hall, Magneto resistivos y basados en transferencia de calor. Los dispositivos móviles tales como Smartphones y Tablets usan principalmente acelerómetros capacitivos. El tipo de sensor con el que cuenta el Nexus 4 es un LGE con una resolución de 0.001190 m/s^2 y un rango de 4.0 g. Los valores correspondientes a la tasa de muestreo se fijan mediante funciones a través de código durante la programación. Uno de los valores por defecto que permite fijar Android, a la

⁸El celular Samsung Galaxy, uno de los últimos en ser lanzados a la fecha, cuenta con dos procesadores quad-core a 1.6Ghz, 64Gb en capacidad de almacenamiento y 2Gb de memoria RAM.

hora de establecer el tiempo de muestreo de los valores de los sensores es de 50 Hz, en el modo *sensor_delay_game*. No obstante, el usuario puede fijar en teoría cualquier valor de retraso en milisegundos en la toma de muestras (el retraso mínimo sería del orden de los μ s). Luego de realizar la prueba mediante la aplicación *Accelerometer Frequency*⁹, se estableció que la máxima frecuencia de muestreo del acelerómetro del dispositivo se encuentra alrededor de los 200 Hz y registra medidas en 3 ejes (x, y y z).

3.1.2. Giroscopio:

Este es un dispositivo que se utiliza para mantener la orientación y, en el caso de los dispositivos móviles, éstos miden la velocidad rotacional. Los giroscopios inmersos en el mundo de la tecnología móvil, están basados en tecnología MEMS, por lo que para obtener la información necesaria utiliza vibraciones o resonancia. Android entrega valores de velocidad rotacional en radianes por segundo a lo largo de los ejes x , y , y z . Un valor típico de rango esperado es de alrededor de 35 grados por segundo (0.61 rad/s) y la resolución típica ronda los 0.001 grados por segundo ($2E - 5 \text{ rad/s}$). Mediante la aplicación *z-Device Test* fue posible conocer las características del giroscopio integrado en el LG nexus 4, el cual cuenta con un rango de 17.45 rad/s , resolución de 0.0011 rad/s y frecuencia de muestreo máxima de 200 Hz.

Sensor de campo magnético: Los sensores de campo magnético pueden operar bajo una variedad de diferentes métodos dependiendo de la arquitectura de fabricación, de esta forma, pueden usar el efecto Hall, materiales magneto-resistivos o la fuerza de Lorentz. El sensor de campo magnético es normalmente el sensor menos preciso con el que cuenta un teléfono inteligente, pues aún es un problema abierto en el campo de desarrollo de los MEMS. Android proporciona valores de campo magnético en unidades de microteslas. Un valor típico del rango dinámico ronda los 2000 microteslas, mientras que la resolución de dicho sensor es de 0.1 microteslas. El teléfono LG Nexus 4 cuenta con un magnetómetro con un rango de 5000 microteslas, resolución de ± 0.14 microteslas, una frecuencia de muestreo máxima que ronda los 50 Hz y medidas en 3 ejes.

3.1.3. Sensor de proximidad:

Es un sensor ampliamente usado en los Smartphones, ya que puede detectar que tan cerca está el cuerpo de la persona del dispositivo. Esto permite que la pantalla se apague y se desactiven las funciones que leen los comandos táctiles con el fin de ahorrar batería y evitar la activación de

⁹ La aplicación *accelerometer frequency* se encuentra disponible de manera gratuita en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cochibo.accfreq>

funciones no deseadas. Este sensor puede ser de tipo capacitivo, inductivo, ultrasónico entre otros. Los sensores de este tipo que permiten medir la distancia al objetivo funcionan para distancias no mayores a cuatro cm aproximadamente. El sensor de proximidad del Nexus 4 es del tipo on/off incapaz de medir la distancia al objetivo.

Sensor de presión: Hace referencia a un barómetro para medir presión, aunque su uso principal radia en la capacidad de determinar altitudes en lugares donde el GPS no puede operar correctamente, tal como la ubicación dentro de un edificio. Este sensor está actualmente disponible en pocos dispositivos. El celular Nexus 4 cuenta con un barómetro cuyo rango es 1100 mB y una precisión de ± 0.0100 mB.

3.1.4. Sensor de luz:

En un Smartphone el sensor de luz está ubicado en la parte frontal del dispositivo y es capaz de medir el brillo en el rostro del usuario o la cantidad de luz ambiental, esto permite ajustar la cantidad de brillo en la pantalla para que este sea acorde con el de la sensibilidad en los ojos, también es útil en el sentido de que permite lograr un ahorro en la batería del dispositivo, pues al reducir el brillo en un ambiente con poca iluminación el consumo de energía es mucho menor. Este sensor reporta valores en unidades Lux, posee un rango dinámico de entre 1 y 30.000 lux y una resolución de un lux. El Nexus 4 cuenta con un sensor de luz de ± 0.01 lux de resolución con un rango máximo de 10000 lux.

3.1.5. Sensores Virtuales:

Además de los “*sensores primarios*” antes mencionados, el sistema operativo Android cuenta con sensores virtuales, también conocidos como sensores sintéticos. Mientras que los sensores primarios proporcionan información sin ningún tipo de procesamiento, correspondiente a la medición física actual al interior del dispositivo, los sensores virtuales proveen una capa de abstracción entre el código de la aplicación y los componentes de bajo nivel, ya sea mediante la combinación de múltiples sensores físicos o mediante la modificación y tratamiento de tales mediciones en bruto. Dichos sensores, por ejemplo, pueden integrar la medida del giroscopio y combinarla con el magnetómetro y el acelerómetro para proporcionar una medición de la orientación del dispositivo.

Aquí debe tenerse en cuenta que los sensores virtuales podrían no proporcionar las mismas mediciones en dispositivos diferentes (bajo las mismas condiciones), esto debido a que dichos sensores usan los valores proporcionados por los sensores físicos que pueden no encontrarse en todos los dispositivos. Asimismo y basado en la calidad de los dispositivos y otras características

de hardware, los sensores sintéticos pueden proporcionar mejores mediciones dependiendo del equipo sobre el que corre el programa [18]. Entre los sensores virtuales disponibles se encuentran los siguientes:

3.1.5.1. Sensor de aceleración lineal: Proporciona la medición de la fuerza de aceleración en m/s^2 aplicada al dispositivo sobre cada uno de los ejes físicos (x, y y z). La característica principal es que en dicha medición se encuentra excluida la fuerza de gravedad.

3.1.5.2. Sensor de orientación (En desuso): Provee una medida del ángulo de rotación del dispositivo alrededor de cada uno de los ejes. Permite además obtener la medida de inclinación si se combina con otros métodos durante la programación.

3.1.5.3. Sensor Vector de rotación: Usa la fusión de sensores y entrega información de la rotación del dispositivo en forma de cuaterniones sin normalizar (ver sección 4.2.2). Este sensor proporciona un vector de rotación que representa la orientación del dispositivo como una combinación de ángulos y ejes. Éste sensor calcula los valores de rotación basado en las medidas del acelerómetro, magnetómetro y giroscópico si se encuentra disponible.

3.2. EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS INTEGRADOS EN LOS TELÉFONOS INTELIGENTES PARA USARLOS EN LA MONITORIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE KINESIOTERAPIA

En el capítulo 2 se presentaron datos y referencias acerca de las necesidades e información de interés para los especialistas a la hora de evaluar y llevar a cabo sesiones de kinesioterapia, tales como el valor aproximado de las velocidades en los movimientos de las extremidades, las amplitudes angulares máximas, la necesidad de medir y llevar un registro de los desplazamientos de los segmentos corporales durante el movimiento, el progreso en el aumento de la amplitud articular de los pacientes o las trayectorias seguidas durante la realización de tales ejercicios.

Se han expuesto las características y prestaciones de instrumentación con las que cuenta un teléfono inteligente actual, tales como los sensores embebidos capaces de medir aceleración y velocidad de movimiento entre otras variables cinemáticas. Es así, que utilizando los sensores integrados como el acelerómetro y el giroscopio en el celular, se desarrolla un programa que convierta al dispositivo en una unidad de medición inercial (IMU) que permite evaluar algunos de los parámetros antes mencionados; de esta forma, es posible ubicar el dispositivo en las extremidades y monitorizar los movimientos realizados por el paciente.

3.2.1. Capacidad de reconstrucción de movimientos:

Así, dicho movimiento articular puede contemplarse como un problema de cinemática inversa, en el cual es posible modelar o reconstruir las potenciales configuraciones de rotación y posición de los segmentos que componen la cadena articular al conocer una posición específica del extremo en el espacio. No obstante, este planteamiento cuenta con algunas limitaciones, entre ellas la incapacidad de analizar el movimiento (al menos mediante el análisis basado en sensores) de articulaciones como las de los dedos de la mano, pues es impráctico ubicar el celular en uno de los dedos mientras se realiza el movimiento.

De igual forma, y en ausencia de periféricos extra, la capacidad de evaluación de movilidad de extremidades con múltiples articulaciones y amplios grados de movimiento en numerosas direcciones como los brazos (ver Figura 3-1) se vería limitada, pues serían necesarias más de una unidad de medición inercial para un correcto modelado de movimientos combinados, pues con la información de una sola IMU ubicada en el extremo de la articulación, las ecuaciones de cinemática inversa tendrían múltiples soluciones (Figura 3-2); sin embargo, la capacidad de conectividad y versatilidad de los teléfonos inteligentes, permitiría, en un futuro, añadir tales sensores y sincronizar su información con el celular.

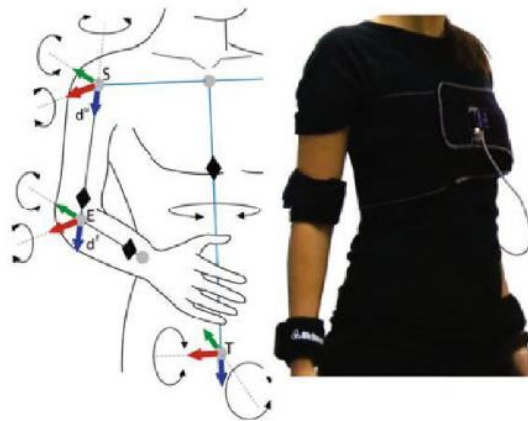


Figura 3-1. Aproximación de los principales grados de libertad del miembro superior humano.

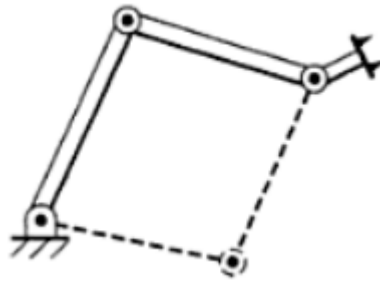


Figura 3-2. Ejemplo de estructura con 3 articulaciones, la línea punteada representa una segunda solución

Por otro lado, es posible monitorizar y conseguir trayectorias siempre y cuando éstas no impliquen el análisis del movimiento combinado de más de un segmento corporal o cuando la biomecánica del mismo limite las soluciones posibles del estudio de cinemática inverso. Por otro lado y teniendo en cuenta que durante las actividades de kinesioterapia se busca el fortalecimiento de grupos musculares particulares, con movimientos repetitivos de baja complejidad, el uso de un teléfono inteligente para tal fin es altamente viable.

De esta forma, es posible llevar un registro acerca de los valores de amplitud durante los movimientos del paciente, conocer algunos valores angulares correspondientes, la velocidad, cantidad de repeticiones y constancia de tales ejercicios e incluso medir la fluidez de los mismos.

3.2.2. Valoración de los sensores embebidos:

Teniendo en cuenta las especificaciones de los sensores del teléfono inteligente y las variables de interés típicas al evaluar los movimientos propuestos, es posible hacer una estimación aproximada de la relación y las capacidades de los recursos embebidos a la hora de usarlos para reconstruir tales movimientos. De esta forma, a continuación se analizan los requerimientos de los sensores, tales como resolución, tasa de muestreo y rangos, desde el punto de vista del análisis del movimiento humano.

Para tal fin, también se tienen como referencia las capacidades de dispositivos comerciales de rastreo de movimiento humano basados en sensores inerciales, tales como los desarrollados por la compañía Xsense¹⁰ y los datos consignados en el documento *Inertial and Magnetic Sensing of Human Motion* [19].

¹⁰ Xsens ofrece productos pequeños de rastreo de movimiento en 3D de alta precisión basados en tecnología MEMS. Entre sus productos se encuentran sistemas IMU en miniatura, sistemas de rumbo y referencia AHRS, soluciones de captura de movimiento y kits de rastreo de movimiento.

En [19], se establece que la frecuencia de muestreo de los sensores debe ser de al menos entre 50 Hz y 100 Hz para el rastreo de movimiento humano, requerimiento con el que los sensores del dispositivo móvil cumplen a cabalidad, pues presentan frecuencias de muestreo de 200 Hz.

3.2.2.1. Requerimientos para los acelerómetros: Considerando que las velocidades angulares alcanzadas durante los ejercicios son de alrededor de 160 grados por segundo ($\approx 0.9\pi \text{ rad/s}$) y conociendo la frecuencia de muestreo del dispositivo, es posible estimar la cantidad de puntos que aproximadamente se tendrán para reconstruir los arcos de movimiento en función de dicha frecuencia de muestreo.

Por tanto, con una frecuencia de muestreo determinada (f) será posible tener T puntos por cada $0.9\pi \text{ rad}$ de recorrido, sin embargo para tener una idea más clara y una mejor aproximación a la capacidad de reconstrucción de las trayectorias o movimientos articulares desde el enfoque del acelerómetro, es necesario conocer la longitud de la extremidad en movimiento y así estimar la velocidad y distancia lineal recorrida.

Por lo tanto, asumiendo una longitud del punto más distante a una articulación de entre 50.9 cm (distancia de la nalga hasta la fosa poplítea) y 97.1 cm, (si se tiene en cuenta movimientos como los de aducción y abducción de cadera que involucran dos segmentos articulares) es posible estimar la velocidad lineal alcanzada [20]:

$$\text{velocidad lineal } (v) = \text{radio}(r) \cdot \text{velocidad angular } (w)$$

$$v = 100 \text{ cm} \cdot 0.9\pi \text{ rad/s}$$

$$v_1 = 282 \text{ cm/s}$$

De esta forma se tienen velocidades lineales de entre 1.69 m/s y 2.8 m/s respectivamente. Si se divide la frecuencia de muestro entre la velocidad lineal máxima, es posible obtener el número de muestras que se conseguirán por cada metro de recorrido:

$$\text{numero de muestras} = \frac{f}{2.8} \cong \frac{5 \cdot f}{14} [\text{muestras/m}] \quad (1)$$

Por tanto, es posible obtener $5 \cdot f / 14$ muestras para reconstruir una trayectoria de un metro de recorrido, cuando el movimiento se hace con el dispositivo ubicado a 100 cm del eje de rotación y a las velocidades más altas en el marco de las terapias de rehabilitación.

Usando la ecuación (1) con la frecuencia de muestreo del teléfono inteligente usado para el desarrollo del proyecto (Nexus 4), cuyo valor es de 200 Hz se tendría:

$$\text{numero de muestras} = \frac{200/s}{2.8 \frac{m}{s}} \cong 71 [\text{muestras}/m]$$

De esta forma, se estima que con una frecuencia de muestreo de 200 Hz, con el dispositivo ubicado a una distancia de 100 cm del eje de rotación y a una velocidad de 2.8 m/s durante el ejercicio, se tendrán aproximadamente 71 puntos por cada metro de recorrido para reconstruir la trayectoria. Esto, siempre y cuando los algoritmos de integración que permiten calcular posición y velocidad no reduzcan la tasa de muestreo.

Dicha trayectoria constituiría cada una de las repeticiones que se llevan a cabo durante una serie en el marco de una sesión de terapia. Se debe recordar que la dinámica general durante una terapia de rehabilitación consiste en realizar numerosas sesiones de ejercicios, cada una con un número de series determinado y cada serie con un número particular de repeticiones. El dispositivo es capaz de obtener información de cada una de dichas repeticiones.

Cabe aclarar que estos cálculos no son más que una estimación para dar una idea del alcance de los recursos del dispositivo y se hacen teniendo en cuenta los casos de mayor exigencia, en el que los movimientos son realizados por las extremidades más largas y a gran velocidad, tales como los movimientos de flexión y extensión del hombro o de aducción y abducción de la cadera (con el dispositivo ubicado en los extremos más alejados al eje del movimiento).

El desarrollo anterior es un estimado de la capacidad del dispositivo para capturar información del movimiento basado en la cantidad de puntos por unidad de distancia en los casos más exigentes que el dispositivo es capaz de obtener. No obstante, la estimación precisa del movimiento está estrechamente ligada con la capacidad del acelerómetro, el giroscopio y los algoritmos de integración que permitan calcular la posición del mismo, motivo por el cual, y desde éste punto de vista del análisis, la tasa de muestreo y la precisión del sensor es suficiente para tratar de lograr tal fin.

3.2.2.2. Requerimientos para los giroscopios: En el caso del giroscopio es posible realizar un análisis similar al expuesto en el caso del acelerómetro, es decir si la frecuencia de muestreo de la velocidad angular es f , la frecuencia de muestreo de la medida del ángulo será f . Por tanto se tendrán T medidas de ángulo y de velocidad angular por cada segundo de rotación. Tomando de

nuevo como base, que la velocidades angulares más altas que se alcanzan durante los ejercicios rondan los 160 grados por segundo ($\approx 0.9\pi \text{ rad/s}$), es posible estimar la cantidad de muestras que se tendrán por cada grado o radian de movimiento.

$$\text{número de muestras} = \frac{f}{0.9\pi \text{ rad/s}} \cong \frac{10 \cdot f}{9 \cdot \pi} \left[\frac{\text{muestras}}{\text{rad}} \right] \quad (2)$$

Si se toma como referencia el equipo que se usará (Nexus 4) cuyo giroscopio cuenta con una frecuencia de muestreo de 200 Hz, se tendrá:

$$\text{número de muestras} = \frac{200}{0.9\pi \text{ rad/s}} \cong 70.73 \left[\frac{\text{muestras}}{\text{rad}} \right]$$

En cuanto a la precisión de ambos sensores, es posible comparar sus capacidades con dispositivos comerciales de rastreo de movimiento basado en los mismos sistemas, como el *Colibri inertial motion tracker*¹¹ de la compañía alemana Trivisio, usados para el desarrollo de aplicaciones de control de movimiento, navegación de dispositivos, robótica y rehabilitación, el cual cuenta con frecuencias de trabajo de 100hz y acelerómetros y giroscopios de 13 bits de resolución, por lo que los sensores incorporados en el teléfono inteligente (Nexus 4) de 13 bits son adecuados para el propósito del proyecto.

3.2.2.3. Capacidades extra: Por otro lado, con el teléfono inteligente es posible llevar a cabo un completo registro de las actividades de movilidad del paciente, pues la aplicación podrá comunicarse con un servidor y transferirá la información con el fin de que el especialista pueda evaluarla. Igualmente estará en capacidad de indicarle al paciente los tiempos de descanso y la frecuencia con la que debe realizar los ejercicios.

Con el uso de periféricos extra, será posible, además de mejorar el análisis sensorial cinético y cinemático de los ejercicios, obtener mediciones e información electromiográficas de los músculos, frecuencias de respiración y cardiacas y temperatura corporal entre otros factores de interés. Debido a la necesidad de tales periféricos, el análisis de ejercicios isométricos no se puede llevar a cabo solamente con el teléfono, por lo que este trabajo se enfocará solamente en el análisis de ejercicios anisométricos.

¹¹ Especificaciones técnicas en: <http://www.trivisio.com/trivisio-products/colibri-inertial-motion-tracker-2/>

3.3. SELECCIÓN DE VARIABLES A MONITORIZAR MEDIANTE LOS RECURSOS DISPONIBLES EN LOS TELÉFONOS INTELIGENTES.

A lo largo de este trabajo se pretende realizar una aplicación que sirva de base para el desarrollo de un futuro sistema de seguimiento de ejercicio, capaz de evaluar múltiples movimientos y llevar un sistema de registro y estadísticas de tales terapias. Aquí se han presentado las principales variables de interés para el especialista y se han expuesto las capacidades con las que cuentan los teléfonos inteligentes con el fin de usarlos para tal seguimiento, escogiendo básicamente, las variables relacionadas con la amplitud y velocidad del movimiento como principal objeto de monitorización.

De esta forma, se utiliza el teléfono inteligente con el fin de adquirir la información deseada de los ejercicios de movilidad llevados a cabo por el paciente y posteriormente, una vez finalizada la sesión y aprovechando la capacidad de conectividad, se enviarán los datos de la misma a un servidor web con el fin de que el especialista pueda tener el registro y la información necesaria de la sesión, así mismo será posible llevar un historial de todas las sesiones y almacenar datos personales del paciente e información de su progreso a lo largo de la terapia.

Inicialmente se debe llevar a cabo una etapa de parametrización en la cual se fijen, además de datos para los cálculos necesarios de la aplicación, valores de los umbrales aceptables durante el ejercicio.

Así, la aplicación móvil está en capacidad de realizar las siguientes acciones durante la sesión de terapia:

- Monitorizar la velocidad del movimiento: En este sentido, se establece un margen de aceptación en cuanto a la velocidad máxima de realización de los ejercicios, por lo que la aplicación, podrá además de llevar un registro de la misma, emitir alarmas o avisos al paciente cuando estos sean demasiado rápidos.
- Monitorizar la amplitud promedio del movimiento: Al igual que en el caso de la velocidad, la aplicación podrá emitir alertas cuando estos se realicen de manera adecuada o cuando los movimientos estén fuera del umbral establecido.
- Emitir alertas al finalizar los tiempos de descanso y al terminar cada una de las series

- Almacenar la información y enviarla al servidor web.

En resumen, la aplicación básicamente monitoriza movimientos a lo largo del tiempo y proporciona alertas e información estadística al usuario y al especialista. Las especificaciones y demás características de la aplicación se definen en los capítulos siguientes.

3.4. RESUMEN

En este capítulo se llevó a cabo un análisis de los teléfonos inteligentes actuales, se describieron algunas de sus capacidades software y hardware y se presentaron algunos de los sensores con los que cuentan. Posteriormente se realizó una evaluación de tales sensores y de sus capacidades (en términos de resolución y frecuencias de muestreo) a la hora de evaluar movimientos humanos en el marco de la kinesiología. Quedó evidenciado que un Smartphone actual y más específicamente el dispositivo usado para el desarrollo de éste proyecto, cuenta con todas las capacidades para implementar sistemas de captura de información y movimiento humano basado en sus sensores inerciales embebidos.

Finalmente se escogieron y presentaron las variables evaluadas en kinesiología que pueden ser monitorizadas mediante el uso de un teléfono inteligente, las cuales corresponden a la velocidad y amplitud de los ejercicios y su intensidad en términos de las repeticiones series y sesiones llevadas a cabo.

CAPÍTULO IV

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DEL MOVIMIENTO

Los sistemas de captura y rastreo de movimiento basados en sensores inerciales tienen, como pilar fundamental de su funcionamiento, algoritmos conocidos como esquemas de fusión de sensores, los cuales consisten en la combinación de las medidas de diferentes dispositivos con el fin de obtener mediciones más precisas y consistentes. Este capítulo muestra una introducción a dichos esquemas, presenta conceptos básicos de su base matemática y la forma en que se diseñó y puso en marcha el sistema de reconocimiento de movimientos basado en los sensores inerciales embebidos en un Smartphone. Finalmente se presentan los resultados del sistema de medición implementado y se describen los algoritmos desarrollados con el fin de reconocer las diferentes etapas del movimiento realizado durante una terapia de rodilla.

4.1. INTRODUCCIÓN A LOS ESQUEMAS DE FUSIÓN DE SENSORES

Cuando se obtiene información de los sensores, es importante entender los tipos de errores con los que se puede encontrar, tales como el error debido al ruido, los errores de *offset*, de retraso de tiempo (*Time Delay*) y pérdida de datos. Estos últimos se deben principalmente a que Android no es un sistema operativo de tiempo real (RTOS). Asimismo, también se hallan errores como el de la “*deriva*”, la cual ocurre debido a la degradación de la medida a lo largo del tiempo cuando una medición es integrada. Por tanto, debe tenerse en cuenta que las medidas de los sensores frecuentemente pueden producir datos incorrectos.

La acumulación del error (tanto de *offset* como de *deriva*) es una de las causas por la que no es posible usar la doble integración para calcular la distancia a partir de las mediciones del acelerómetro y es la razón por la que el sistema de captura de movimiento se realiza completamente a partir de mediciones de posición y velocidad angulares.

Por tanto y con el objetivo de conseguir las mediciones de orientación del dispositivo, uno de los caminos por los que podría optarse es la simple integración de la medida del giroscopio con el fin de obtener las mediciones angulares, no obstante dicho proceso entrega pobres resultados, pues el error debido al *offset* y la *deriva* se acumulan a lo largo de cada iteración del proceso de

integración, generado, de esta manera, mediciones cada vez más erróneas a medida que el tiempo avanza.

Entre las técnicas que se pueden usar para hacer frente a tales errores se encuentran los filtros, los procesos de re calibración de cero y la fusión de sensores, la cual consiste en tomar ventaja de las fortalezas de cada sensor para mitigar los efectos de las debilidades. Así, por ejemplo, es posible utilizar el giroscopio para calcular la orientación con mayor velocidad y menos ruido que el acelerómetro y el magnetómetro y, al mismo tiempo, usar las mediciones de estos dos para reducir los efectos de la deriva de la medida del giroscopio debida a la integración.

Así, con el fin de obtener las medidas de orientación del dispositivo, a continuación se describen algunos de los métodos usados para lograr tal fin. Ver Figura 4-1.

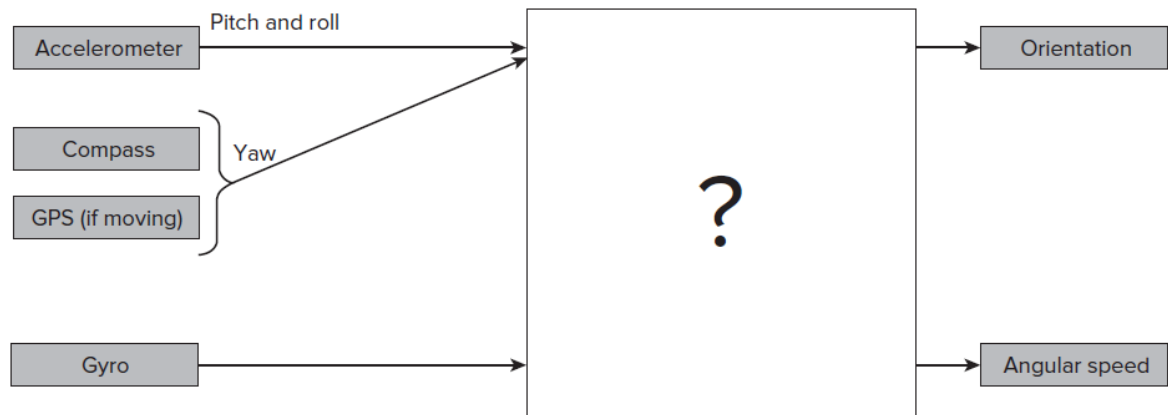


Figura 4-1. Representación gráfica del problema de usar la fusión de sensores para determinar la orientación [18].

Aquí vale la pena recalcar quem, desde el punto de vista de la programación en Android, dichos métodos pueden ser “simples” o “propietarios”. Los métodos simples hacen referencia a aquellos que el programador puede implementar desde cero a partir de las mediciones sin procesar proveniente de los sensores, como el caso del Filtro complementario (ver Figura 4-2).

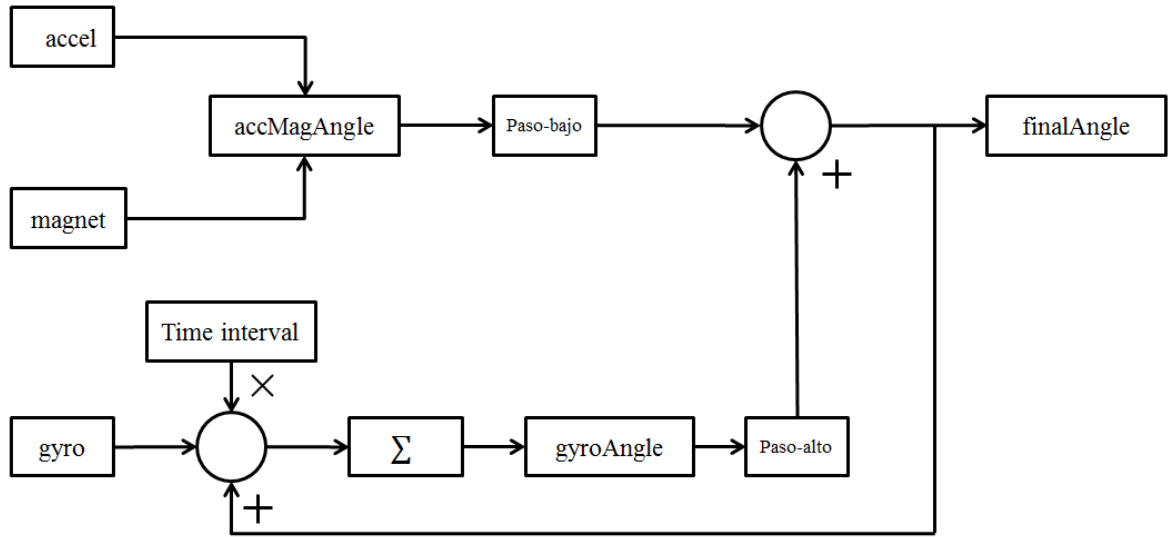


Figura 4-2. Esquema general del filtro complementario para calcular la orientación.

El filtro complementario obtiene información de la orientación del dispositivo mediante los datos proporcionados por el acelerómetro y el magnetómetro. Aquí se toma la magnitud de los vectores de fuerza y, mediante relaciones trigonométricas, se deducen los ángulos de inclinación en cada uno de los ejes. Posteriormente esta medición es procesada mediante un filtro paso-bajo. Por otro lado, también se toma la medida de velocidad angular del giroscopio y se multiplica por el intervalo de tiempo que transcurre entre cada medida consiguiendo, de esta manera, el desplazamiento angular. Posteriormente la medida pasa a través de un filtro paso alto y finalmente se computa con la medida de orientación entregada por el acelerómetro y el magnetómetro. El cálculo final consiste básicamente en un promedio de pesos, donde se asigna una proporción fija a cada una de las medidas. La ecuación (3) expresa la función que representa la salida del filtro complementario:

$$finalAngle_t = \alpha \cdot (finalAngle_{t-1} + gyroAngle \cdot \Delta t) + (1 - \alpha) \cdot accMagAngle \quad (3)$$

Donde α es la variable que representa el peso o importancia que tendrá cada una de las dos medidas, así, si α es igual a 1 no se estará teniendo en cuenta la medida del acelerómetro que ayuda a compensar la deriva. Por su parte, si α es igual a cero, se estará utilizando únicamente la medida proporcionada por el acelerómetro y el magnetómetro, la cual es altamente sensible a fuerzas externas.

Otra de las alternativas disponibles para llevar a cabo la fusión de sensores mediante el uso de los datos del acelerómetro y el giroscopio, consiste en la utilización de un tipo de filtro Kalman, en el

cual, a diferencia del filtro complementario, la relación de pesos de las dos señales es variable con el tiempo y cambia constantemente en función de la señal de medición del ruido y de la señal del acelerómetro. Aunque el filtro Kalman puede proporcionar los mejores resultados, su implementación es muy costosa y si los requisitos de precisión no son muy exigentes, el filtro complementario puede proporcionar resultados bastante aceptables.

La otra alternativa para el desarrollo de la aplicación, radica en el uso de “métodos propietarios”, los cuales son algoritmos de fusión de sensores hechos durante el desarrollo de los dispositivos, por lo que los detalles de su implementación no están disponibles para el desarrollador, como el caso de los fabricados por *Invensense*¹².

A pesar de esto, si es posible contar con “métodos finales” que permiten obtener la información de orientación del dispositivo. De esta forma, Android proporciona instrucciones de programación para adquirir la información de los sensores, tanto de los reales (acelerómetro, giroscopio y magnetómetro) como de los virtuales (Vector de rotación, aceleración lineal, giroscopio calibrado, entre otros).

En este sentido, el método que se usa para alcanzar el propósito de la aplicación radica en el uso del sensor “*Vector de rotación*”, el cual es un tipo de sensor virtual que en dispositivos compatibles permite obtener mediciones de orientación más precisas basados en la integración de la medición del giroscopio, con menores niveles de ruido, con un reducido nivel en la deriva del mismo y bajo una constante comparación de los datos con información proporcionada por el compás y el acelerómetro [18].

Si el dispositivo no cuenta con Sensores desarrollados por *invense*, la implementación de los sensores sintéticos proporcionados por Android puede ser diferente, usando la asignación directa de valores para calcular la orientación del dispositivo tal como se observa en las Figura 4-3 o Figura 4-4.

¹² Invensense es una compañía que desarrolla y manufactura circuitos integrados de sensores. Es líder en el desarrollo de tecnologías enfocadas al procesamiento y captura de movimiento.

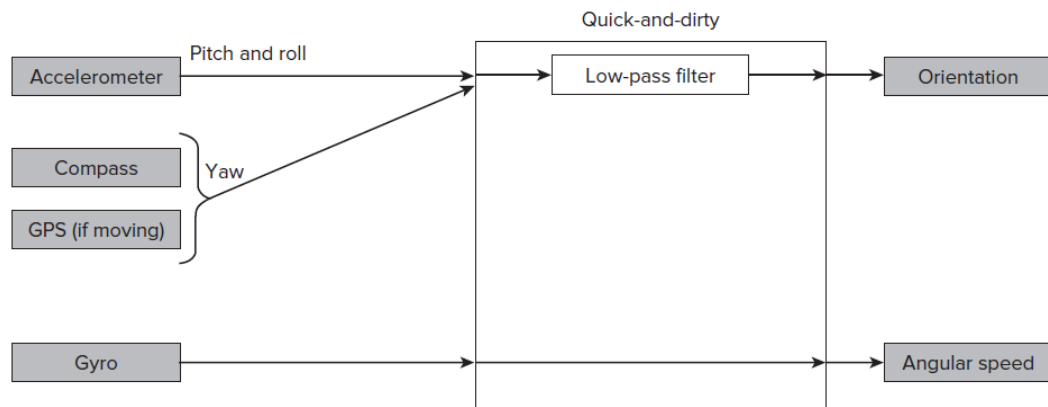


Figura 4-3. Uso de un filtro paso bajo para obtener la orientación a partir del acelerómetro y el giroscopio [18].

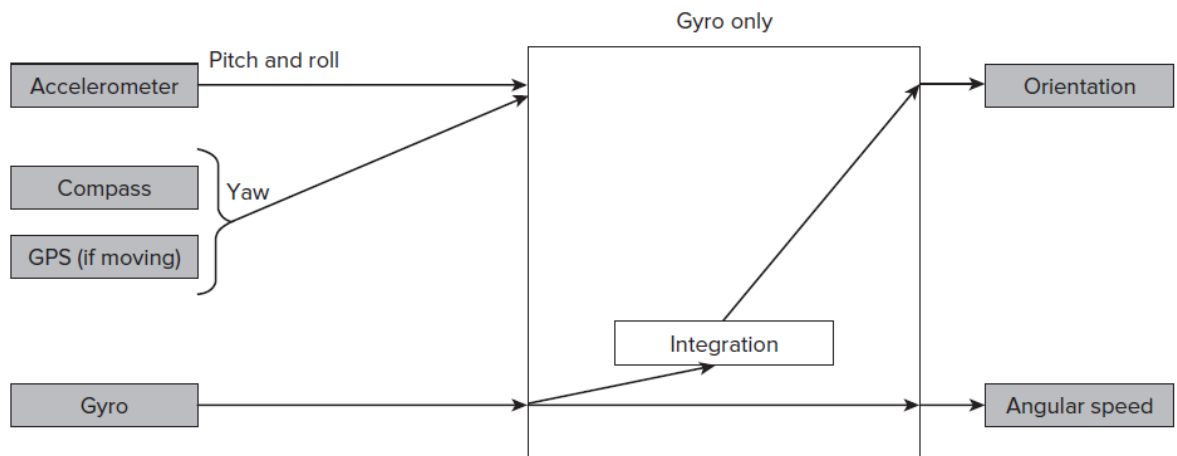


Figura 4-4. Integración de la medida del giroscopio para obtener la orientación [18].

A pesar de que los detalles del algoritmo base utilizado por el sensor tipo “*Vector de Rotación*” no están disponibles, es probable que éste use algún tipo de algoritmo inteligente o una forma de filtro Kalman, tal como se observa en la Figura 4-5.

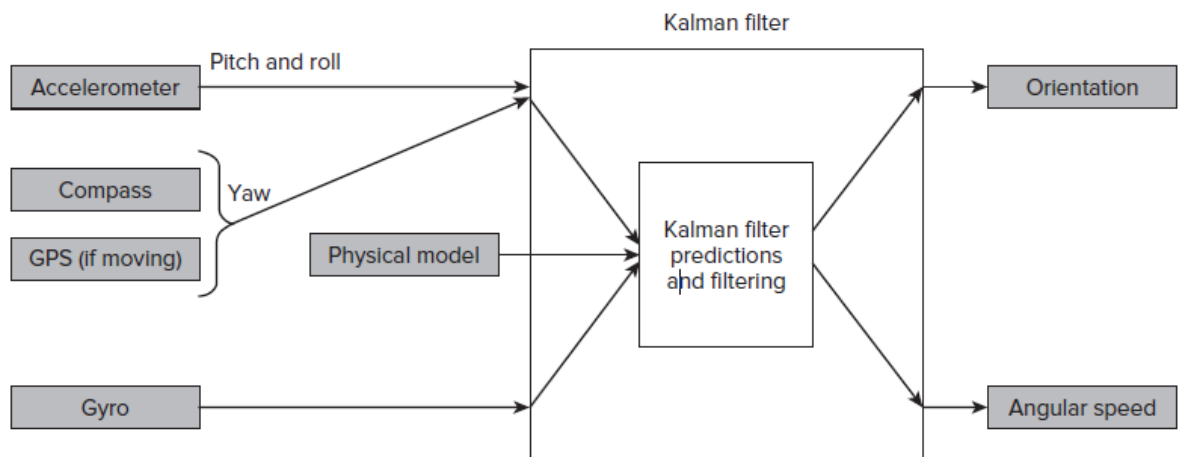


Figura 4-5. Uso de filtro Kalman para obtener la orientación.

4.2. REPRESENTACIÓN DE LA ROTACIÓN

Para representar los movimientos del dispositivo sobre su propio eje cuando éste rota a lo largo de las tres dimensiones que lo representan, existen numerosos métodos matemáticos que facilitan dicha tarea.

A lo largo de éste capítulo se describen dos de los más ampliamente usados a la hora de representar convenientemente la posición y la orientación de los objetos en el espacio y los cuales se han implementado en el desarrollo de la aplicación: los ángulos de Euler y los Cuaterniones.

4.2.1. Ángulos de Euler

Los ángulos de Euler permiten describir el movimiento de un cuerpo rígido mediante las tres coordenadas de su centro de masa (X, Y, Z) y tres ángulos que definan la orientación de dichos ejes móviles, respecto al sistema de coordenadas fijo x, y y z . Tanto los tres ejes del sistema fijo como los del objeto son ortogonales entre sí. Ver Figura 4-6.

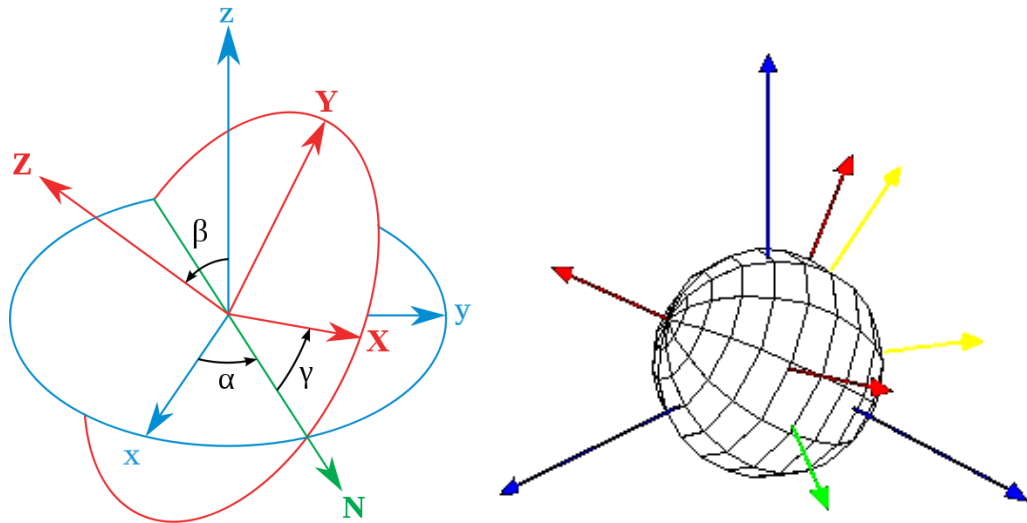


Figura 4-6. Representación de los ángulos de Euler¹³

Los ángulos de Euler son altamente intuitivos, pues cada posición del objeto se describe mediante tres valores que representan los ángulos de giro sobre cada uno de los ejes que representa a la figura.

No obstante, los ángulos de Euler sufren de un problema conocido como “*Gimbal lock*” el cual consiste en la pérdida de uno de los grados de movimiento cuando dos de los ejes se alinean sobre el mismo plano. Esta es la razón principal por la que programadores y diseñadores evitan usar los ángulos de Euler a la hora de representar la posición y movimiento de un objeto, optando, de esta manera, por alternativas como los cuaterniones. Dicho problema quedó evidenciado durante las pruebas preliminares de la aplicación, pues ésta presentaba valores nulos o inválidos cuando dos de los ejes se alineaban.

4.2.2. Cuaterniones:

El concepto de cuaterniones fue introducido por primera vez por el matemático Irlandés William Rowan Hamilton en 1843. Él diseñó un sistema de números complejos compuestos por cuatro elementos, correspondientes a una magnitud real (S) y a un vector de tres números imaginarios. La forma general de escribir un quaternion se expresa a continuación:

$$Q = s + xi + yj + zk \quad s, x, y, z \in \mathbb{R} \quad (4)$$

¹³ Fuente: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Euler.png>

Donde se cumple:

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1 \quad (5)$$

Y al igual que en el sistema de coordenadas cartesianas donde los ejes X, Y y Z son ortogonales entre sí, los ejes imaginarios de los cuaterniones también lo son, cumpliendo:

$$i \times j = k \quad j \times k = i \quad k \times i = j \quad j \times i = -k \quad k \times j = -i \quad i \times k = -j \quad (6)$$

La Figura 4-7 ilustra la interpretación geométrica de los cuaterniones.

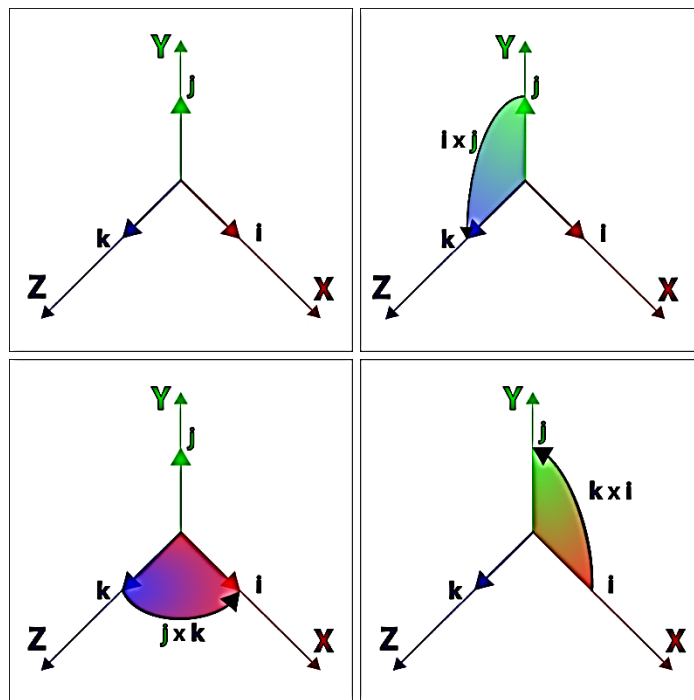


Figura 4-7. Representación de los ejes de los Cuaterniones¹⁴.

A la hora de usar los cuaterniones como herramientas para representar la orientación y usar sus propiedades matemáticas para tal fin, es necesario realizar un trabajo de abstracción con el fin de comprenderlos tal y como se hace con los ángulos de Euler, pues su visualización no es tan intuitiva con la de éstos.

¹⁴ Fuente: <http://3dgep.com/understanding-quaternions/>

La motivación de Hamilton fue crear un operador geométrico capaz de transformar un vector en otro en el espacio tridimensional. Éste operador es el cociente geométrico entre dos vectores que cambian su longitud y orientación y es llamado Quaternion debido a que requería cuatro parámetros, uno para definir el factor de escalamiento, otro para representar el ángulo de rotación y dos más para señalar el plano sobre el cual rotaban ¹⁵. Los cuaterniones son una extensión de los números complejos y pueden representar la rotación y escalado de un objeto en el espacio tridimensional tal y como los números complejos convencionales pueden hacerlo sobre el plano 2D. Así, por ejemplo, un cuaternión que cuente únicamente con su parte real implica un escalado uniforme, es decir:

$$Q = q_0 + i0 + j0 + k0 \quad (7)$$

El siguiente caso es el de un cuaternión que posea parte real y además una dimensión imaginaria, por ejemplo:

$$Q = q_0 + iq_0 + j0 + k0 \quad (8)$$

Para todo efecto práctico, este cuaternión se comporta de manera similar a un rotor complejo, es decir, que representa una rotación en el plano de forma análoga a como lo haría un número complejo de norma uno, como el siguiente:

$$R = \cos\theta + isin\theta + j0 + k0, \quad ||R|| = 1 \quad (9)$$

Recordando que los vectores i, j, k son análogos a los vectores x, y, z , se evidencia que el Cuaternión descrito en (8) representa una rotación sobre el plano YZ al igual que lo hace el rotor de la ecuación (9). Siguiendo con éste análisis es posible deducir las siguientes equivalencias ¹⁶:

Cuaternión para rotar un vector en el plano YZ: $R = \cos\theta + isin\theta + j0 + k0$

Cuaternión para rotar un vector en el plano XZ: $R = \cos\theta + i0 + jsin\theta + k0$

Cuaternión para rotar un vector en el plano XY: $R = \cos\theta + i0 + j0 + ksin\theta$

Tal y como los números imaginarios, los cuaterniones pueden expresar un vector o una función de rotación alrededor de un eje en el plano tridimensional, no obstante dicho análisis matemático

¹⁵ Demostración: <http://www.songho.ca/math/quaternion/quaternion.html>

¹⁶ Fuente: <http://rastergraphics.wordpress.com/2012/07/20/otro-tutorial-de-quaternions/>

va más allá del propósito de éste trabajo, pues aquí solamente se usará el vector que contiene la información de orientación del dispositivo y no se implementarán las operaciones que permiten la rotación, traslación o estrechamiento de dichos vectores, tal y como se usan cuando del control de objetos en tres dimensiones se trata.

De esta forma, y continuando con el análisis de los cuaterniones, se debe destacar que éstos no cuentan con la limitación que padecen los ángulos de Euler, referida al “*Gimbal lock*” y las operaciones matemáticas usadas para aplicar sus propiedades en la representación de objetos en el espacio tridimensional son mucho menos costosas computacionalmente.

Desde el punto de vista de Android, la aplicación entrega la orientación del dispositivo en forma de Cuaternión normalizados y con sus ejes referenciados tal y como se observa en la Figura 4-8.

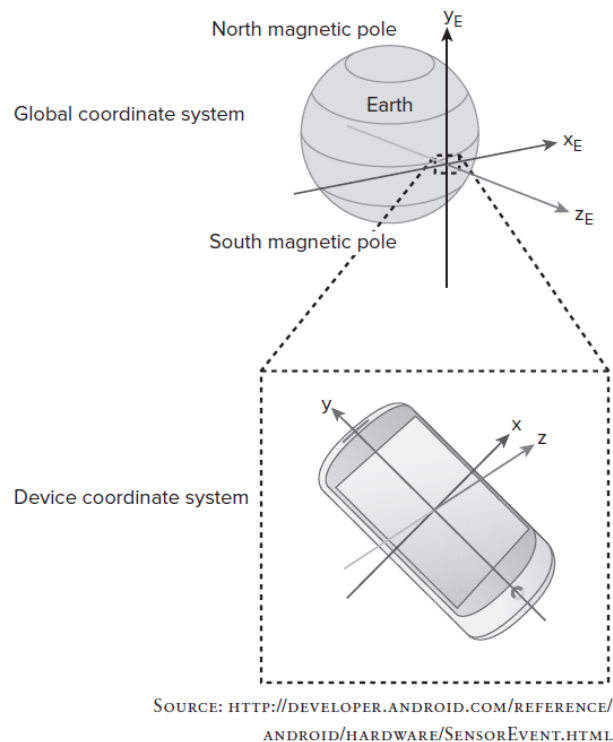


Figura 4-8. Sistema de coordenadas del teléfono inteligente referenciadas al sistema de coordenadas globales.

La ecuación (13) ilustra el Cuaternión que representa la orientación del dispositivo:

$$q = \begin{pmatrix} a \\ ib \\ jc \\ kd \end{pmatrix} \quad (13)$$

Finalmente y con el fin de visualizar mejor dicha información, se transforma el Cuaternión en ángulos de Euler, mediante las ecuaciones (14), (15) y (16).

$$\phi = \arctan 2 \left(\frac{2 \cdot (ab + cd)}{a^2 - b^2 - c^2 + d^2} \right) \text{ rotación respecto al eje } x \quad (14)$$

$$\theta = -\arcsin(2 \cdot (bd - ac)) \text{ rotación respecto al eje } y \quad (15)$$

$$\gamma = \arctan 2 \left(\frac{2 \cdot (ab + cd)}{a^2 + b^2 - c^2 - d^2} \right) \text{ rotación respecto al eje } z \quad (16)$$

Dónde ϕ y γ comprenden valores entre 0 y π mientras que θ solo lo hace entre 0 y $\pi/2$.

Se debe aclarar que se ha utilizado la función *arctan2* en lugar de la función *arctan* comúnmente conocida, esto se debe a que la primera recibe como parámetro el signo de cada uno de los operandos, para conocer, de ésta manera y de forma adecuada, el cuadrante en el cual se encuentra el ángulo obtenido.

4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Una vez elegidos y estudiados los métodos y las funciones de programación Android que permiten la obtención de la orientación del dispositivo, se realizó su implementación. A continuación se describen algunos pasos de dicho proceso.

Inicialmente, y luego de haber declarado adecuadamente la entidad que manejará los eventos de los sensores, se establece el tipo de sensor a usar (*TYPE_ROTATION_VECTOR*) y la velocidad a la que se desea que se obtengan los datos (*DELAY_FASTEST*). En este caso se ha solicitado adquirir los datos a la mayor velocidad posible, no obstante debe tenerse en cuenta que la adquisición de dichos datos no se hará a una tasa constante ya que otros procesos de la aplicación pueden cambiar o alterar constantemente dicha tasa de muestreo. Ver Figura 4-9.

```
myManager.registerListener(this, myManager.  
getDefaultSensor(Sensor.TYPE_ROTATION_VECTOR), SensorManager.SENSOR_DELAY_FASTEST);
```

Figura 4-9. Selección del tipo de sensor y de la tasa de muestreo del mismo.

Posteriormente y cada vez que ocurra un cambio en los valores de los sensores, la aplicación adquirirá los datos generados por éstos (guardándolos en la variable *rotationVals*) y tratará de hacerlo a la frecuencia de muestreo más rápida posible. En este caso en particular se esperaría que los datos se generen aproximadamente cada 5ms, ya que ésta es la máxima velocidad de muestreo del dispositivo. La Figura 4-10 ilustra éste proceso y evidencia, asimismo, el uso de una variable llamada *tiempo_acumulado*, utilizada con el fin de conocer el instante de tiempo en el cual se obtiene cada uno de los datos de los sensores.

```
public void onSensorChanged(SensorEvent event) {

    if (timestamp != 0) {
        final float tiempo = (event.timestamp - timestamp) * NS2S;
        tiempoAcumulado=tiempoAcumulado+tiempo;

        synchronized(this){rotationVals = event.values.clone();}

    }
    timestamp = event.timestamp;
}
```

Figura 4-10. Adquisición de los datos del sensor y del instante en que ocurre cada evento.

La variable *NS2S* es un factor que permite convertir el tiempo en segundos, puesto que las estampas de tiempo son generadas originalmente en nanosegundos.

Finalmente, se usa el vector donde se guardaron los datos de la orientación del dispositivo durante el paso anterior (*rotationVals*) y, mediante el método *getCuaterniónFromVector()* se obtiene el Cuaternión normalizado que se almacena en el vector *orientationVals*. Acto seguido se convierten dichos valores en ángulos de Euler para su visualización y operación y al final basta con convertir los ángulos que se encuentran en radianes, en grados mediante la función *Math.toDegree()*. Ver Figura 4-11.

```
SensorManager.getQuaternionFromVector(orientationVals, rotationVals);
orientationVals1=ConvertirAngulos(orientationVals);
glbX = Math.toDegrees(orientationVals1[0]);
glbY = Math.toDegrees(orientationVals1[1]);
glbZ = Math.toDegrees(orientationVals1[2]);
glbW = Math.toDegrees(orientationVals1[3]);
```

Figura 4-11. Obtención de la orientación en forma de Cuaternión normalizado y su posterior conversión.

La aplicación usa los ejes Z y X , los cuales apuntan hacia el norte y en dirección de la gravedad respectivamente, como referencia a la hora de suministrar la orientación del dispositivo. El eje Y será perpendicular a estos dos. De ésta forma, el dispositivo mostrará los valores $0x$, $0y$, $0z$ si el celular se encuentra apuntando hacia el norte, en posición completamente horizontal y con la pantalla hacia arriba.

Una vez se cuenta con las medidas angulares en grados, éstas se truncan con el fin de visualizarlas y realizar el posterior procesamiento. A pesar de que el giroscopio y el acelerómetro cuentan con las resoluciones descritas en 3.1.1 y 3.1.23.1.2, es claro que no se utilizarán tales niveles de precisión ya que el propósito de la aplicación admite niveles de incertidumbre del orden de grados. Cabe aclarar que dicho truncamiento se efectúa al final de todo el proceso de adquisición y procesamiento de los datos, por lo cual, la normalización de los cuaterniones, su conversión en ángulos de Euler y la posterior transformación en grados se efectúa con toda la resolución disponible.

Una vez se obtienen los datos de los sensores y las estampas de tiempo de cada uno de ellos, se almacenan en un nuevo arreglo y se envían a una base de datos con el fin de realizar su posterior análisis. No se realiza una validación más estricta de las mediciones del sistema debido a que, como se mencionó antes, los requerimientos de la aplicación no lo exigen y los valores entregados por la misma son coherentes y aceptables desde éste punto de vista.

4.4. CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS BASADA EN EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN:

Posterior a la implementación del sistema de medición se procede a examinar los datos obtenidos durante un movimiento o terapia específica, de ésta forma se han elegido los movimientos de flexión y extensión de rodilla con el fin de observar el comportamiento de dicha información, caracterizarla y diseñar el algoritmo encargado de reconocer estos movimientos.

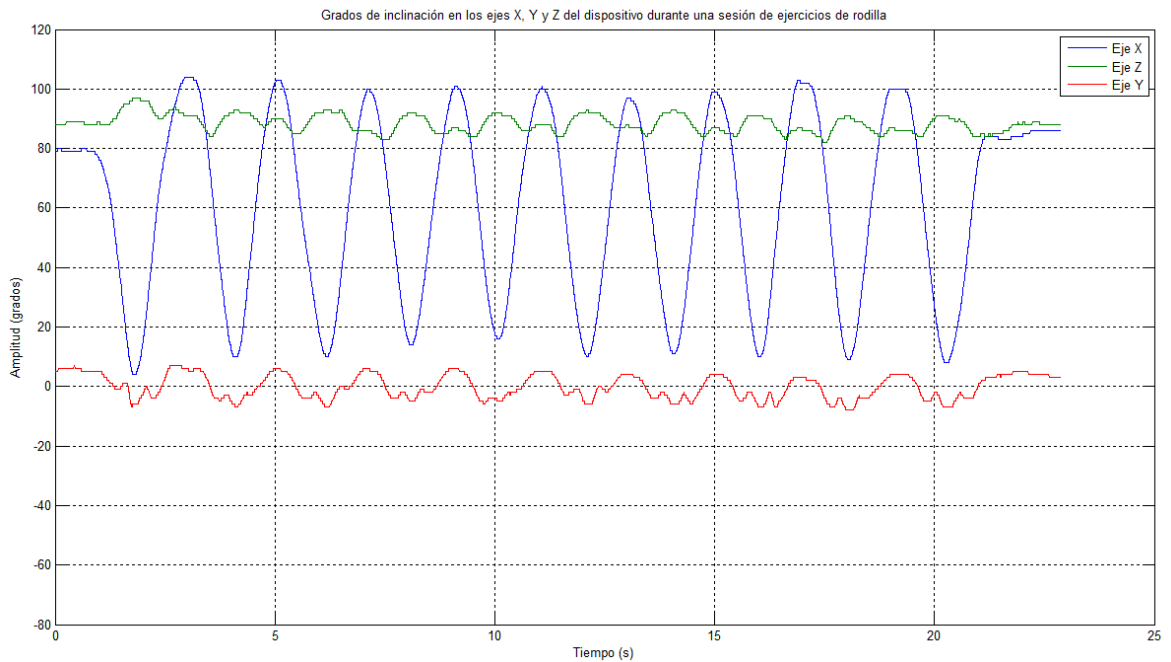
El dispositivo se ubicó alrededor de la pantorrilla justo debajo de la rodilla en la pierna derecha y apuntando hacia afuera (El indicador verde ilustra la posición de la pantalla del celular). Se realizaron ejercicios de extensión de rodilla sentado tal como se ilustra en la Figura 4-12.



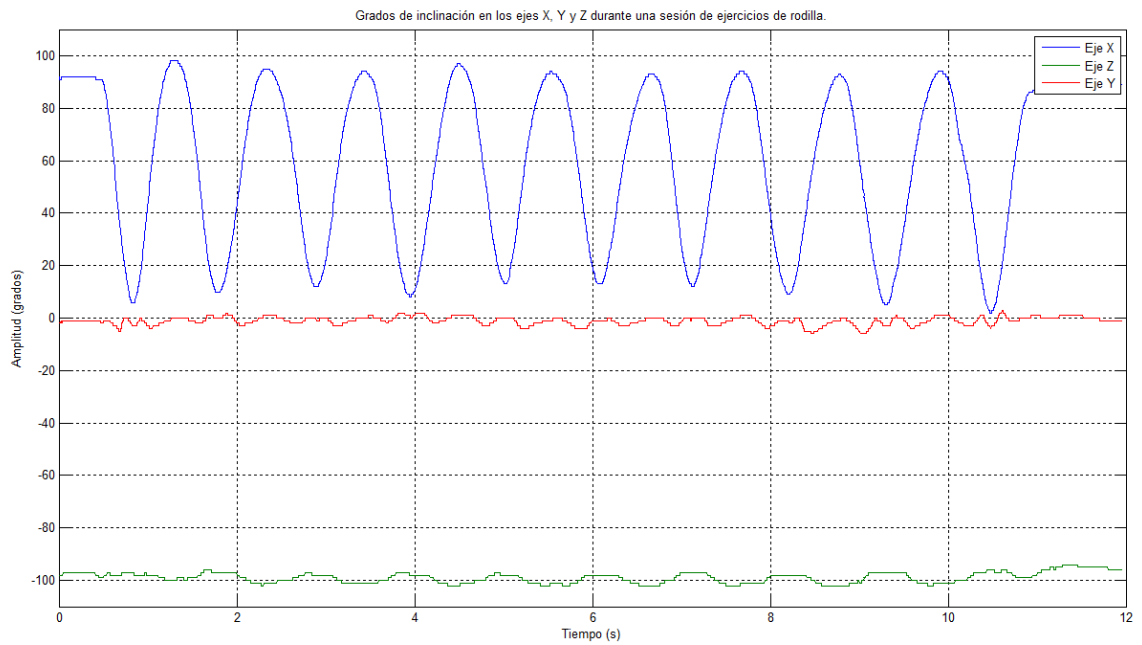
Figura 4-12. Movimientos de flexo-extensión de rodilla sentado con el dispositivo ubicado en la pantorrilla¹⁷.

Las Figura 4-13 (a) y Figura 4-13 (b) muestran los valores que toman los sensores durante una sesión de 10 repeticiones durante movimientos de flexión y extensión de rodilla. La diferencia entre una y otra sesión radica en la orientación respecto al norte magnético de la tierra, pues como se mencionó anteriormente, éste es uno de los parámetros que el sistema de orientación toma como referencia. Así, la Figura 4-13 (a) muestra un valor constante en el eje Z de aproximadamente 90°, (dispositivo de cara al este) mientras que en la Figura 4-13 (b), dicho eje tiene un valor constante aproximado que ronda los -100°.

¹⁷ Fuente: <http://traumatologiahellin.wordpress.com/ejercicios/ejercicios-de-rodillas/>



(a)



(b)

Figura 4-13. Datos angulares durante una sesión de ejercicios de rodilla. (a) Dispositivo de cara al este. (b) dispositivo de cara al oeste (aproximadamente).

En este caso y basados en la información capturada es posible concluir que el eje que representa la amplitud del ejercicio del paciente se encuentra contenido en el eje X. Es posible llegar a ésta

misma conclusión si se observan los ejes de referencia sobre los que puede girar el dispositivo (Figura 4-8) y se contrasta con la posición en la que se encuentra ubicado durante los ejercicios (Figura 4-12). El eje sobre el que el celular gira es el eje X.

Asimismo, debe observarse que en la posición inicial del ejercicio (Figura 4-12 A) el valor la orientación del dispositivo es de aproximadamente 80° o 90° (Figura 4-13) y que cuando se realiza la extensión, éste alcanza un valor cercano a 0° (Línea azul). Por tanto y para la terapia de rodilla basada en ejercicios de extensión estando sentado, el algoritmo se centra en reconocer y contar los movimientos sobre el eje X y solamente sobre éstos datos se hará tal procesamiento.

Adicionalmente, se toman también los datos de velocidad en cada uno de los ejes, esto con el fin de tenerlos en cuenta junto con los valores de amplitud y aumentar, así, la robustez del algoritmo de reconocimiento de los movimientos. Los datos de velocidad angular durante uno de los ejercicios anteriores (Figura 4-13 b) se observa en la Figura 4-14.

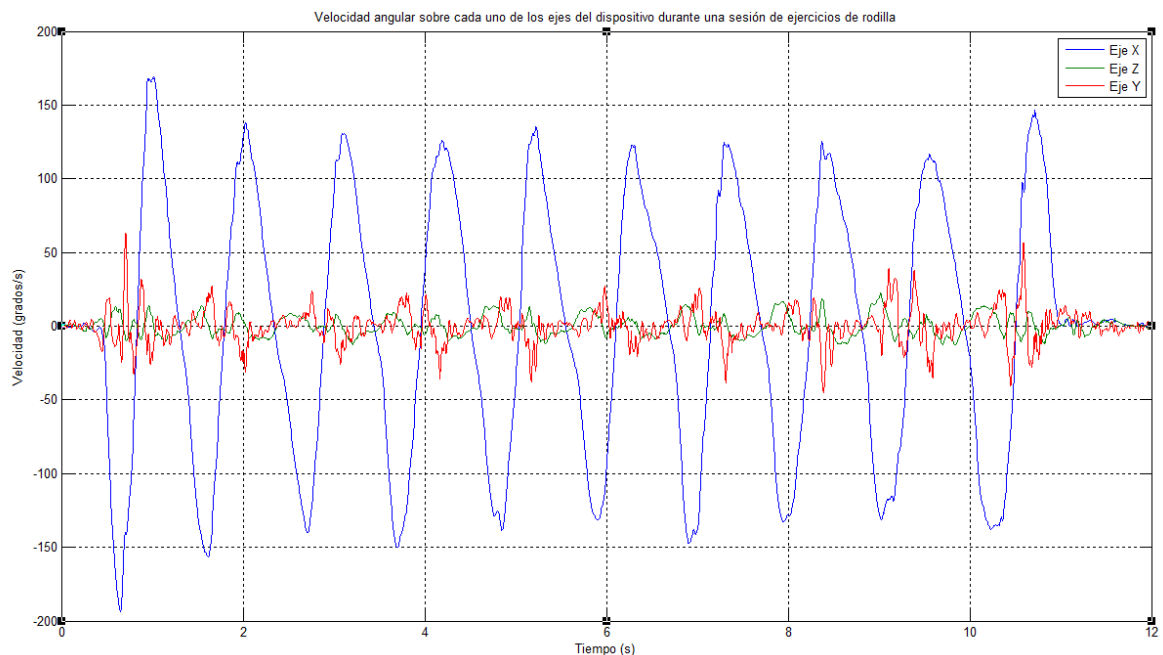


Figura 4-14. Velocidad angular sobre cada uno de los ejes durante una de las sesiones de ejercicios de rodilla.

4.5. ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO DE MOVIMIENTO

El algoritmo de reconocimiento de movimiento se divide en dos partes principales, una hace referencia al algoritmo que obtiene los parámetros de la terapia durante la sesión de parametrización junto al especialista, mientras que el otro es el encargado de detectar, (basado en los datos paramétricos) las repeticiones durante la realización del ejercicio por parte del paciente.

4.5.1. Algoritmo de reconocimiento durante la parametrización:

La Figura 4-15 muestra los valores de velocidad normalizados tomados a lo largo de tres repeticiones del ejercicio escogido. Dichos valores se han normalizado dividiendo cada uno de los valores por el valor más grande que toma la señal, esto con el fin de facilitar la reutilización del código al establecer valores y umbrales en términos porcentuales (o valores entre -1 y 1) en lugar de valores específicos para cada tipo de terapia.

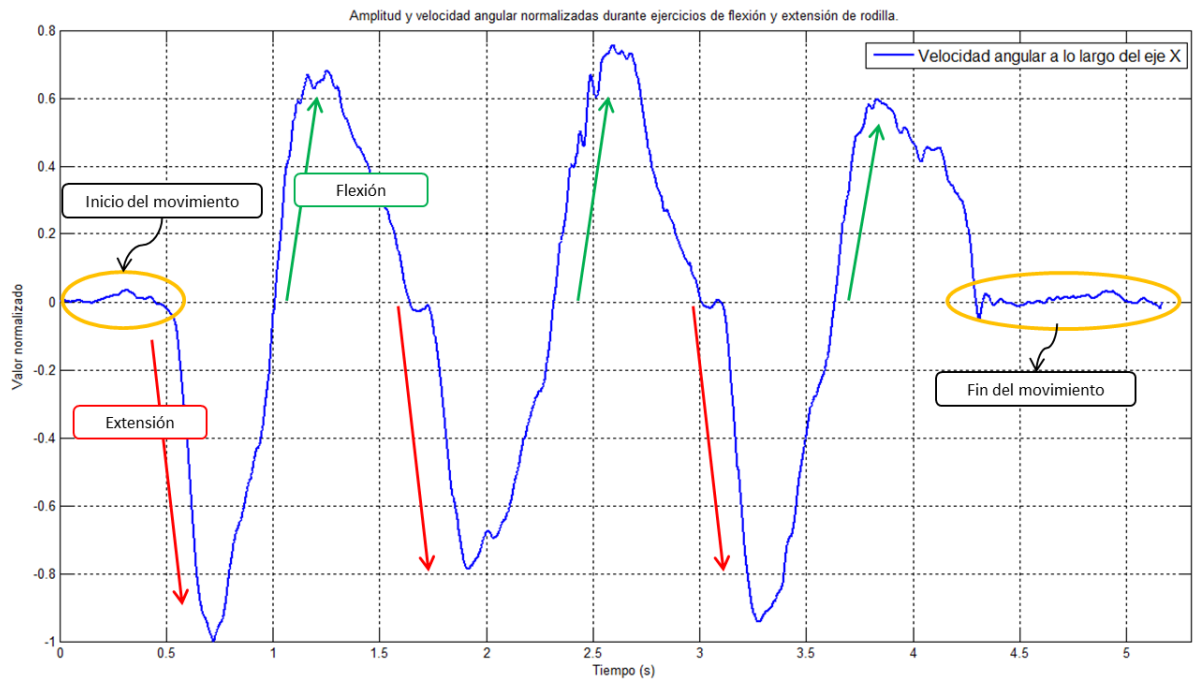
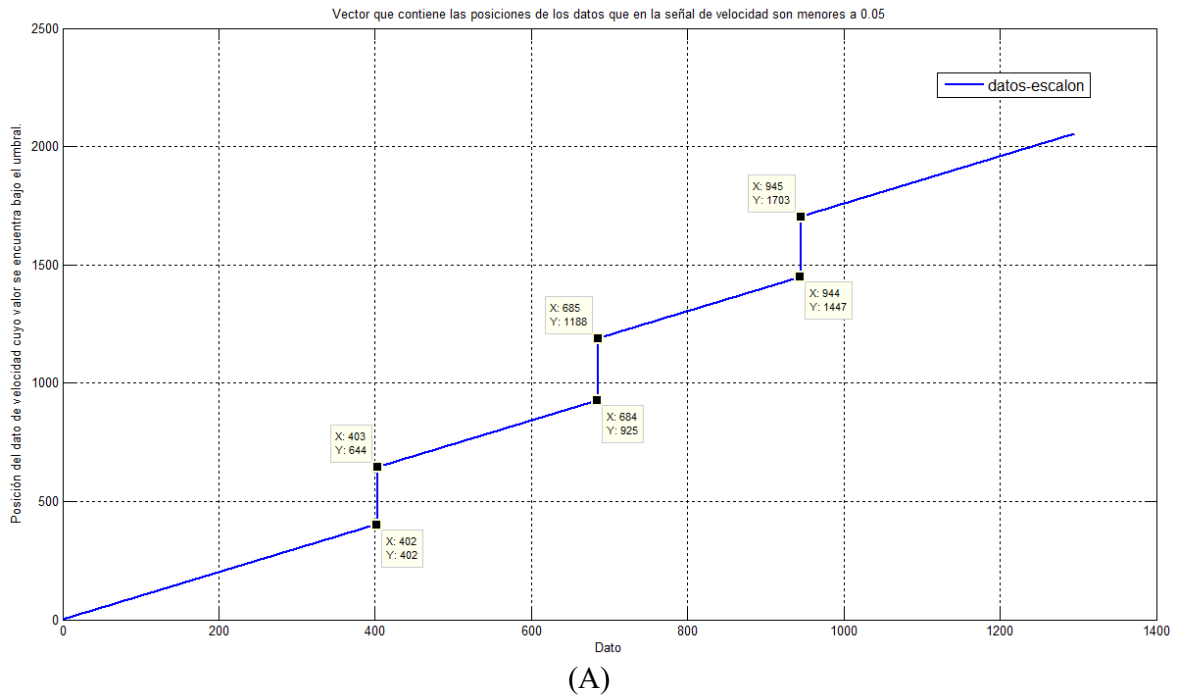
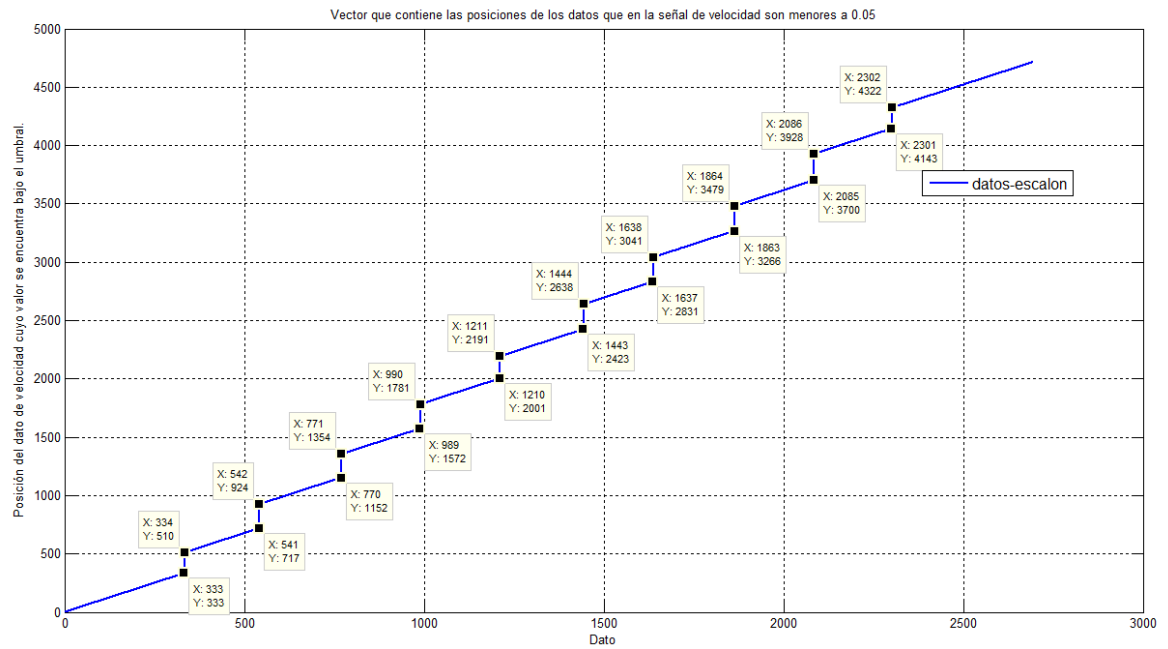


Figura 4-15. Velocidad angular normalizada (eje X) y etapas del ejercicio a lo largo una sesión de terapia de rodilla.

En la Figura 4-15 también es posible reconocer las etapas del ejercicio, tal y como lo indican las marcas, identificando así las etapas de flexión y extensión del movimiento.

Posteriormente se recorre el arreglo que contiene éstos datos y se extraen y almacenan en un nuevo vector (*datos_escalon*) todas las posiciones que contienen valores menores al 5% (0.05), de esta forma, el nuevo vector se llenará cada vez que la señal se encuentre en las etapas de extensión. La Figura 4-16 permite observar estos datos durante una sesión de tres repeticiones (A) y durante una sesión de diez repeticiones (B).





(B)

Figura 4-16. Vector con las posiciones de la señal cuyos valores son inferiores a 0.05

Gracias al vector *datos_escalon* es posible reconocer a simple vista la cantidad de repeticiones hechas durante el ejercicio. Éste proceso se implementa mediante código con el fin de que el programa conozca el número de repeticiones hechas durante la parametrización y cuente durante la realización de los ejercicios. El programa encuentra y cuenta cada vez que se produce un cambio brusco en los valores de datos contiguos del vector *datos_escalon*, es decir, cada vez que ocurre un salto en los valores almacenados de éste vector.

La Figura 4-17 permite contrastar el vector de posición (azul) y el vector de velocidad angular (rojo) normalizados.

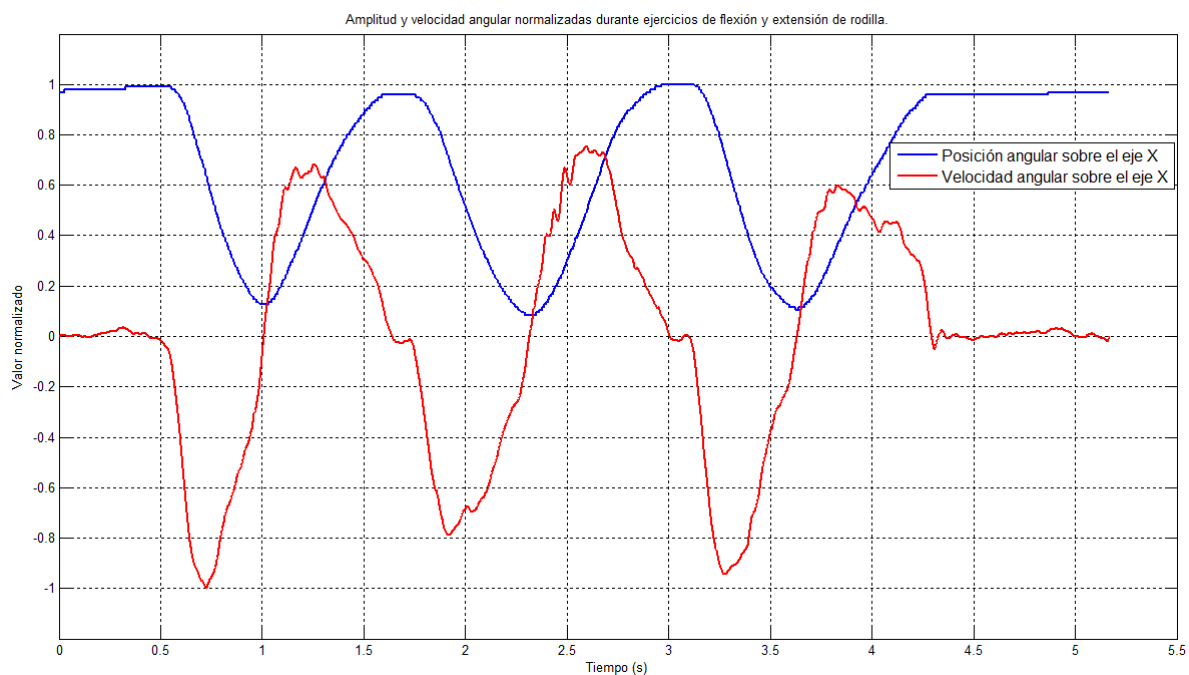


Figura 4-17. Valores de amplitud (azul) y velocidad angular (rojo) normalizados durante tres repeticiones de ejercicios flexión y extensión de rodilla.

Puesto que la velocidad angular corresponde con la derivada de la posición, es posible observar que los cruces por cero de la señal de velocidad coinciden con los puntos de inflexión de la señal de amplitud. Ésta es la base fundamental del algoritmo de reconocimiento de movimiento, ya que, una vez identificadas tales posiciones, se almacenan los valores (de amplitud y velocidad) en las mismas y con ellos se establecen los umbrales máximos y mínimos aceptables que tendrá que seguir el paciente durante la realización de los ejercicios.

Una vez almacenados los valores máximos y mínimos alcanzados en cada una de las repeticiones durante la sesión de parametrización, se almacenan, se promedian y se establecen los valores de umbral aceptable para la realización de los mismos. En éste caso se ha fijado un umbral del 10% alrededor del promedio de amplitud máxima y mínima lograda durante tales series (5% sobre el promedio y 5% debajo del mismo)¹⁸. Dicho valor porcentual puede ser modificado en función del grado de flexibilidad y permisividad a la hora de realizar los movimientos. Se sigue un procedimiento similar para el caso de la velocidad, se evalúa la señal de velocidad entre los

¹⁸ El valor del 5% se fijó teniendo en cuenta las pruebas realizadas, una permisividad por encima de este rango ocasionaba que el ejercicio se desviara mucho de sus parámetros iniciales, mientras que valores por debajo exigían una excesiva precisión en la realización de los movimientos.

cruces por cero y se obtiene los valores máximos, posteriormente se los promedia y almacena. A continuación se describe éste algoritmo mediante pseudocódigo:

ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO DURANTE LA PARAMETRIZACION
Captura de información:
Inicio Ejecución <i>ndv</i> = nuevo dato de velocidad angular- <i>nda</i> = nuevo dato de amplitud angular. Inicio Captura Si (<i>Existe ndv</i> y <i>Existe nda</i>) entonces <i>vectorDatosVelocidad</i>.<i>Agregar(ndv)</i> <i>vectorDatosAmplitud</i>.<i>Agregar(nda)</i> fin si fin Captura fin Ejecución
Procesamiento de información
Inicio Procesamiento <i>umbral</i> = 0.05; <i>Normalizar</i>(<i>vectorDatosVelocidad</i>) Para <i>j=0 hasta j<Tamaño(vectorDatosVelocidad)</i> hacer Si (<i>vectorDatosVelocidad</i>(<i>j</i>)<=<i>umbral</i>) entonces <i>datos_escalon</i>.<i>Agregar(j)</i> fin si fin para //Se obtienen los pares de posiciones entre las cuales se presenta un cambio brusco de valores Para <i>i=0 hasta i<Tamaño(datos_escalon-1)</i> hacer <i>posInicial</i>= <i>datos_escalon</i>(<i>j</i>) <i>posFinal</i>= <i>datos_escalon</i>(<i>j+1</i>) <i>resta</i>= <i>posFinal</i> - <i>posInicial</i> Si (<i>resta</i> > 50) entonces <i>puntosInflexion</i>.<i>Agregar(posInicial)</i> <i>puntosInflexion</i>.<i>Agregar(posFinal)</i> fin si fin para <i>posPares</i>=<i>ObtenerValoresEnPosicionesPares(puntosInflexion)</i> <i>posImpares</i>=<i>ObtenerValoresEnPosicionesImpares(puntosInflexion)</i> //Se obtiene el umbral de amplitud mínimo para el ejercicio Para <i>i=0 hasta i<Tamaño(posImpares)</i> hacer <i>suma</i>= <i>vectorDatosAmplitud</i>(<i>posImpares</i>(<i>i</i>))+<i>suma</i> fin para

```

promedio= suma/Tamaño(suma)
umbralMinimo = promedio

//Se obtiene el umbral de amplitud máxima para el ejercicio
Para i=0 hasta i<Tamaño(posPares) hacer
    suma= vectorDatosAmplitud(posPares(i))+suma
fin para
promedio= suma/Tamaño(suma)
umbralMaximo = promedio

//Se obtiene el umbral de velocidad máxima para el ejercicio
Para i=1 hasta i<Tamaño(datos_escalon)-1 hacer
    limite1= vectorDatosVelocidad (datos_escalon (i))+suma
    limite2= vectorDatosVelocidad (datos_escalon (i+1))+suma
    Para j= limite1 hasta j< limite2 hacer
        ventanaDatos.Agregar(vectorDatosVelocidad(j))
    fin para
    maximosVelocidad.Agregar(ValorMaximoDe(ventanaDatos))
    ventanaDatos.Limpiar

i=i+2
fin para

Para k=0 hasta k<Tamaño(maximosVelocidad) hacer
    suma= maximosVelocidad (k)+suma
fin para
promedio= suma/Tamaño(suma)
umbralVelocidad = promedio
fin Procesamiento

```

4.5.2. Algoritmo de monitorización durante el ejercicio:

Una vez fijados los umbrales, el algoritmo de identificación de repeticiones durante el ejercicio usará dichos valores para reconocer los movimientos del paciente y darle un tipo de orientación durante la terapia. Específicamente la aplicación emitirá un sonido cada vez que se alcancen los umbrales aceptables del ejercicio.

Así, cada vez que el paciente realiza una repetición, la aplicación detecta si se ingresa dentro de uno de los umbrales acordados y emite la alerta de validación, asimismo, si se supera el umbral establecido la aplicación lo informará mediante otra alerta sonora. Finalmente cada vez que se alcance uno de los umbrales la aplicación incrementará un contador llevando así la información de las repeticiones realizadas. Una vez alcanzado uno de los umbrales, la alerta sonora de

validación del movimiento no se emitirá hasta que se alcance el siguiente umbral. Por su parte la alerta de sobrepaso de los límites establecidos se emite de manera constante cuando el movimiento está fuera de los mismos.

Para el monitoreo de la velocidad, se evalúa constantemente el valor de la misma, si en algún momento ésta supera el promedio fijado durante la parametrización, se emitirá un sonido indicando que se debe bajar el ritmo del ejercicio.

Por otro lado, y teniendo en cuenta que la aplicación por ahora se centra en la evaluación de un solo eje, es necesario dar cierta garantía o realimentación al usuario de que estos se están realizando adecuadamente sobre el eje deseado; es decir, que el movimiento no tiene desviaciones laterales a medida que se lleva a cabo. Es por ello que durante la realización de los mismos se monitoriza constantemente la amplitud del *eje Y* y se informa al usuario si el movimiento se desvía más de 15 grados sobre éste (mediante la misma alerta que indica la superación de los umbrales fijados para el *eje X*).

Cada vez que se completa una de las sesiones, se agrega un marcador especial al vector que almacena los datos de amplitud del movimiento, de ésta forma, una vez esté completa la sesión y se realice el procesamiento de los datos, se usarán dichos marcadores para identificar las porciones de señal a analizar. Posteriormente y una vez obtenidos los datos de cada una de las series, se implementan los mismos cálculos y algoritmos que se usaron durante la parametrización con el fin de identificar los puntos de inflexión y obtener los máximos y mínimos en cada repetición. A continuación se insertan en la base de datos los valores de amplitud (máxima y mínima) correspondiente a cada una de las repeticiones, posteriormente se calculan los promedios de tales datos y se inserta la información de los promedios por cada sesión. Finalmente se calcula el promedio de las series y se inserta la información promedio de toda la sesión junto con el identificador de que se ha llevado a cabo.

El algoritmo que funciona durante la realización de los movimientos se describe mediante pseudocódigo a continuación:

ALGORITMO DE MONITORIZACIÓN DURANTE EL EJERCICIO
Captura y procesamiento de información:
Inicio Ejecución $umbral = (umbralMaximo - umbralMinimo) \cdot 5/100$ $ventanaMinInf = umbralMinimo - umbral;$ $ventanaMinSup = umbralMinimo + umbral;$ $ventanaMaxInf = umbralMaximo - umbral;$

```

ventanaMaxSup= umbralMaximo + umbral;
umbralVelocidad
inVentanaMax=falso
inVentanaMin=verdadero
contadorRepeticiones=0
ndv = nuevo dato de velocidad angular-
nda = nuevo dato de amplitud angular.

```

Inicio Captura

Si (Existe ndv y Existe nda) **entonces**

```

    datosAmplitudEjeX.Agregar(nda)
    datosVelocidadEjeX.Agregar(ndv)

```

Si (nda< ventanaMinSup Y inVentanaMax =falso Y inVentanaMin=verdadero) **entonces**

```

    inVentanaMax=verdadero
    inVentanaMin=falso

```

fin si

Si (nda< ventanaMaxInf Y inVentanaMax =verdadero Y inVentanaMin=falso) **entonces**

```

    inVentanaMax=falso
    inVentanaMin=verdadero
    contadorRepeticiones= contadorRepeticiones+1

```

fin si

Si (nda> ventanaMaxSup O nda< ventanaMinInf) **entonces**

```

    ReproducirSonido(ErrorAmplitud)

```

fin si

Si (ndv> umbralVelocidad) **entonces**

```

    ReproducirSonido(ErrorVelocidad)

```

fin si

Si (contadorRepeticiones > =repeticionesAsignadas) **entonces**

```

    DetenerCaptura()
    MostrarCronometroDescanso()

```

fin si

fin si

fin Captura

fin Ejecución

4.6. RESUMEN

En este capítulo se realizó una introducción a algunos esquemas de fusión de sensores y se explicó el propósito de su implementación. Se describió la forma en que se representa la rotación de un objeto en el espacio y como ésta se describe a partir de las mediciones de dichos sensores. Posteriormente se dieron detalles de la implementación del sistema de medición de rotación basados en información de la posición y velocidad angular y se llevó a cabo una caracterización de movimientos específicos mediante el uso del sistema implementado. Finalmente se propusieron dos algoritmos para identificar los movimientos a partir de las mediciones obtenidas por el sistema y se presentó su estructura básica mediante pseudocódigo.

Fue posible observar que el sistema de medición responde adecuadamente a las necesidades de la aplicación a desarrollar y que los algoritmos descritos permiten identificar correctamente las etapas y rangos de los movimientos.

CAPÍTULO V

DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE ACTIVIDADES (FISIO APP)

Aquí se describen la estructura básica con la que cuenta el sistema y cada una de sus partes, sus características, las funcionalidades principales, las interfaces de interacción con el usuario y teniendo como referencia la metodología RUP para el desarrollo de software, se evidencia el proceso llevado a cabo para su concepción, implementación y puesta en marcha. Finalmente se presentan los resultados obtenidos y las pruebas funcionales que demuestran su adecuado funcionamiento.

5.1. MODELO CONCEPTUAL

El sistema general de monitorización se ha dividido en tres partes principales: Por un lado se encuentra la aplicación web, la cual será manejada por el especialista y le permitiría administrar y asignar las tareas a los pacientes, así como también revisar estadísticas e información de dichas labores. Por otro lado se encuentra la aplicación móvil, la cual estará en manos del paciente y le asistirá durante sus sesiones de rehabilitación; al mismo tiempo le proporcionará información de sus tareas asignadas y será la encargada de enviar ésta información hacia el sistema de archivos. Finalmente, la tercera parte hace referencia al servidor y la base de datos, el cual es el encargado de organizar la información tanto de los pacientes como de sus sesiones, tareas asignadas y realizadas e información del especialista al que se encuentran asociados.

El sistema general de gestión de información se observa en la Figura 5-1; de esta forma, los datos generados por el teléfono inteligente (aplicación móvil) se envían hacia un servidor, permitiendo así, el acceso a los mismos a través de un terminal externo (pc).

Debe destacarse que la conexión entre la aplicación móvil y la base de datos se realiza mediante JDBC (*Java Data Base Conector*), la cual constituye una serie de procedimientos o métodos para el manejo, actualización y consulta de información en diferentes sistemas de base de datos.

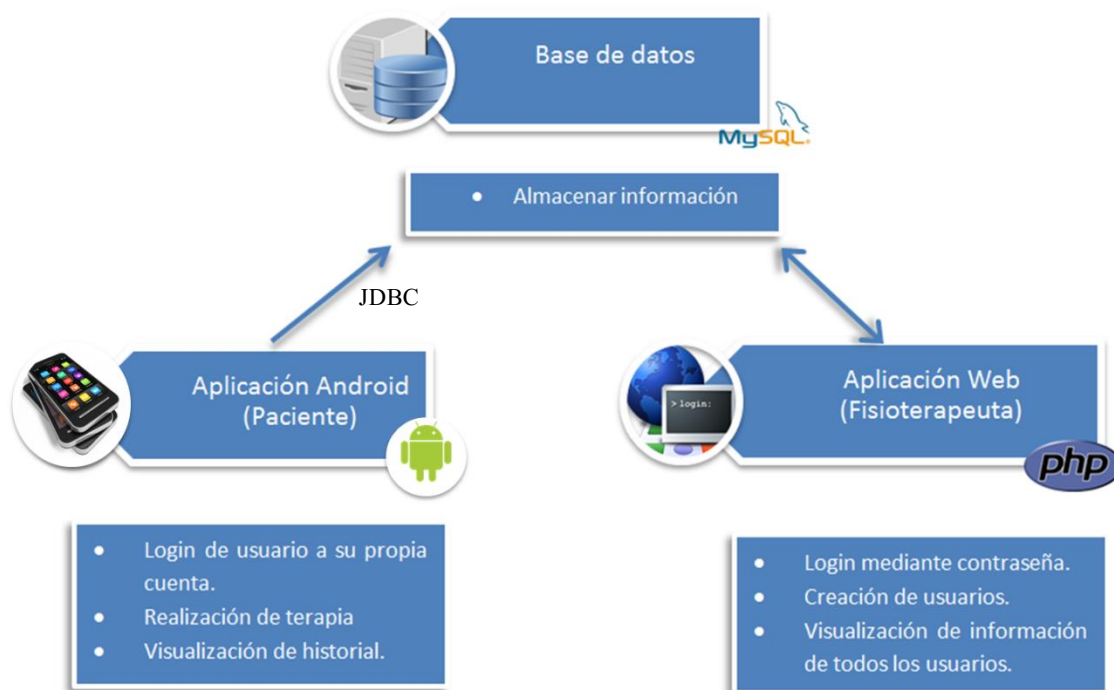


Figura 5-1. Esquema general del manejo de información.

Por su parte, la estructura de la aplicación en el teléfono inteligente se divide en tres secciones principales, por un lado, el módulo de sesión de usuario (Login), por otro, el de parametrización y realización de la terapia y, por último, el de revisión de registros y estadísticas de las sesiones.

Finalmente, desde la aplicación web es posible llevar a cabo el control y la gestión de usuarios, permitiéndole al especialista la revisión de las terapias llevadas por los pacientes y dándole la posibilidad de crear cuentas para nuevos usuarios.

5.2. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

A continuación se describen las funciones principales con las que cuenta cada uno de los módulos que conforman el sistema de monitorización y basado en la metodología RUP¹⁹ para el desarrollo de software, se ilustran cada una de las etapas, las cuales, en su fase inicial incluyen: Requerimientos del sistema, diagrama de casos de uso y casos de uso reales.

¹⁹ RUP (Rational Unified Process) hace referencia a la técnica de desarrollo que permite enfocar un proyecto de software, a través de una metodología dividida en cuatro etapas, iniciación, elaboración, construcción y transición.

5.2.1. Aplicación móvil:

La aplicación móvil está diseñada para ser usada por el paciente, es la parte más relevante de éste trabajo ya que aquí se concentra el algoritmo de fusión de sensores que permite utilizar el dispositivo como una unidad de medición inercial para capturar movimiento. Provee una interfaz de interacción con el usuario, ofrece soporte a la hora de realizar las terapias, permite llevar un historial de las mismas y ofrece conexión con un sistema de archivos remoto.

5.2.1.1. Especificación de requerimientos: La Tabla 5-1 muestra las principales funciones con las que cuenta la aplicación móvil; por su parte la Tabla 5-2 evidencia los requerimientos no funcionales de la misma, los cuales describen las características que de una u otra forma pueden restringir el funcionamiento del sistema. El indicador en la columna “Categoría” señala si la función es esencial E u opcional O.

Tabla 5-1. Requerimientos funcionales aplicación móvil.

Universidad del Valle Aplicación Móvil		Rev:
Título: ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS FUNCIONALES		003

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	GO	2014-03-11
002	Primera revisión	EB GO	2014-03-18
003	Correcciones	GO	2014-03-20

Ref#	Funciones	Categoría
1.0	Sesión de usuario	
1.1	Permitir la evaluación de los recursos hardware del dispositivo.	E
1.2	Permitir autenticación (usuario y contraseña)	E
1.3	Mostrar información del usuario	E
1.4	Permitir la selección de la terapia a realizar.	E
2.0	Terapia seleccionada	
2.1	Permitir la visualización de la información general de la terapia escogida.	E
2.2	Permitir el ingreso a la ventana de realización de la sesión.	E
2.3	Permitir el ingreso a la ventana de estadísticas	E
3.0	Realizar de Sesión	

3.1	Permitir la parametrización de la terapia a realizar	E
3.2	Permitir escoger la sesión a realizar	E
3.3	Permitir la visualización de información de la sesión escogida (Tipo de ejercicio, número de series y repeticiones)	E
3.4	Permitir el inicio de la captura de información de las amplitudes máxima, mínimas y velocidades del movimiento. (Almacenamiento Local)	E
3.5	Alertar sobre el fin de cada repetición	E
3.6	Alertar sobre el fin de los periodos de descanso	E
3.7	Permitir la interrupción de la captura.	E
4.0	Interfaz de fin de sesión	
4.1	Permitir el reinicio de la sesión.	E
4.2	Permitir la anotación de observaciones de la sesión realizada (o interrumpida)	E
4.3	Permitir el envío de información procesada hacia el servidor web	E
5.0	Registro y estadísticas	
5.1	Permitir visualización mediante gráficas del promedio de amplitud de los movimientos de todas las sesiones y de los valores de la parametrización.	E
5.2	Permitir visualización mediante gráficas del promedio de amplitud de los movimientos por cada sesión y de los valores de la parametrización.	E
5.3	Permitir visualización mediante gráficas del promedio de amplitud de los movimientos por cada serie y de los valores de la parametrización.	E
5.4	Permitir visualización mediante gráficas del promedio de velocidad de los movimientos de todas las sesiones y de los valores de la parametrización.	E
5.5	Permitir visualización mediante gráficas del promedio de velocidad de los movimientos por cada sesión y de los valores de la parametrización.	E
5.6	Permitir visualización mediante gráficas del promedio de velocidad de los movimientos por cada serie y de los valores de la parametrización.	E
5.7	Permitir visualización del histórico de las sesiones, series y repeticiones.	E

Tabla 5-2. Requerimientos no funcionales de la aplicación móvil

Universidad del Valle Aplicación Móvil	Rev:
Título: ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	003

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	GO	2014-03-11
002	Primera revisión	EB GO	2014-03-18
003	Correcciones	GO	2014-03-20

Ref #	Descripción	Categoría
1.0	Hardware	
1.1	El dispositivo móvil debe contar con los sensores acelerómetro y giroscopio.	E
2.0	Interfaz externa	
2.1	Operatividad del servidor que recibe la información.	E
3.0	Conectividad	
3.1	Conexión a internet para el envío de la información.	E
4.0	Operación	
4.1	Se debe contar con una elemento que permita la ubicación del teléfono en el segmento corporal a evaluar.	E

5.2.1.2. Diagrama de casos de uso: Los diagramas de caso de uso permiten observar todas las posibles acciones que pueden ocurrir entre el usuario y el sistema, así, la Figura 5-2 permite observar las diferentes acciones que el paciente puede llevar a cabo a la hora de usar la aplicación móvil.

Como se observa, y luego del inicio de sesión, él encontrará el módulo de selección de terapia y posteriormente en el menú de terapia podrá elegir entre el módulo de información general, el de estadísticas o el de realizar terapia. El resto del diagrama se lee de manera similar.

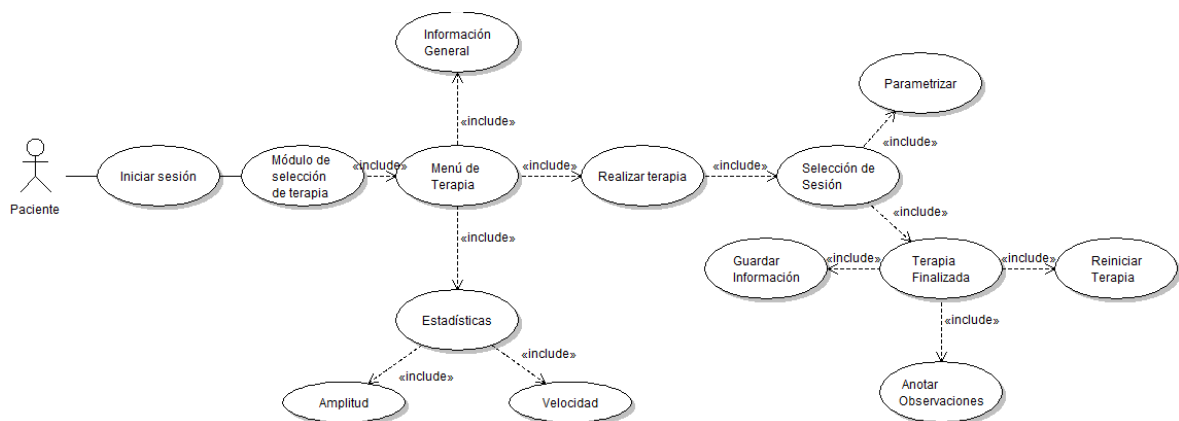


Figura 5-2. Diagrama de casos de uso de la aplicación móvil

5.2.1.3. Casos de uso reales: Los casos de uso describen la forma en que interactúan el usuario y la aplicación, detallando todo lo que hace el sistema en respuesta a cada una de las acciones o comandos del usuario. El tipo de caso de uso puede ser primario o secundario, dependiendo de

su relevancia, y esencial o real en función de su naturaleza y detalles de su implementación²⁰. La **Sección 2** del anexo, describen las interacciones posibles entre la aplicación móvil y el usuario.

5.2.1.4. Diagramas de secuencia: Los diagramas de secuencia permiten representar la interacción entre las diferentes clases de la aplicación a medida que se llevan a cabo cada uno de los casos de uso antes mencionados. En la Sección 3 del anexo se observan los diagramas de secuencia de la aplicación móvil.

5.2.1.5. Diagrama de actividades de la aplicación móvil: En la Figura 5-3 es posible observar el diagrama de actividades de la aplicación móvil, aquí se encuentran consignadas las diferentes clases que conforman la interfaz gráfica de la aplicación.

²⁰ Los casos de uso esenciales son aquellos que describen procesos en términos de sus actividades básicas y su motivación, por su parte los casos de uso reales describen concretamente los procesos a partir de su diseño y tecnología de soporte actual.

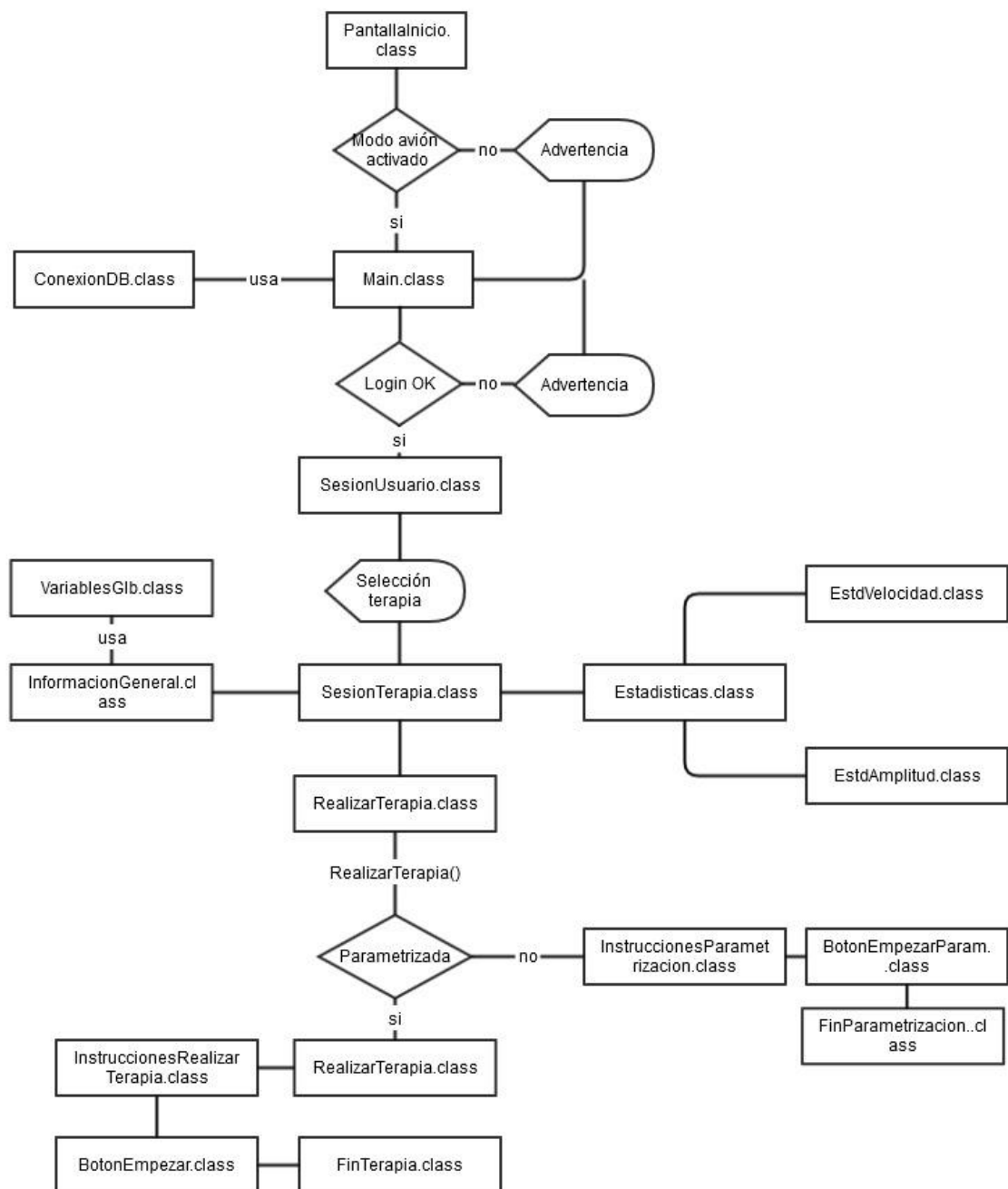


Figura 5-3. Diagrama de actividades de la aplicación móvil.

5.2.2. Aplicación web

La aplicación web permite al usuario (fisioterapeuta) llevar a cabo la gestión de los pacientes, permitiéndole realizar acciones como agregarlos, modificarlos o eliminarlos del sistema de

archivos. Igualmente provee acceso a los datos personales de los mismos y a la información estadística de sus sesiones de terapia.

5.2.2. Especificación de requerimientos: La Tabla 5-3 muestra la especificación de requerimientos funcionales de la aplicación web, la cual permite al especialista ingresar a la base de datos de los pacientes y revisar las estadísticas de las sesiones de los mismos. La Tabla 5-4 por su parte, evidencia los requerimientos no funcionales de la aplicación web.

Tabla 5-3. Requerimientos funcionales Aplicación Web

Universidad del Valle Aplicación Web			Rev:
Título: ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS FUNCIONALES			001

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-03-20
002	Revisión		
003	Correcciones		

Aplicación Cliente WEB		
Ref #	Funciones	Categoría
1.0	Ingreso al sistema mediante autenticación	
1.1	Permitir el registro de nuevos pacientes	E
1.2	Permitir la eliminación de un paciente	E
1.3	Permitir la revisión de estadísticas de cada paciente	E
1.4	Permitir modificar la información de cada paciente registrado	E

Tabla 5-4. Requerimientos no funcionales Aplicación Web

Universidad del Valle Aplicación Móvil		Rev:
Título: ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES		001

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-03-11
002	Primera revisión		2014-03-18
003	Correcciones		2014-03-20

Aplicación Cliente WEB		
Ref #	Funciones	Categoría
1	Se debe contar con conexión a internet.	E

5.2.2.1. Diagrama de casos de uso: El diagrama de casos de uso permite observar todas las posibles acciones que el especialista puede llevar a cabo con la aplicación web. Ver Figura 5-4.

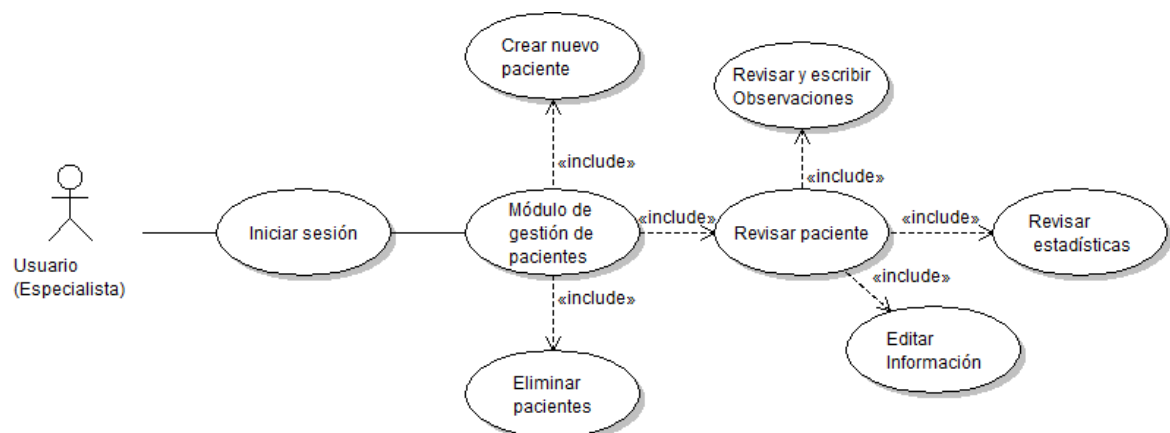


Figura 5-4. Diagrama de casos de uso Aplicación Web.

5.2.2.2. Casos de uso reales: En la Sección 4 del anexo se describen los casos de uso reales basados en los actores de la Figura 5-4. Cada uno de los casos de uso real representa las posibles interacciones entre el usuario y la aplicación web.

5.2.3. Base de datos y Servidor:

La base de datos y el servidor constituyen el punto de encuentro entre los dos componentes antes mencionados (aplicación móvil y aplicación web), pues es éste el encargado de almacenar y organizar la información que se comparte y actualiza constantemente desde cada una de las partes. A continuación se presenta la estructura general de las tablas que llevan a cabo dicha tarea y se realiza una breve descripción de su estructura.

Inicialmente se asume que cada terapia de rehabilitación contiene solamente un tipo de ejercicio y que la información relevante de las mismas se encuentra en los valores promedio de los valores de velocidad y amplitud de los ejercicios. Teniendo esto en cuenta, se diseñaron nueve tablas distintas, dos con información personal tanto de los pacientes como de los especialistas (*Paciente*, *Especialista*), tres más para almacenar información de manera independiente de las sesiones, series y repeticiones llevadas a cabo por el paciente (*Sesiones*, *Series*), una que contiene información de la terapia asignada al paciente, donde se consigna la información de cómo el paciente debe llevarla a cabo (*Terapia Paciente*), una con información general de la terapia (*Terapia*), otra (Seguimiento) con las observaciones que puede consignar el especialista en cada una de las citas de control y una más con los datos antropométricos de la persona en caso de necesitarlos en una futura extensión del sistema.

El esquema general del sistema de base de datos y las relaciones entre sus tablas se observa en la Figura 5-5. Los rombos representan el tipo de relación entre dos tablas distintas indicando si la relación es del tipo 1 a 1 (rombo blanco-blanco) o 1 a muchos (rombo blanco-negro). Teniendo esto en cuenta, el diagrama se puede leer de la siguiente manera: Cada uno de los fisioterapeutas registrados en la tabla *Especialista* está asociado con múltiples pacientes registrados en la tabla *paciente*, a su vez, cada uno de éstos tiene asociadas una cantidad de sesiones cada una de las cuales tiene múltiples series y cada una de éstas a su vez, tiene múltiples repeticiones.

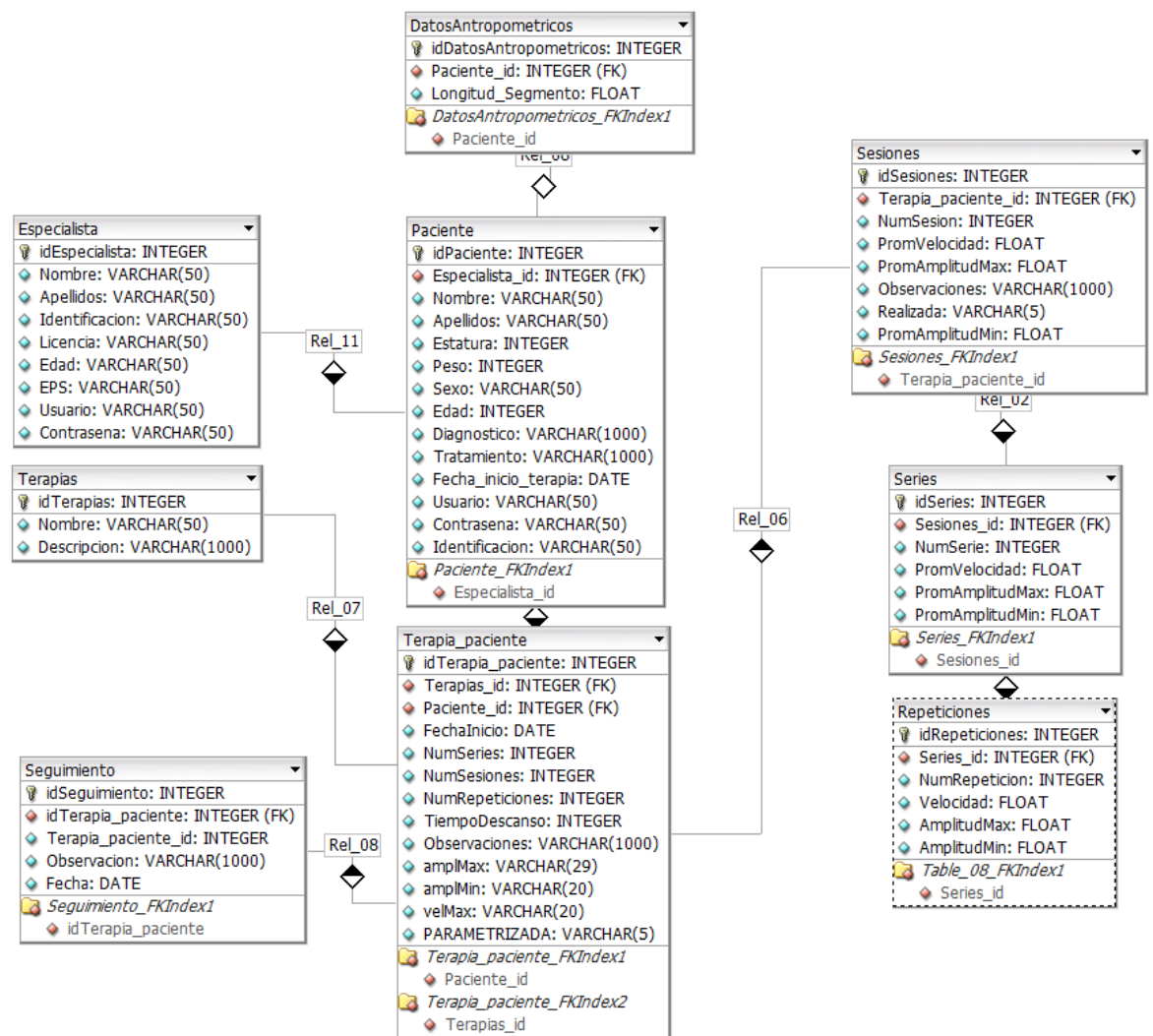


Figura 5-5. Esquema general del sistema de base datos.

La aplicación servidor es la encargada de atender las diferentes solicitudes de los clientes, (tanto de la aplicación web como de la aplicación móvil). Se encarga de aceptar los requerimientos de bases de datos que hacen los mismos y de ejecutar las instrucciones que estos envían. El servidor web funciona sobre la plataforma Apache y el sistema de gestión de la base de datos se basa en MySQL²¹.

²¹ MySQL es uno de los sistemas de gestión de base de datos relacional más ampliamente usados. En este caso es el sistema en el cual se han creado las tablas y desde donde se pueden modificar las relaciones, eliminar o crear nuevas tablas y manejar directamente todo el sistema de archivos.

5.3. PRUEBAS FUNCIONALES

Aquí se evidencian las pruebas funcionales llevadas a cabo sobre las aplicaciones Web y Móvil. Dichas pruebas responden a los requerimientos antes mencionados para cada una de las aplicaciones.

- A. **Pruebas funcionales aplicación web:** Como se especificó, la aplicación web permitirá al fisioterapeuta asignar las tareas y llevar el registro de los ejercicios de los pacientes así como administrar la creación, modificación y eliminación de los mismos. Las pruebas realizadas y consignadas en la Sección 5 del anexo buscan evidenciar el cumplimiento de los requerimientos antes mencionados.

- B. **Pruebas funcionales aplicación móvil:** La aplicación móvil es la encargada de asistir al usuario en la realización de las terapias asignadas, proporciona información de las tareas a realizar, permite revisar el histórico de las mismas y de enviar dicha información a la base de datos con el fin de que sea revisada por el especialista. En la **Sección 6** del anexo se presentan las pruebas que permiten evidenciar el cumplimiento de los requerimientos mencionados.

5.4. MANUALES DE USUARIO.

En la Sección 7 y Sección 8 del anexo se presentan los manuales de usuario de la aplicación web y aplicación móvil respectivamente, estos servirán de guía al usuario desde la instalación hasta el uso adecuado de las aplicaciones.

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN EN UNA TERAPIA DE RODILLA, PRUEBAS Y RESULTADOS

Con el fin de evaluar la aplicación se llevó a cabo una sesión convencional entre paciente y especialista junto con el acompañamiento del dispositivo, esto con el fin de que ambos den a conocer su apreciación de la aplicación y que, al mismo, tiempo hicieran una evaluación sobre la usabilidad de la misma. A continuación se muestra el esquema general del uso de los componentes del sistema:

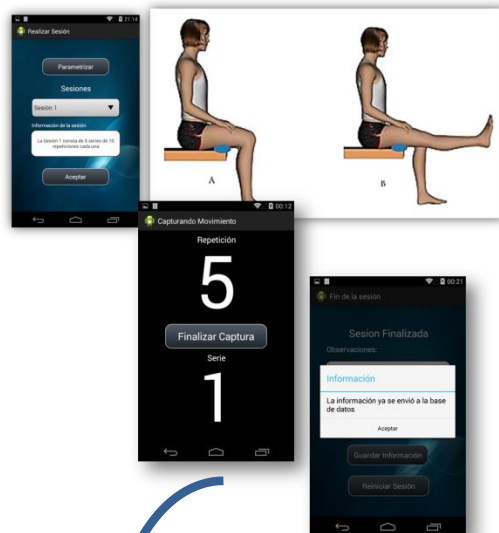
1. Registro de paciente y asignación de tareas por parte del especialista

The screenshot shows a web-based form titled 'Información Paciente'. It contains several input fields for patient data: 'Nombre', 'Apellidos', 'Identificación', 'Estatura (cm)', 'Peso (kg)', 'Sexo', 'Edad', 'Especialista', and 'Contraseña'. There are also fields for 'Fecha de inicio' and 'Terapia'. A 'Guardar' button is visible at the bottom right of the form. Below the form, there are three buttons: 'Nuevo Paciente', 'Revisar Paciente', and 'Eliminar Paciente'. The form is part of a larger interface with a 'SESIÓN ESPECIALISTA' header and a 'Comentarios' section.

2. Parametrización de terapia asignada (paciente-especialista)



3. Realización de la terapia por parte del paciente y envío de información



4. Revisión de estadísticas por parte del especialista

5. Revisión de estadísticas por parte del paciente



De esta forma se realizó una prueba de integración del sistema y se procedió de la siguiente manera:

1. Se dio una breve explicación al especialista acerca del funcionamiento de la página web y la aplicación móvil. Dicha capacitación debe ser suficiente para que él sea capaz de hacer la gestión de los pacientes y dar las instrucciones del uso de la aplicación móvil. Ambas aplicaciones son lo suficientemente intuitivas y poseen las instrucciones necesarias para su uso.
2. El fisioterapeuta registró al nuevo paciente, le asignó una terapia y tareas específicas como se describe a continuación y le dio las instrucciones sobre el uso de la aplicación móvil:
 - a. Tipo de terapia: Rodilla
 - b. Número de sesiones: 2
 - c. Numero de series: 4
 - d. Numero de repeticiones: 10
 - e. Tiempo de descanso: 10 s
3. El especialista llevó a cabo la tarea de parametrización con el paciente con el fin de definirle al dispositivo los rangos aceptables para el ejercicio. De ésta forma el paciente realizó una serie de ejercicios con el acompañamiento y la guía del fisioterapeuta. Al final se enviaron los datos al sistema de archivos.
4. Durante la realización de las diferentes sesiones, el especialista llevó a cabo su evaluación convencional del paciente al mismo tiempo que evaluó la realimentación y el trabajo hecho por la aplicación.
5. Al final de las sesiones tanto el paciente como el fisioterapeuta respondieron las encuestas de la Sección 9 del anexo.
6. Posteriormente se invitó a voluntarios quienes probaron la aplicación con el fin de llevar a cabo una evaluación de usabilidad del sistema. Usaron tanto el sistema de registro del especialista como como la aplicación móvil para pacientes. Los resultados de las 10 encuestas llevadas a cabo se presentan en la Sección 10 del anexo.

Luego de la primera evaluación de la aplicación por parte del especialista, la encuesta reveló su satisfacción con el sistema evidenciando que ésta cumplía con su objetivo. Resaltó el hecho de que el sistema proporciona una alternativa más eficiente a la hora de realizar las terapias en casa dando una retroalimentación constante y en tiempo real al paciente, lo que ayuda a la correcta ejecución de los ejercicios. Asimismo destacó el hecho de que ayuda a hacer más objetivos los

registros de evolución del paciente, pues la aplicación web entrega información específica sobre el desarrollo de los ejercicios realizados. Otro punto adicional a favor de la aplicación fue el hecho de que la parametrización del ejercicio se hiciera mediante la realización del ejercicio y que los parámetros que la aplicación aprende se basen en datos reales de la realización bajo supervisión del especialista y que no son por el contrario, valores que él deba ingresar. Es decir, el especialista no debe digitar cual es la amplitud en grados que debe tener el movimiento, o cual es la velocidad promedio a la que se debe realizar, por el contrario, basta con hacer una serie de ejercicios en su presencia y bajo su observación para que la aplicación aprenda los límites aceptables del mismo.

Entre las sugerencias hechas, se encuentra la de implementar en el sistema una forma de ajustar las tareas asignadas cada vez que ambos se reúnen en el consultorio, esto en función del comportamiento del paciente observado en la página web. Asimismo planteó la posibilidad de asignar terapias progresivas que varíen la intensidad de los ejercicios en función del avance a lo largo de toda la terapia de rehabilitación.

La persona que tomó el papel del paciente durante ésta sesión destacó la tarea de las alertas sonoras, pues son pocas, claras y cumplen su propósito de ayudar a una correcta realización del ejercicio, no obstante sugirió la posibilidad de usar alertas vibratorias puesto que los sonidos podría no escucharse bien en algunos casos o porque la potencia del sonido puede variar de un dispositivo a otro. Las encuestas completas (especialista-paciente) se encuentran consignadas en la Sección 9 del anexo y muestran otras respuestas acerca de su satisfacción con las interfaces gráficas y la usabilidad del sistema.

El resto de las encuestas presentaron un muy buen resultado, tal y como se puede observar en el resumen de resultados de algunas preguntas consignados en la Tabla 6-1. La gran mayoría no encontraron dificultades al hacer uso de la aplicación y evidenciaron que no presenta dificultades a la hora de manejarlo. Asimismo la velocidad y tiempo de respuesta del sistema fue calificado como “Bueno” y resaltaron las cualidades antes mencionadas con las que cuenta el sistema, referentes a la ayuda que proporciona a la hora de llevar a cabo terapias de rehabilitación. Entre los puntos negativos o sugerencias se encontraron aspectos como el de la mejora de las alertas sonoras y el ajuste de algunas restricciones al usuario (como precisar que el usuario realice las terapias en orden).

Tabla 6-1. Resumen de resultados de encuestas de usabilidad de las aplicaciones web y móvil.

Pregunta	Respuestas		
	Promedio		Desviación Estándar
1. Nivel de usabilidad del sistema (1 a 10).	9.5		0.49
7. Nivel de funcionalidad del sistema (1 a 10)	9.5		0.49
	Respuestas		
	Si	No	
2. ¿Fue difícil realizar las tareas?	0%	100%	
3. ¿Cree que el sistema puede ser implementado en la vida cotidiana?	100%	0%	
4. ¿La interacción con el sistema fue agradable?	100%	0%	
13. ¿Las instrucciones para realizar la terapia fueron claras?	91%	9%	
14. ¿Cree que la aplicación facilita el cumplimiento de los objetivos de la terapia?	100%	0%	
	Buena	Regular	Mala
8. Velocidad del sistema (Buena, regular o mala).	100%	0%	0%
Total encuestados	11		

En conclusión, el sistema fue bien aceptado por las personas con quien se pudo realizar la evaluación y demostró ser lo suficientemente intuitivo y fácil de usar.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la motivación bajo la cual se realizó este trabajo, se desarrolló una aplicación que permite usar las capacidades de un teléfono inteligente con el fin de proporcionar una guía a los pacientes durante la realización de las tareas asignadas para ser llevadas a cabo en el hogar en el marco de una terapia de kinesioterapia. Se implementó un sistema completo que permite a los especialistas, mediante una página web, asignar dichas tareas en función del número de sesiones, series y repeticiones y posteriormente, permite realizar una revisión objetiva de los mismos y consignar anotaciones de los resultados observados.

Por su parte, la aplicación móvil que es la que usa el paciente, es capaz de aprender mediante la realización adecuada de los ejercicios, cuales son los parámetros aceptables de los mismos, evitando de ésta forma que el fisioterapeuta deba conocer o ingresar de antemano los valores numéricos de tales valores aceptables. De esta forma, la aplicación simplemente aprende dichos umbrales mediante la realización adecuada del ejercicio, tarea que se realiza siempre durante la asignación de ejercicios durante una terapia de rehabilitación.

Posteriormente, la aplicación móvil es la encargada de llevar a cabo las mediciones y registros de los ejercicios hechos por el paciente, así como también es la encargada de las tareas de realimentación durante la realización de los mismos. La aplicación móvil es capaz de llevar la cuenta de cada una de las repeticiones series y sesiones, así como de alertar acerca del inicio y fin de los tiempos de descanso, tiene la función de advertir al paciente cuando los ejercicios se están realizando de manera inadecuada o fuera de los parámetros establecidos por el especialista y le permite el registro de observaciones sobre cada una de dichas sesiones.

Por otro lado, el análisis realizado acerca de los teléfonos inteligentes actuales demostró que estos equipos cuentan con el potencial y las capacidades de hardware y de software para realizar tareas de captura y rastreo de movimiento basado en sensores inerciales, exponiendo parte de su alcance en la aplicación desarrollada. Este tipo de monitorización del movimiento, a diferencia de sistemas convencionales basados normalmente en equipos de visión, puede proporcionar mediciones similares y a mucho más bajo costo, más aun cuando se lleva a cabo con un dispositivo de uso cotidiano.

Se han consignado todas las etapas del desarrollo software con el fin de alcanzar el objetivo planteado y finalmente se han presentado las pruebas funcionales de todas las aplicaciones. Posteriormente se implementó el sistema desarrollado y se probó en una terapia de rodilla, más específicamente durante ejercicios de flexo-extensión sentado en compañía de un fisioterapeuta y un paciente, ambos probaron completamente el sistema y finalmente, mediante una encuesta, realizaron la evaluación del sistema.

Las encuestas demostraron que el sistema desarrollado cumple a cabalidad con el objetivo inicialmente planteado, pues se diseñó y desarrolló no solo una aplicación para teléfonos inteligentes, sino una herramienta completa (aplicación web, aplicación móvil y sistema de archivos), asequible y de fácil uso que permite llevar a cabo una adecuada monitorización de actividades de fisioterapia basadas en el movimiento (kinesioterapia).

En cuanto a la validación de las mediciones del sistema, debe aclararse que estas no se llevaron a cabo de manera estricta puesto que quedó evidenciado que el propósito de la aplicación no lo requería. En este sentido bastó con evaluar que dichas mediciones fuera coherentes bajo observación y se procedió a realizar el resto del trabajo bajo este principio.

Finalmente, se concluye que el sistema creado supera ampliamente los objetivos propuestos, ya que, como se mencionó antes, cumple a cabalidad con la meta trazada constituyendo no solamente una aplicación móvil, sino un sistema de monitoreo basado en algoritmos de captura de movimiento soportados sobre los sensores inerciales de un celular, una página web de administración de pacientes y un sistema de archivos para la organización de toda la información.

Este desarrollo se convierte en un aporte a la sociedad capaz de reducir los costos de rehabilitación derivados de terapias de rehabilitación largas y poco efectivas como consecuencia de una inadecuada motorización. A partir de este sistema es posible plantear que tales terapias podrán llevarse a cabo de manera más adecuada y eficiente, reduciendo así los costos de la rehabilitación en términos de incapacidades y tiempos de recuperación, al mismo tiempo que lo novedoso e interactivo de la aplicación móvil sirven de motivación para el paciente a la hora de llevar a cabo las tareas asignadas.

7.1. TRABAJO FUTURO

Teniendo en cuenta el desarrollo que se llevó a cabo, a continuación se plantea una serie de avances que pueden ponerse en marcha a partir del trabajo aquí realizado:

- Con base en el hardware y los sensores con los que cuenta los dispositivos móviles, es posible desarrollar programas de mayor complejidad a nivel de algoritmos y programación que usen no solo uno de los ejes de los sensores (como se hizo aquí), sino que combinen los 3 ejes con el fin de obtener información cinemática de movimientos más complejos, como los de articulaciones de la mano, el pie, la cabeza, el hombro o incluso la marcha.
- Aprovechando las capacidades de conectividad de dichos dispositivos, también es posible conectar periféricos y unidades de medición inercial (IMU) extras con el fin de realizar el seguimiento de movimientos articulares mucho más complejos y que involucren a más de un solo segmento corporal.

Este proceso requiere el análisis, estudio y cálculo de ángulos relativos entre cada una de las IMUS y no solamente de la medición de ángulos absolutos como se ha hecho aquí. Igualmente esto puede implementarse mediante Smartphone's extras o a través del uso de circuitos integrados con algún tipo de conectividad (preferiblemente inalámbrica) hacia el teléfono, el cual seguirá funcionando como unidad de procesamiento central.

- Para la aplicación desarrollada se prevé la implementación de más de una sola terapia (terapia de rodilla), pues el algoritmo de reconocimiento de movimiento diseñado permite a la aplicación aprender los parámetros de realización de casi cualquier movimiento articular de un solo segmento corporal, ya que éstos son básicamente arcos.
- Asimismo se debe reducir la dependencia de la aplicación móvil con la base de datos, ya que actualmente ésta debe estar conectada al inicio y final de la sesión de cada terapia. Para solucionar esto se plantea el uso de una base de datos local que almacene toda la información en el celular y se sincronice con el sistema de archivos principal en momentos específicos. Esto solucionará la que se convierte en una de las principales limitaciones de la aplicación, la cual consiste en la pérdida de la información de la sesión en caso de perder la conexión durante el proceso de envío de la información.

- En el caso de la asignación de terapia y teniendo en cuenta la sugerencia del fisioterapeuta con quien se realizaron las pruebas, es necesario implementar un sistema de terapia progresiva que permita aumentar la dificultad o intensidad de los ejercicios a medida que el tratamiento avanza. Actualmente el sistema asigna las tareas (Número de sesiones, series y repeticiones) y estas se vuelven inmodificables.

Es posible llevar ésta tarea a cabo mediante modificaciones en la estructura del sistema de archivos y mediante la implementación de una ventana extra en la página web que permita asignar las tareas en función de las etapas o niveles de progreso deseados, es decir, el especialista podría crear x niveles de dificultad y a cada uno asignarle su propio conjunto de sesiones series y repeticiones, todas enmarcadas dentro de la misma terapia asignada a un paciente-

- Siguiendo las sugerencias consignadas en las encuestas, es viable implementar algunos modos y funciones de ajustes específicas de la aplicación, tales como la personalización de los sonidos, ayudas emergentes que los expliquen, animaciones a modo de instrucciones de lo que se debe hacer e incluso formas de caracterización de las alertas, es decir dar la posibilidad al usuario de desactivarlas completamente o modificar el tipo de sonido que emite cada situación. Igualmente debe implementarse una interfaz de administración de especialistas ya que, actualmente estos se ingresan directamente desde la base de datos.
- En cuanto a la conectividad de la aplicación se propone la posibilidad de cambiar el sistema de conexión con la base de datos, migrándolo de la conexión mediante JDBC (Java Data Base Conector) a un sistema a través de *web services*, el cual consiste en diseñar un código en Php que reciba las solicitudes desde el celular y las envíe a la base de datos. Esto permitiría, además de hacer más segura la comunicación, reducir el ancho de banda que utiliza la transmisión de información, un aspecto importante al tener en cuenta que de éste modo, se reducirá el consumo del plan de datos de los usuarios cuando se conecten con el sistema de archivos.
- Ya que el sistema de captura de movimiento basa su funcionamiento en la fusión de sensores para implementar una unidad de medición inercial y entre ellos se encuentra el acelerómetro, es necesario estudiar los efectos de los cambios traslacionales del dispositivo sobre las mediciones angulares. Aquí no se han tenido en cuenta puesto que para los ejercicios de kinesioterapia el paciente permanece en la misma posición. No obstante, si se desea

implementar el análisis de movimientos más complejos o de múltiples segmentos corporales, éste debe ser un aspecto a tener en cuenta.

REFERENCIAS

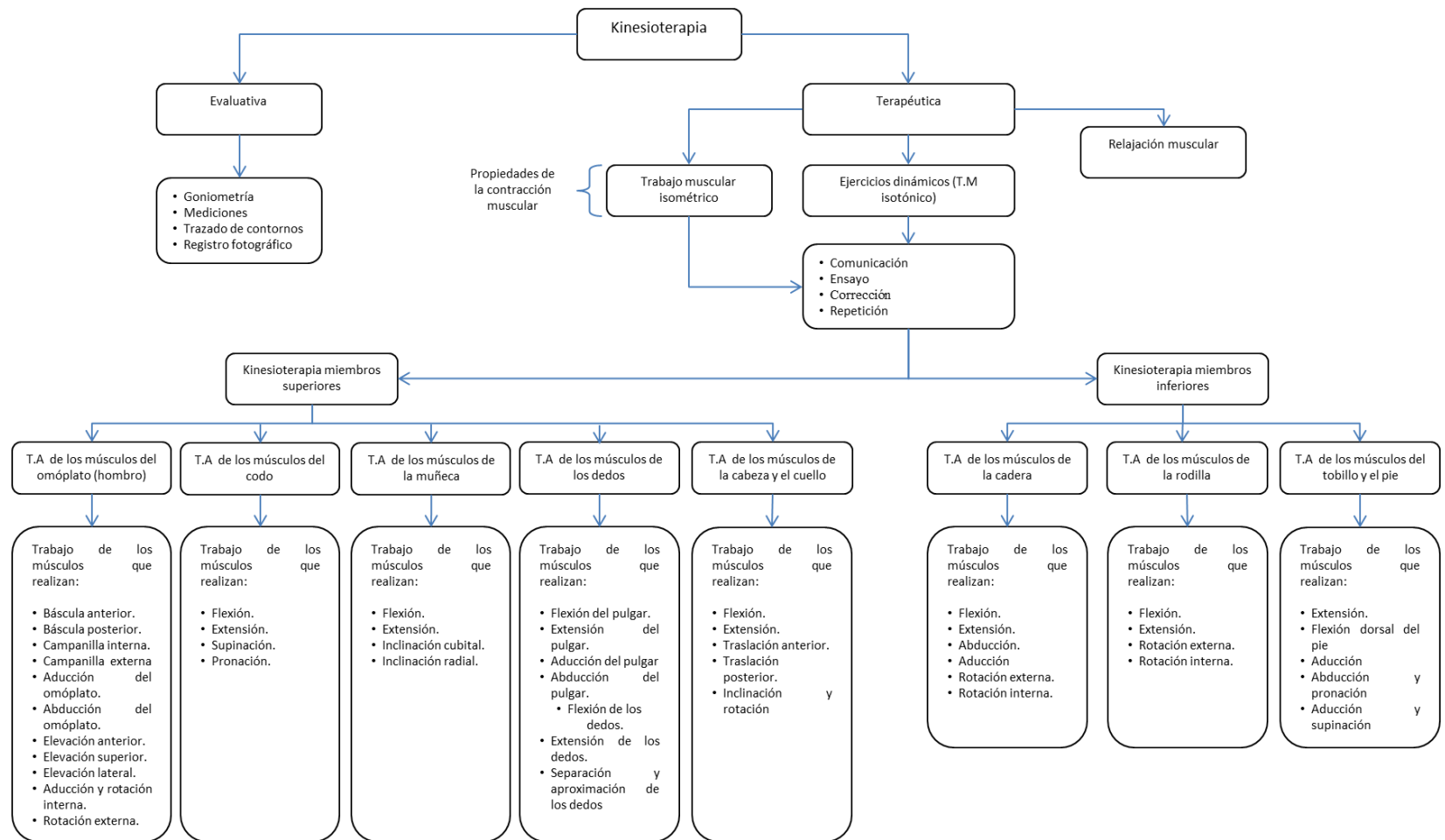
- [1] J. M. Ramírez Scarpeta, «Presentación del Proyecto: Marcha asistida con un exoesqueleto.,» p. 16, 2013.
- [2] Centro de Tecnologías de Información. FACET.UNT, «Señales fisiológicas on-line - Aplicaciones de Android en Google Play,» 13 Diciembre 2013. [En línea]. Available: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fleem.androidapp&feature=search_result.
- [3] Kranz, Matthias, A. Möller, N. Hammerla, S. Diewald, T. Plötz, P. Oliver y L. Roalter., «Towards individualized skill assessment using personalized mobile devices,» *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 9, n° 2, pp. 203-215, 2013.
- [4] C. Franco, U. L. T. F. AGIM Lab., A. Fleury, P. Gumery y B. Diot, «iBalance-ABF: A Smartphone-Based Audio-Biofeedback Balance System,» *Biomedical Engineering*, vol. 60, n° 1, pp. 211 - 215, 2012.
- [5] M. Kablan, «JMD Joint Motion Detector - Aplicaciones de Android en Google Play.,» 6 Octubre 2012. [En línea]. Available: https://play.google.com/store/apps/details?id=trv.jmd&feature=search_result#?t=W251bGwsMSwxLDEsInRydi5qbWQiXQ.
- [6] S. H. Shin, D. H. Ro, O.-S. Lee, J. H. Oh y S. Kim, «Within-day reliability of shoulder range of motion measurement with a smartphone,» *Manual Therapy*, vol. 4, n° 17, pp. 298-304, 2012.
- [7] N. D. Kostikis, M. Hristu-Varsakelis, C. Arnaoutoglou, Kotsavasiloglou y S. Baloyiannis, «Towards remote evaluation of movement disorders via smartphones,» *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 5240-5243, 2011.
- [8] «Biofísicaupla Kinesiología y física,» [En línea]. Available: <http://biofísicaupla.wordpress.com/cinematica/>. [Último acceso: Enero 2014].
- [9] Á. Arcas, D. Gálvez, C. León y Pellicer María, Manual de Fisioterapia Generalidades, Primera edición ed., MAD, 2004, pp. 89-91.
- [10] G. Dinard y F. Le Corre, La Kinesioterapia, Paidotribo, 1986.
- [11] C. Kisner y L. Colby, Ejercicio terapéutico Fundamentos y técnicas, Filadelfia: Paidotribo, 2005.
- [12] A. Mahniques, «CTO-AM Ejercicios de rehabilitación de las extremidades inferiores,» [En línea]. Available: http://cto-am.com/rhb_rodilla.htm. [Último acceso: Enero 2014].

- [13] Genót, Kinesioterapia Evaluacion, Técnicas pasivas y activas del aparato locomotor, Médica Panamericana, 2005.
- [14] A. Gottlob, Entrenamiento Muscular Diferenciado Tronco y Columna Vertebral, Paidotribo, 2008.
- [15] N. Palastanga, F. Derek y R. Soames, Anatomía y movimiento humano. Estructura y Funcionamiento, Paidotribo, 2000.
- [16] J. Gonzales Badillo y E. Gorostina, Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo, Inde, 2002.
- [17] R. Miralles y I. Miralles, Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor, Masson, 2007.
- [18] G. Miette y A. Stroud, Professional Android Sensor Programming, Indianapolis: Jhon Wiley & Sons, 2012.
- [19] D. Roetenberg, «<http://www.xsens.com>,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.xsens.com/wp-content/uploads/2014/01/Inertial-and-Magnetic-Sensing-of-Human-Motion.pdf>.
- [20] J. E. M, «Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana 1995 (acopla95),» *Salud Pública*, pp. 112-139, 1998.

ANEXOS

Sección 1

Mapa conceptual Kinesioterapia



T.A: Técnicas activas – C.F: Cadenas facilitadoras – C.A: Cadenas axioperiféricas – P.A: Periféricas axioperiféricas

Sección 2

Casos de uso reales de la aplicación móvil.

I. Iniciar Sesión:

Universidad del Valle Aplicación Móvil	Rev:
Título: CASO DE USO: INICIAR SESIÓN	003

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-03-11
002	Primera revisión	EB GO	2014-03-18
003	Correcciones	GO	2014-03-20

Información general	
Actores	Usuario
Resumen	El usuario ingresa a la aplicación y mediante sus datos de registro ingresa al menú principal de su cuenta personal.
Tipo	Real

Secuencia normal de eventos	
Acción de los actores	Respuesta del sistema
1. Usuario abre la aplicación.	2. La aplicación muestra la pantalla de bienvenida y evalúa si el dispositivo cuenta con los sensores necesarios
	3. Si está desactivad, la aplicación sugiere que se active el “modo avión” durante la realización de la terapia con el fin de evitar la interrupción debido a llamadas.
	4. La aplicación muestra los campos de usuario y contraseña para el inicio de sesión.
5. El usuario digita su nombre de usuario y contraseña y presiona el botón “ingresar”	6. La aplicación crea una conexión TCP/IP con el servidor Web.
	7. La aplicación transmite los datos de usuario y contraseña y verifica que se encuentren registrados en la base de datos.
	8. La aplicación recibe respuesta del servidor, con información personal del usuario.

	9. La aplicación muestra un mensaje indicando el éxito del inicio de sesión.
	10. La aplicación trae toda la información asociada al paciente desde la base de datos.
	11. La aplicación muestra la pantalla principal de usuario con los datos del mismo y la opción de ingresar al módulo de terapia (Seleccionar Terapia).

Curso alternativo de los eventos	
Respuesta del sistema	
1. Si el usuario digita erróneamente los campos de nombre y contraseña, el sistema no lo encontrará en la base de datos, por lo que emite una alerta indicando el error. 2. Si existe un error en el intento de conexión la aplicación lo informará. 3. Si el dispositivo no cuenta con los sensores necesarios la aplicación lo informará y se quedará en la pantalla de bienvenida.	

II. Selección de terapia:

Universidad del Valle Aplicación Móvil	Rev:
Título: CASO DE USO: SELECCIÓN DE TERAPIA	003

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-03-11
002	Primera revisión	EB GO	2014-03-18
003	Correcciones	GO	2014-03-20

Información general	
Actores	Usuario
Resumen	En el menú principal, el usuario verifica sus datos e ingresa al módulo de selección de terapia, la cual una vez escogida, despliega el menú de la terapia.
Tipo	Real

Secuencia normal de eventos	
Acción de los actores	Respuesta del sistema
1. El usuario presiona el botón “seleccionar terapia”	2. La aplicación despliega un menú emergente con las

	terapias asociadas al paciente.
3. El usuario escoge la terapia de su interés y presiona “ok”.	4. La aplicación entra al menú de opciones de terapia donde se muestran las opciones de revisión de información general, revisión de estadísticas o realización de la sesión.

Curso alternativo de los eventos
Respuesta del sistema
Ninguno

III. Información General

Universidad del Valle Aplicación Móvil	Rev:
Título: CASO DE USO: INFORMACIÓN GENERAL	003

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-04-23
002	Primera revisión		
003	Correcciones		

Información general	
Actores	Usuario
Resumen	Dentro del menú de opciones de la terapia seleccionada, el usuario ingresa a la opción de <i>información general</i> .
Tipo	Real

Secuencia normal de eventos	
Acción de los actores	Respuesta del sistema
1. El usuario presiona el botón <i>información general</i>	2. La aplicación muestra información asociada a la terapia escogida por el paciente: Número de sesiones, número de series, número de repeticiones, tiempo de descanso, fecha de inicio y descripción y observaciones

Curso alternativo de los eventos
Respuesta del sistema
Ninguno

IV. Parametrizar Terapia

Universidad del Valle Aplicación Móvil	Rev:
Título: CASO DE USO: PARAMETRIZAR TERAPIA	001

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-04-23
002	Primera revisión		
003	Correcciones		

Información general	
Actores	Usuario
Resumen	El usuario, en compañía del especialista realiza una serie de repeticiones con el fin de enseñarle al dispositivo a reconocer el movimiento.
Tipo	Real

Secuencia normal de eventos	
Acción de los actores	Respuesta del sistema
1. El usuario presiona el botón <i>Parametrizar</i> dentro del menú de Realización de sesión.	2. La aplicación solicita la contraseña personal del Especialista. (La misma que se usa para ingresar a la página web).
3. El especialista ingresa su contraseña personal y presiona el botón <i>aceptar</i> .	4. La aplicación valida la contraseña y si esta es correcta despliega las instrucciones de parametrización.
5. El usuario presiona el botón <i>continuar</i> .	6. Se despliega el botón <i>empezar</i> que cubre toda la pantalla.
7. El usuario ubica el equipo en la posición fijada y presiona el botón <i>empezar</i> .	8. Se despliega el botón interrumpir en el centro de la pantalla
9. El usuario realiza los movimientos asignados. Aunque se sugiere realizar 10 repeticiones el	10. La aplicación captura información de los sensores e implementa el Algoritmo de reconocimiento

algoritmo funciona con cualquier número de éstas.	durante la parametrización: descrito en 4.5.1.
11. El usuario presiona el botón <i>Finalizar Captura</i> .	12. La aplicación muestra la ventana de finalización de parametrización con los botones <i>Guardar información, Reiniciar y volver-</i> .
13. El usuario presiona el botón <i>Guardar Información</i> .	14. La aplicación envía la información obtenida (estado de la parametrización, valores promedio de amplitud máxima y mínima y de velocidad máxima) hacia la base de datos.
	15. La aplicación informa del éxito de la operación
16. El usuario presiona el botón volver.	17. La aplicación regresa a la ventana de <i>información general</i> .

Curso alternativo de los eventos	
Respuesta del sistema	
1. Si el usuario presiona el botón reiniciar se emitirá una ventana de confirmación advirtiéndole que se perderán los datos recientemente capturados. Si el usuario confirma se mostrará la ventana de instrucciones de parametrización y el proceso deberá llevarse a cabo nuevamente. 2. Si al momento de enviar la información a la base de datos ocurre algún tipo de error la aplicación se lo notificará al usuario.	

V. Realizar Terapia

Universidad del Valle Aplicación Móvil	Rev:
Título: CASO DE USO: REALIZAR TERAPIA	001

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-03-11
002	Primera revisión		
003	Correcciones		

Información general	
Actores	Usuario
	El usuario realiza la sesión de la terapia seleccionada

Resumen	mientras el celular captura la información de los movimientos.
Tipo	Real

Secuencia normal de eventos	
Acción de los actores	Respuesta del sistema
1. El usuario presiona el botón <i>realizar sesión</i> .	2. La aplicación despliega la pantalla que contiene el menú desplegable donde el usuario escoge la sesión a realizar. Solo se muestran las sesiones realizadas y la inmediatamente siguiente.
3. El usuario selecciona la sesión a realizar	4. La aplicación muestra la información general de la sesión escogida. (Número de repeticiones y series a realizar).
5. El usuario presiona el botón aceptar.	6. La aplicación revisa si ya se ha llevado a cabo la parametrización de la terapia, de no ser así alertará al usuario indicándole que es necesario este proceso antes de continuar.
	7. La aplicación revisa si la sesión escogida ya se ha realizado anteriormente, en cuyo caso advierte al usuario que continuar reescribirá los datos previamente almacenados. Adicionalmente informa de cuál es la sesión sugerida a realizar.
	8. Se despliega el botón <i>empezar</i> que cubre toda la pantalla.
9. El usuario presiona el botón y empieza el movimiento de la primera serie.	10. Se despliega el botón interrumpir en el centro de la pantalla y se muestra el contador de repeticiones y el indicador del número de la serie.
	11. La aplicación captura la información de los sensores asociada al movimiento usando el Algoritmo de monitorización durante el ejercicio: descrito en 4.5.2
	12. La aplicación emite una alerta sonora cada vez que se alcanzan los umbrales aceptables de realización del ejercicio.
	13. Si se sobrepasan los umbrales fijados se emite una alerta sonora diferente.
	14. La aplicación cuenta el número de repeticiones

	realizadas y las va mostrando en pantalla. Asimismo se muestra la serie en curso. Una vez alcanzado el número de repeticiones necesarias emite una alerta.
15. El usuario detiene el movimiento.	16. La aplicación empieza el cronómetro del tiempo de descanso estipulado. La cuenta regresiva se muestra en pantalla. Cuando falten 10 segundos para terminar se emite un sonido constate.
	17. Una vez agotado el tiempo de descanso emite una alerta sonora indicado que el periodo de descanso terminó.
	18. Se despliega el botón “empezar” que cubre toda la pantalla.
19. El usuario presiona el botón y empieza el movimiento de la segunda serie.	20. Se despliega el botón interrumpir en el centro de la pantalla
	21. La aplicación captura la información de los sensores asociada al movimiento usando el Algoritmo de monitorización durante el ejercicio descrito en 4.5.2
	22. La secuencia se repite tantas veces como series se haya fijado el especialista en la base de datos. Una vez completada la sesión los datos se procesan y almacenan de manera local
	23. Una vez terminada o interrumpida la sesión, se despliega la ventana de <i>Sesión Finalizada</i> .
24. El usuario puede o no escribir un comentario sobre la sesión llevada a cabo.	
25. El usuario presiona el botón <i>Guardar Información</i> .	26. La aplicación envía la información de la sesión a la base de datos.
	27. La aplicación recibe respuesta del servidor.
	28. La aplicación cierra la conexión.
	29. La aplicación muestra un mensaje indicando el éxito de la operación

Curso alternativo de los eventos
Respuesta del sistema
1. La ventana “<i>Sesión finalizada</i>” no se despliega hasta que el usuario haya interrumpido o realizado la totalidad de la sesión. 2. Si inicialmente el usuario escoge una sesión ya realizada la aplicación mostrará una alerta preguntando si desea sobre escribir la información. 3. Si la secuencia de envío de información al servidor no se completa con éxito, la aplicación se lo notifica al usuario. 4. Si en la ventana de “Sesión finalizada” el usuario escoge la opción <i>Reiniciar Sesión</i>, la aplicación advierte que dicha acción sobrescribirá la información almacenada. 5. Si el usuario interrumpe la sesión, se desplegará la ventana de <i>final de sesión</i> pero la aplicación informará al usuario que no se pueden enviar la información a la base de datos ya que la sesión no se completó adecuadamente.

VI. Revisar estadísticas:

Universidad del Valle Aplicación Móvil	Rev:
Título: CASO DE USO: REVISAR ESTADÍSTICAS	003

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-03-11
002	Primera revisión	BB GO	2014-03-18
003	Correcciones	GO	2014-03-20

Información general	
Actores	Usuario
Resumen	Dentro del menú de opciones de la terapia seleccionada, el usuario escoge la revisión de las estadísticas, la cual permite la navegación a través de los distintos datos a consultar
Tipo	Real

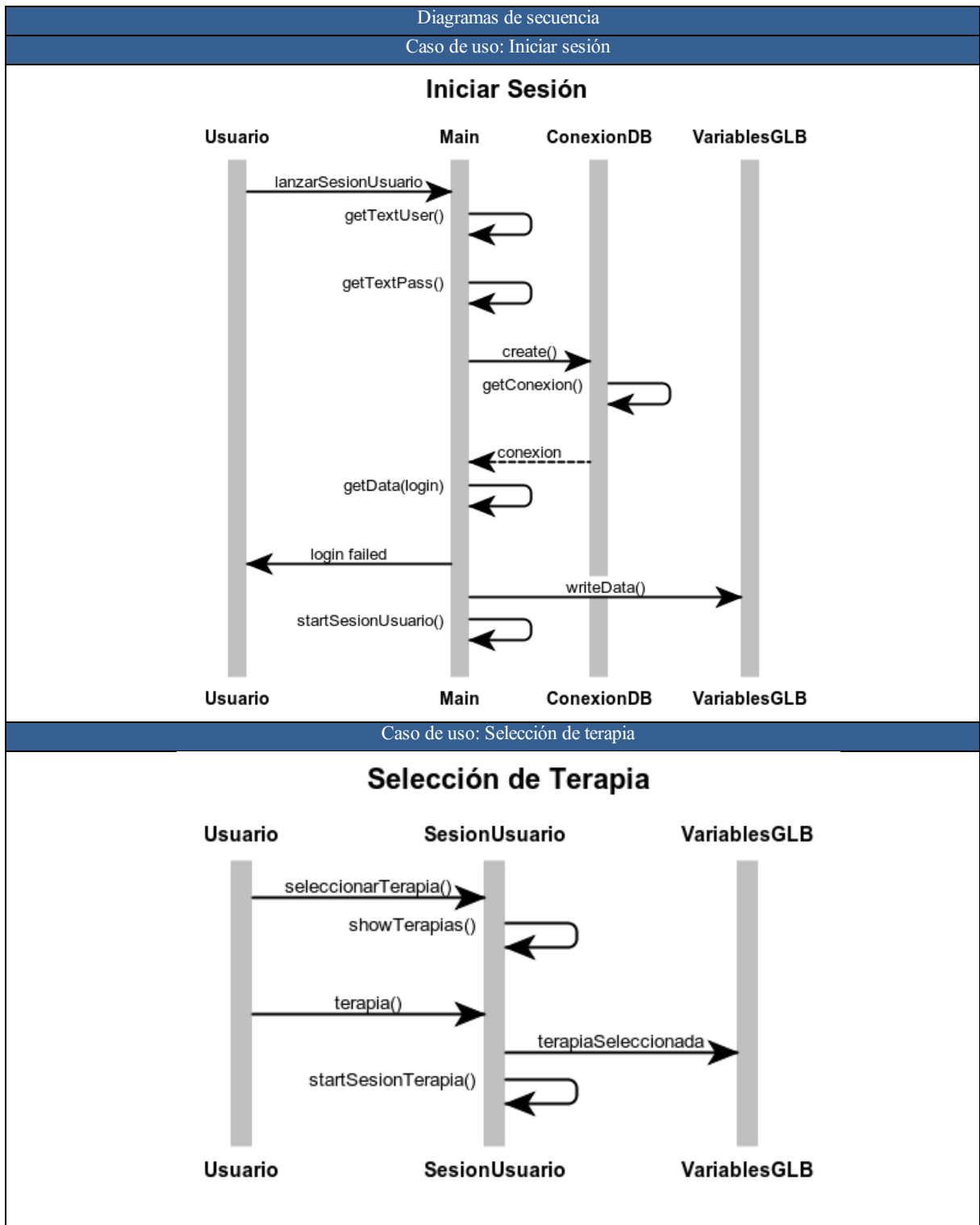
Secuencia normal de eventos	
Acción de los actores	Respuesta del sistema
1. El usuario ingresa a la ventana de revisión de estadísticas.	2. La aplicación muestra los botones <i>velocidad</i> y <i>amplitud</i> .

3. El usuario presiona el botón <i>velocidad</i> .	4. La aplicación muestra las gráficas en blanco y los botones con los que puede escoger la sesión y la serie a revisar
5. El usuario selecciona revisar “todas” las sesiones y presiona el botón <i>graficar</i> .	6. La aplicación muestra el promedio de velocidad de los movimientos a lo largo de todas las sesiones realizadas.
7. El usuario, mediante un menú desplegable escoge una de las sesiones y presiona el botón <i>graficar</i> .	8. La aplicación muestra los valores de velocidad promedio en cada una de las series realizadas durante la sesión. Se habilita el menú desplegable series.
9. El usuario, mediante el menú desplegable escoge una de las series y presiona el botón <i>graficar</i> .	10. La aplicación muestra los valores de velocidad promedio en cada una de las repeticiones realizadas en la serie.
11.	12. A diferencia de la velocidad, la gráfica de amplitud muestra los valores máximos y mínimos en cada instancia del ejercicio

Curso alternativo de los eventos
Respuesta del sistema
1. Si no se ha llevado a cabo ninguna sesión, la aplicación despliega una ventana emergente informándolo y se evita el ingreso a la ventana de estadísticas.

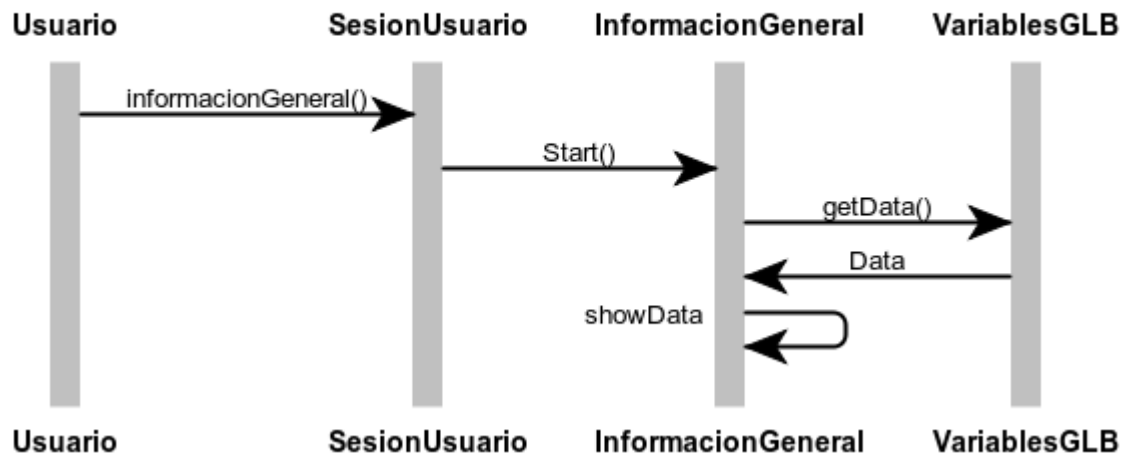
Sección 3

Diagramas de secuencia de la aplicación móvil.



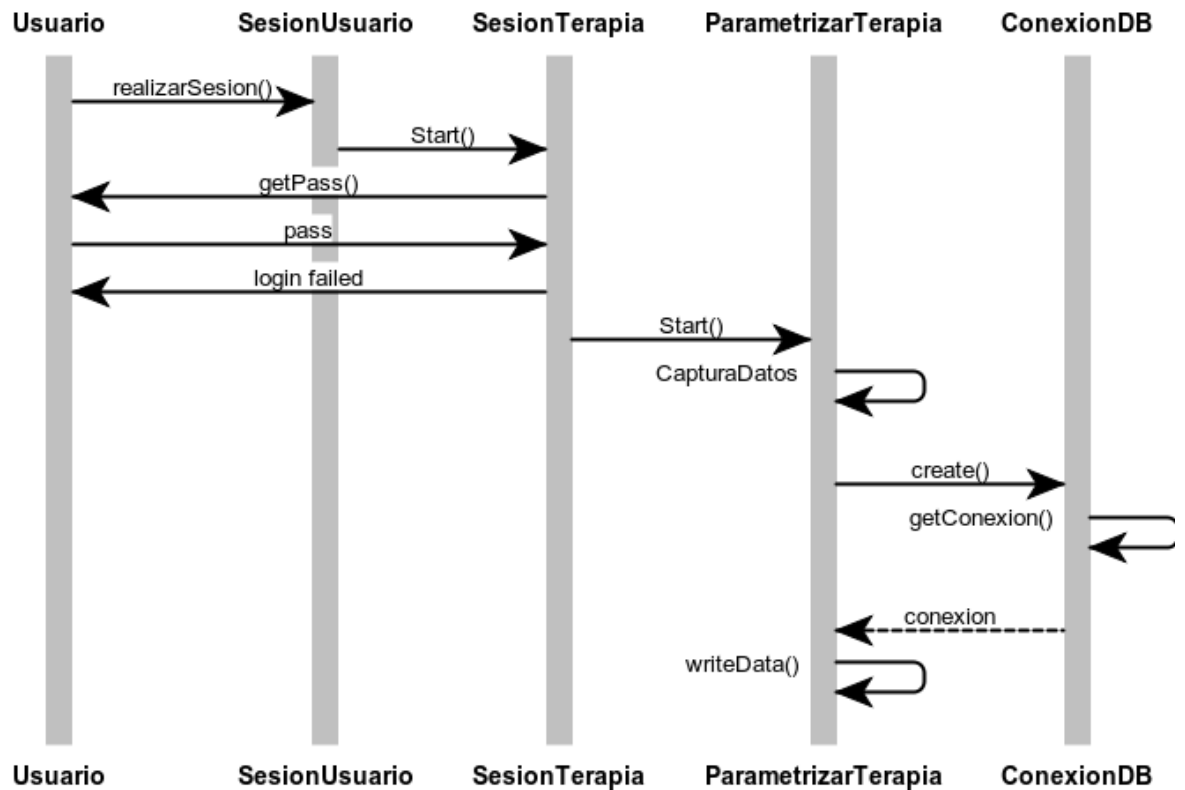
Caso de uso: Ver información general

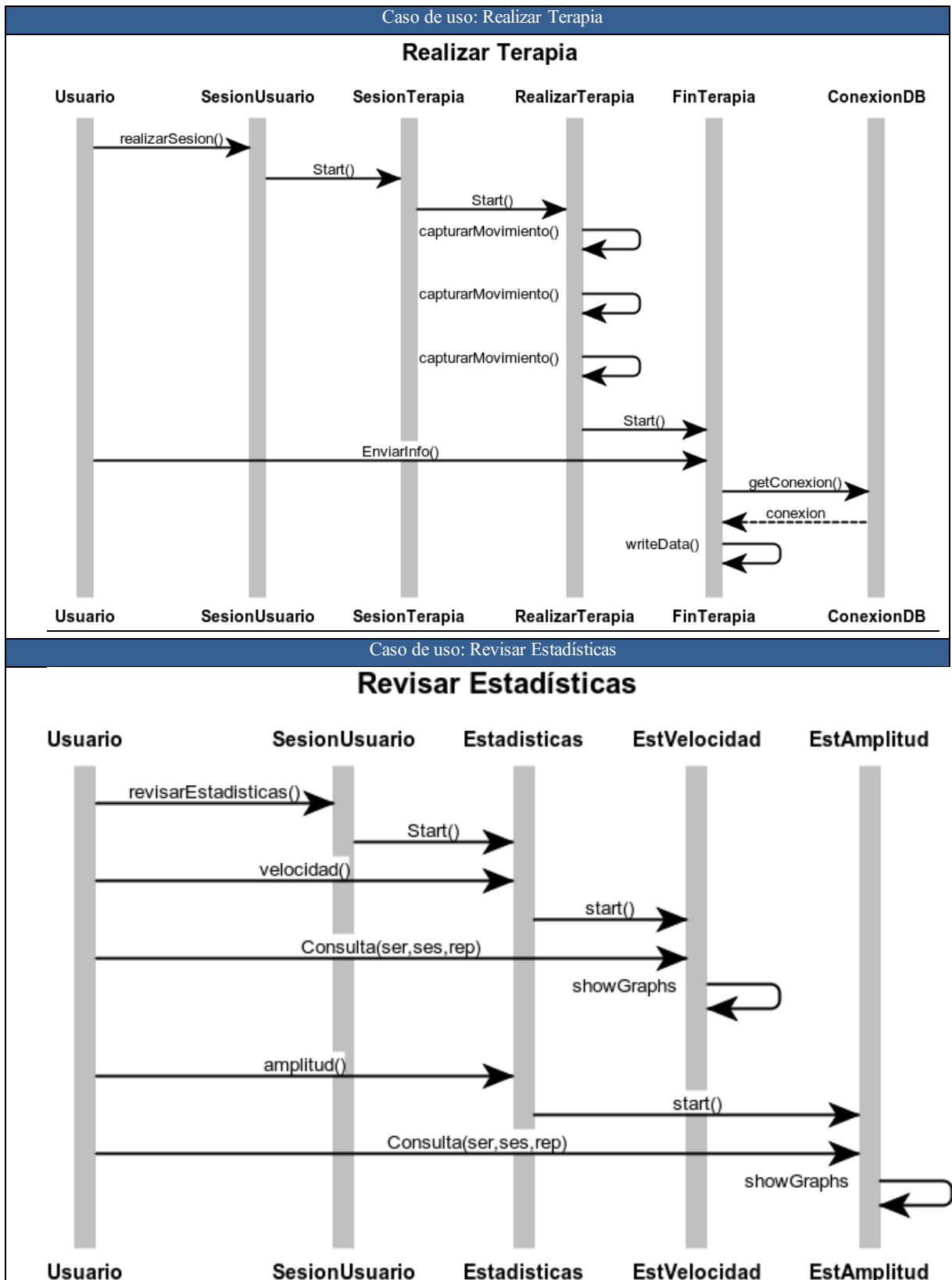
Ver Información General



Caso de uso: Parametrizar terapia

Parametrizar Terapia





Sección 4

Casos de uso reales de la aplicación web.

I. Iniciar sesión:

Universidad del Valle Aplicación Web	Rev:
Título: CASO DE USO: INICIAR SESIÓN	001

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-03-20
002	Revisión		
003	Correcciones		

Información general	
Actores	Usuario
Resumen	El usuario entra a la página web mediante autenticación, donde puede realizar la gestión y revisión de pacientes.
Tipo	Real

Secuencia normal de eventos	
Acción de los actores	Respuesta del sistema
1. Usuario abre la aplicación.	2. La aplicación muestra los campos de usuario y contraseña para el inicio de sesión.
3. El usuario digita su nombre de usuario y contraseña y presiona el botón “ingresar”	4. La aplicación establece conexión con el servidor web.
	5. La aplicación verifica los datos de usuario y contraseña y verifica que se encuentren registrados en la base de datos.
	6. La aplicación despliega la pantalla principal de sesión del usuario con las opciones crear paciente, revisar paciente o eliminar paciente.

Curso alternativo de los eventos
Respuesta del sistema
1. Si la secuencia de envío de información al servidor no se completa con éxito, la aplicación se lo notifica al usuario.

II. Crear nuevo paciente:

Universidad del Valle Aplicación Web	Rev:
Título: CASO DE USO: CREAR NUEVO PACIENTE	001

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-03-24
002	Revisión		
003	Correcciones		

Información general	
Actores	Usuario-Servidor
Resumen	En la ventana principal, el usuario tiene la opción de registrar un nuevo paciente o de eliminar uno existente.
Tipo	Real

Secuencia normal de eventos	
Acción de los actores	Respuesta del sistema
1. El usuario escoge la opción <i>registrar nuevo paciente</i>	2. La aplicación muestra los campos que debe llenar el usuario.
3. El usuario llena los campos de información personal del paciente: nombre, edad, sexo, identificación, estatura, peso, fecha de nacimiento. Y datos de la terapia: terapia, número de sesiones, número de series, número de repeticiones, tiempos de descanso.	
4. El usuario presiona el botón guardar	5. La aplicación envía la información al servidor web.
	6. La aplicación recibe confirmación del servidor si la información se guarda correctamente en el sistema de archivos.
	7. La aplicación confirma que el nuevo paciente se adicionó con éxito.
	8. La aplicación vuelve a la ventana principal.
9. El usuario escoge la opción <i>Eliminar paciente</i> .	10. La aplicación muestra la lista de usuarios

	registrados.
11. El usuario selecciona el paciente a eliminar.	12. La aplicación despliega una ventana de confirmación acerca de la decisión de eliminar el paciente seleccionado.
13. El usuario confirma la acción.	14. La aplicación envía la información al servidor con los comandos para borrar al paciente del sistema de archivos.
	15. La aplicación recibe confirmación de la acción.
	16. La aplicación confirma que el paciente se eliminó con éxito.
	17. La aplicación vuelve a la ventana principal.

Curso alternativo de los eventos
Respuesta del sistema
1. Si en cualquiera de los casos existen errores en la intercambio de información con el servidor, la aplicación lo notificará al usuario.

III. Revisar paciente:

Universidad del Valle Aplicación Web	Rev:
Título: CASO DE USO: REVISAR PACIENTE	001

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-03-20
002	Revisión		
003	Correcciones		

Información general	
Actores	Usuario
Resumen	El usuario selecciona un paciente y puede revisar las estadísticas de sus sesiones de terapia y editar la información personal.

Tipo	Real
-------------	------

Secuencia normal de eventos	
Acción de los actores	Respuesta del sistema
1. En la pantalla principal el usuario escoge la opción “Revisar Paciente”	2. La aplicación muestra la ventana de revisión de estadísticas
	3. La aplicación recibe la información y muestra todos los pacientes registrados.
4. El usuario escoge uno de los pacientes	5. La aplicación muestra la información personal básica del paciente
6. El usuario escoge la opción “Datos Personales”.	7. La aplicación muestra los campos de información del usuario.
8. El usuario edita los campos y presiona botón guardar.	9. La aplicación envía la información al servidor con los nuevos datos.
	10. La aplicación espera confirmación de la operación
	11. La aplicación muestra un mensaje indicando el éxito de la operación

Curso alternativo de los eventos
Respuesta del sistema
1. Si la secuencia de envío de información al servidor no se completa con éxito, la aplicación se lo notifica al usuario. 2. Si no se ha seleccionado un paciente previamente, la aplicación mostrará todos los campos vacíos.

IV. Revisar estadísticas:

Universidad del Valle Aplicación Web	Rev:
Título: CASO DE USO: REVISAR ESTADÍSTICAS	001

Revisión histórica			
Rev	Descripción del cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Gabriel Ortega Rosero	2014-03-20
002	Revisión		
003	Correcciones		

Información general	
Actores	Usuario
Resumen	El usuario selecciona un paciente y puede revisar las estadísticas de sus sesiones de terapia.
Tipo	Real

Secuencia normal de eventos	
Acción de los actores	Respuesta del sistema
1. En el menú principal el usuario escoge la opción “revisar paciente”.	2. La aplicación entra a la ventana de revisión de estadísticas y muestra todos los pacientes registrados.
3. El usuario escoge uno de los pacientes.	4. La aplicación muestra información personal básica del paciente seleccionado.
5. El usuario presiona el botón <i>velocidad</i> .	6. La aplicación pone por defecto “todas” en los selectores de serie y sesión y muestra el promedio de velocidad a lo largo de todas las sesiones.
7. El usuario escoge una de las sesiones en el selector de sesiones.	8. La aplicación carga las series de la sesión en el selector de <i>sesiones</i> y poner por defecto el valor “todas.”
	9. La aplicación muestra los valores promedio de velocidad a lo largo de las series de la sesión escogida.
10. El usuario escoge una de las series en el selector de series.	11. La aplicación muestra los valores de velocidad de cada una de las repeticiones de la serie escogida
12. El usuario presiona el botón <i>amplitud</i> .	13. La aplicación pone por defecto “todas” en los selectores de serie y sesión y muestra el promedio de amplitud a lo largo de todas las sesiones.
14. El usuario escoge una de las sesiones en el selector de sesiones.	15. La aplicación carga las series de la sesión en el selector de <i>sesiones</i> y poner por defecto el valor “todas.”
	16. La aplicación muestra los valores promedio de amplitud a lo largo de las series de la sesión escogida.
17. El usuario escoge una de las series en el selector de series.	18. La aplicación muestra los valores de amplitud de cada una de las repeticiones de la serie escogida
19. El especialista escribe una observación acerca de los resultados.	
20. El especialista presiona el botón guardar.	21. La aplicación guarda la observación asociada al paciente y a la fecha del día de la consulta.
22. El especialista escoge una de las fechas en el campo debajo de <i>Observaciones de la consulta</i>	23. La aplicación muestra la información registrada por el especialista en dicha fecha.
24. El usuario presiona el botón volver	25. La aplicación retorna al menú principal.

Curso alternativo de los eventos
Respuesta del sistema
1. Si se presionan los comandos “Sesiones” o “Series” sin haber escogido un paciente, las gráficas se mostrarán vacías.

Sección 5

Pruebas funcionales aplicación móvil

Prueba de funcionamiento: Aplicación Web	
Requerimientos: • Ingreso al sistema mediante autenticación • Permitir el registro de nuevos pacientes • Permitir la eliminación de un paciente. • Permitir la revisión de estadísticas de cada paciente (Amplitud y velocidad de ejercicios). • Permitir modificar la información personal de cada paciente.	
Hardware requerido	Pc Cliente y Servidor (Durante la prueba son físicamente el mismo equipo).
Software Requerido	Aplicación web –Servidor (Apache-MySQL).
Objetivo	Probar las funcionalidades de la aplicación web relacionadas con la revisión y administración de pacientes.
Tareas de administración de pacientes - Registro de nuevo paciente	
Objetivo	Probar el correcto funcionamiento de las tareas relacionadas con la administración de pacientes, las cuales incluyen crear un nuevo paciente, registrar sus datos personales y de terapia a realizar, modificarlos una vez se han guardado en la base de datos y eliminar un paciente de la base de datos.
Datos de la prueba	Se ingresará a la aplicación web mediante los datos de autenticación del especialista: usuario: especialista, contraseña: 1234. Se creará un nuevo paciente con los siguientes datos: • Nombre: Luke • Apellido: Skywalker • Identificación: 116655 • Estatura (cm): 180 • Peso (kg): 80 • Sexo: masculino • Edad: 30 • Usuario: lucky

	• Contraseña: 1234 • Número de sesiones: 5 • Número de series: 5 • Número de repeticiones: 10 • Tiempo de descanso (s): 10 • Fecha de inicio: 26/10/2014 • Terapia: Terapia de Rodilla • Diagnóstico: Lesión en la rodilla. • Tratamiento: Movimientos de flexión y extensión de rodilla. • Observaciones: Ninguna
Procedimiento	1. Se abre el navegador y se ingresa al sitio web http://localhost/aplicacionWebFisio. 2. Se ingresan los datos de autenticación del especialista y se presiona <i>iniciar sesión</i>. 3. En la ventana de opciones se escoge crear un nuevo paciente. 4. Se llenan los campos con la información mencionada y se presiona guardar los datos.
Resultado esperado	1. Si la contraseña digitada es errónea la aplicación lo avisará. 2. Si el paciente se agregó correctamente, debería ser posible visualizar los datos guardados desde la pestaña <i>revisar paciente</i>
Resultado obtenido	Prueba Exitosa: A continuación se presentan las capturas de pantalla que evidencian el resultado de la prueba. Las imágenes corresponden a las siguientes acciones: A. Digitación del nombre de usuario y una contraseña errónea. B. Pantalla de opciones una vez se corrige la contraseña. C. Datos ingresados del paciente y mensaje del éxito de la operación. D. Nombre del paciente en la ventana de <i>Revisión de paciente</i> (Evidencia de que se encuentra en la base de datos)

SESIÓN ESPECIALISTA

Nombre de Usuario
Contraseña

Iniciar Sesión

Nombre de Usuario o Contraseña inválidos



A.

OPCIONES

Nuevo Paciente

Revisar Paciente

Eliminar Paciente

[Cerrar Sesión](#)



B.

Información Paciente

Nombre: Luke

Apellidos: Skywalker

Identificación: 116655

Estatura (cm): 180

Peso (Kg): 80

Sexo: Masculino

Edad: 30

Usuario: lucky

Contraseña: 1234

Terapia

Sesiones: 5

Repeticiones: 5

Tiempos de descanso (s): 10

Fecha de inicio: 26 / 10 / 2014

Terapia: Rodilla

Comentarios

Diagnostico

Lesión de rodilla

Tratamiento

Movimientos de flexión y extensión de rodilla

Observaciones

Ninguna

Guardar Datos

Volver

C.

ESTADÍSTICAS DEL PACIENTE

Velocidad

Amplitud

Datos Personales

Guardar

Volver

Datos correspondientes a

Selecciónar Sesión

Selecciónar Serie

Observaciones de Consulta

Observaciones de la Sesión

Datos de Terapia

Paciente: Seleccinonar

Nombre: Seleccinonar

Apellidos: Seleccinonar

Fecha Inicio: Seleccinonar

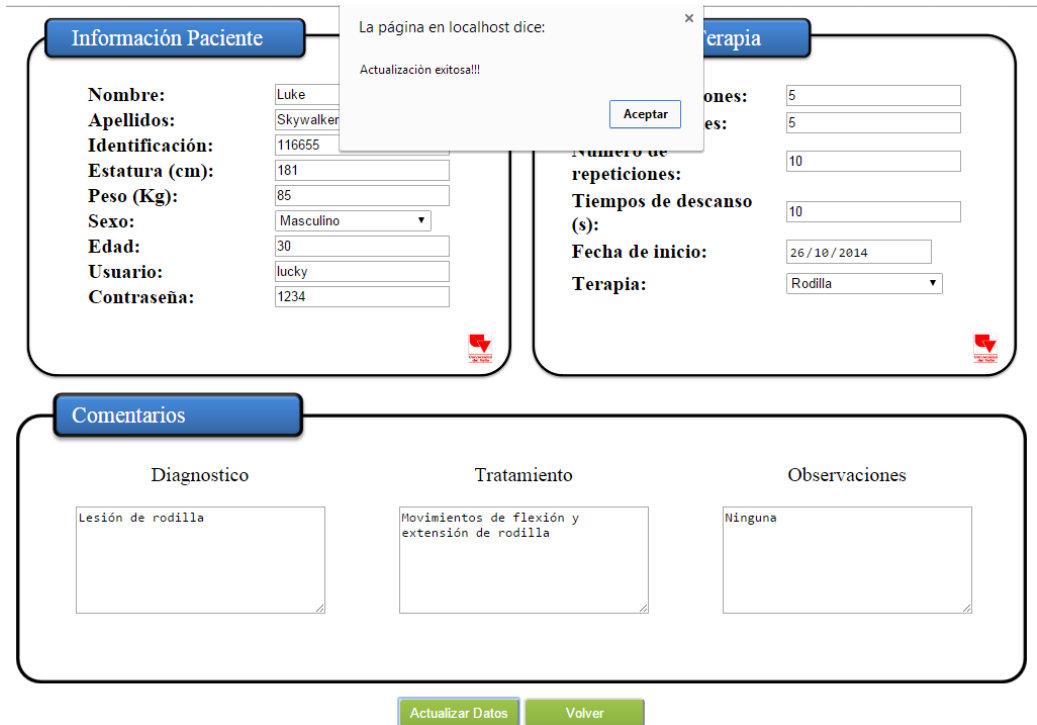
Terapia: Seleccinonar

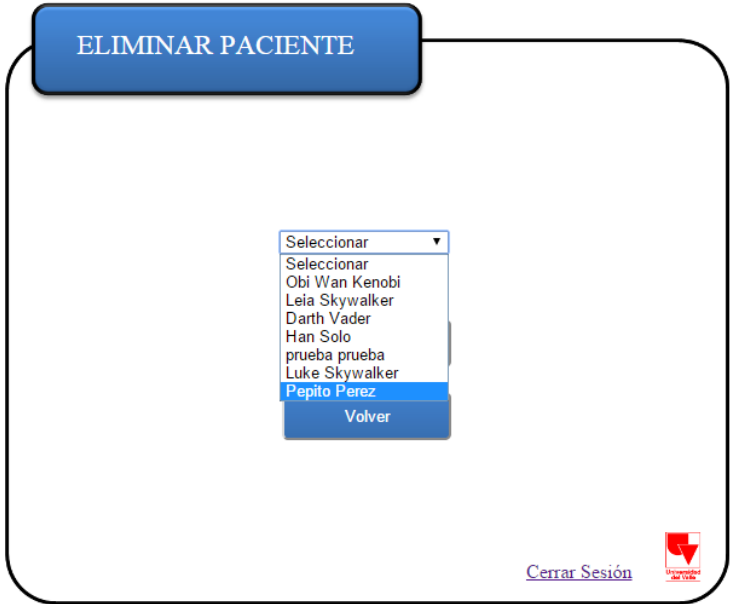
Sesiones: Seleccinonar

Series: Seleccinonar

Repeticiones: Seleccinonar

D.

Tareas de administración de pacientes – Modificación de un paciente previamente ingresado	
Objetivo	Probar que es posible actualizar los datos personales de un paciente y que estos quedan adecuadamente guardados en la base de datos.
Datos de la prueba	Se actualizarán el peso y la estatura del paciente: • Peso : 85 • Estatura: 181
Procedimiento	1. En la ventana de opciones se escoge el botón revisar paciente. 2. Buscas el nombre del paciente en la pestaña <i>paciente</i>. 3. Presionar el botón <i>Datos personales</i>. 4. Actualizar los datos respectivos y presionar el botón <i>Actualizar Datos</i>.
Resultado esperado	1. Si los datos se actualizan correctamente, la página web lo informará y mantendrá los nuevos datos.
Resultado Obtenido	La imagen A muestra la confirmación de la actualización de los datos y la nueva información consignada.
Capturas de resultados	
 A.	

Tareas de administración de pacientes – Eliminación de un paciente de la base de datos	
Objetivo	Verificar que es posible eliminar un paciente y que éste se borra adecuadamente de la base de datos.
Datos de la prueba	N/A
Procedimiento	1. En la venta a de opciones se escoge el botón <i>Eliminar paciente</i>. 2. En la pestaña desplegable se busca el paciente deseado y se presiona el botón <i>eliminar</i>.
Resultado esperado	1. Si el proceso se lleva a cabo de manera adecuada, la aplicación deberá informarlo y el paciente no debería aparecer más en la lista de pacientes.
Resultado Obtenido	Prueba exitosa, a continuación se presentan los detalles • La imagen A muestra la pantalla de eliminación de pacientes y la pestaña desplegable con el paciente escogido. • La imagen B muestra el despliegue de una ventana emergente confirmado la decisión. • La aplicación confirma el éxito de la operación y se observa que el paciente ya no está en la base de datos (Figura C)
Capturas de resultados	
 A.	

La página en localhost dice:

¿Está seguro de que desea eliminar el paciente?

Aceptar

Cancelar

ELIMINAR PACIENTE

Pepito Perez

Eliminar Paciente

Volver

Cerrar Sesión

B.

Datos de Terapia

Paciente:

Seleccionar

Seleccionar

Obi Wan Kenobi

Leia Skywalker

Darth Vader

Han Solo

prueba prueba

Luke Skywalker

Nombre:

Apellidos:

Fecha Inicio:

Terapia:

Sesiones:

Series:

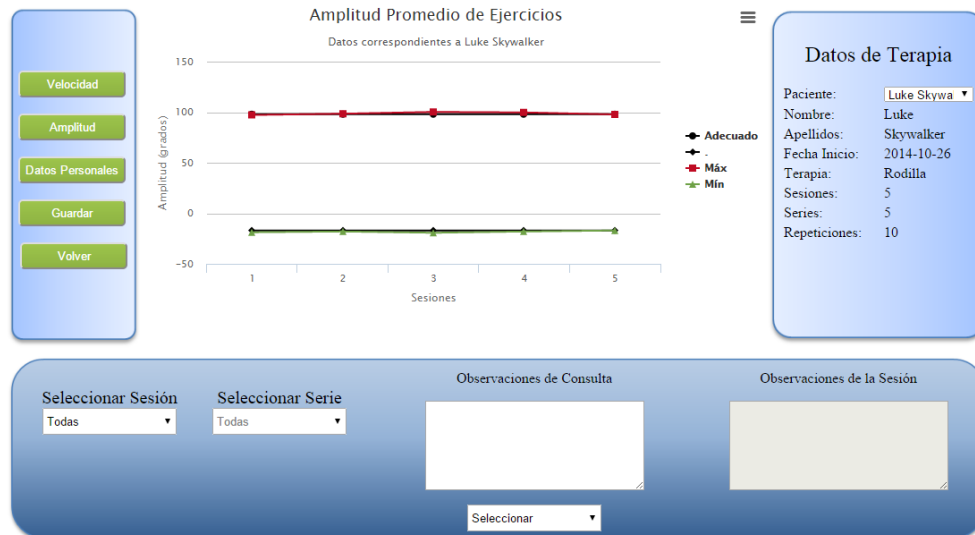
Repeticiones:

C.

Tareas de administración de pacientes – Revisión de estadísticas del paciente	
Objetivo	Probar el correcto funcionamiento de las tareas relacionadas con la revisión de estadísticas del paciente, probar los distintos tipos de consulta y verificar que todas ellas (por

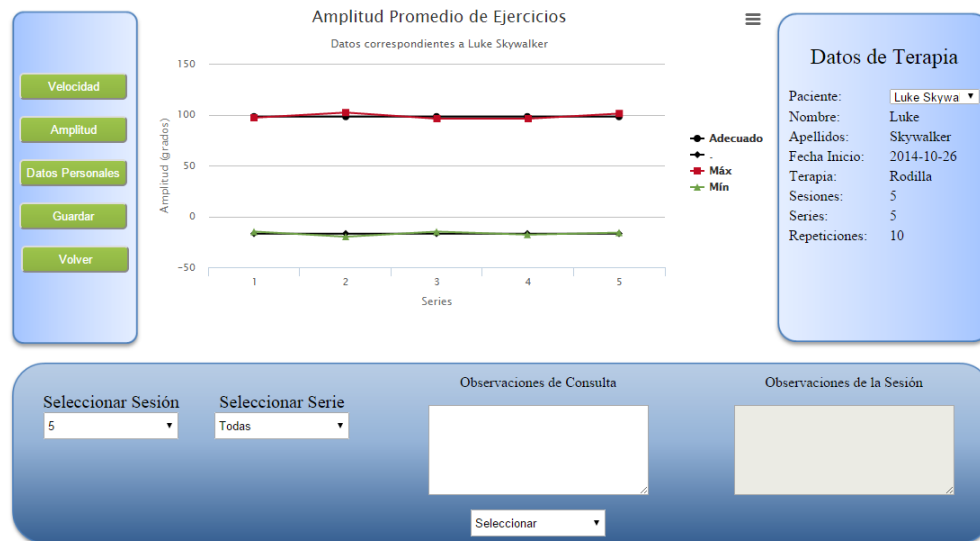
	repetición, por serie, por sesión, de amplitud o velocidad) muestran los resultados esperados
Datos de la prueba	N/A
Procedimiento	1. En la pantalla de <i>Estadísticas del Paciente</i> se selecciona el nombre del paciente deseado y se presiona el botón <i>amplitud</i> con el fin de observar la información a lo largo de todas las sesiones realizadas.. 2. Posteriormente se escoge una de las sesiones y se presiona el botón <i>amplitud</i> para revisar los datos por cada una de las series. 3. Se escoge una de las series y se presiona el botón <i>amplitud</i> para ver los datos de cada una de las repeticiones. 4. Se escoge una serie específica y se presiona el botón <i>velocidad</i>
Resultado esperado	1. Las gráficas deben mostrar los datos de amplitud máxima y mínima en cada consulta realizada (sesión, serie o repetición), así como los valores adecuados tomados de la parametrización. 2. Las gráficas deben mostrar la información de velocidad en función de la consulta realizada.
Resultado obtenido	Prueba exitosa, la aplicación web muestra adecuadamente los resultados. Las capturas a continuación evidencian su funcionamiento. La línea negra corresponde a los valores adecuados para el ejercicio. A. Muestra la gráfica de amplitud máxima y mínima de cada una de las sesiones realizadas. B. Muestra la gráfica de amplitud máxima y mínima de todas las series de la sesión escogida C. Muestra la gráfica de amplitud máxima y mínima de todas las repeticiones de una de las series escogidas. D. Muestra la gráfica de velocidad de cada una de las repeticiones de un de las series correspondiente a la sesión 5. Adicionalmente se evidencia la observación escrita por el especialista en referencia a dicha consulta.

ESTADÍSTICAS DEL PACIENTE



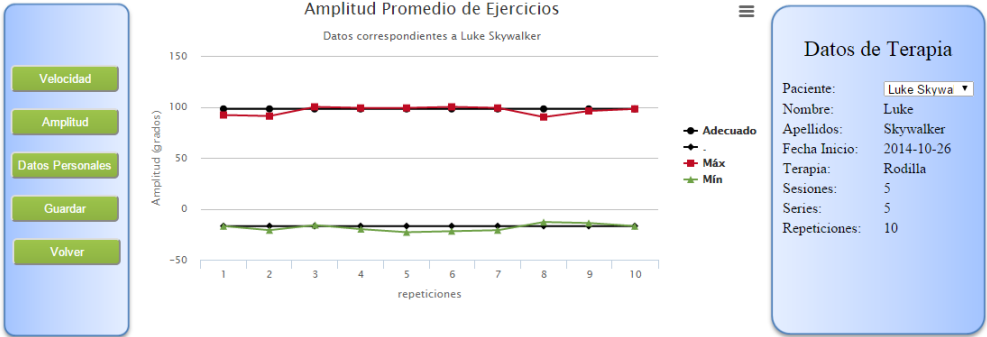
A.

ESTADÍSTICAS DEL PACIENTE



B.

ESTADÍSTICAS DEL PACIENTE



C.

Seleccionar Sesión

5

Seleccionar Serie

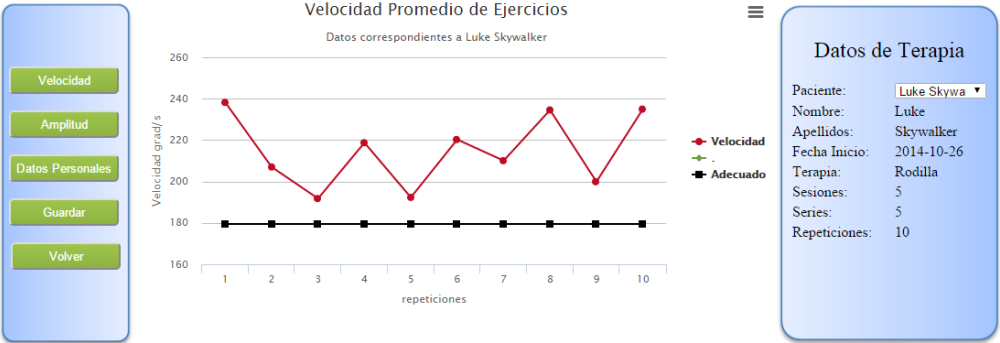
4

Observaciones de Consulta

Observaciones de la Sesión

Seleccionar

ESTADÍSTICAS DEL PACIENTE



D.

Seleccionar Sesión

5

Seleccionar Serie

2

Observaciones de Consulta

Observaciones de la Sesión

Seleccionar

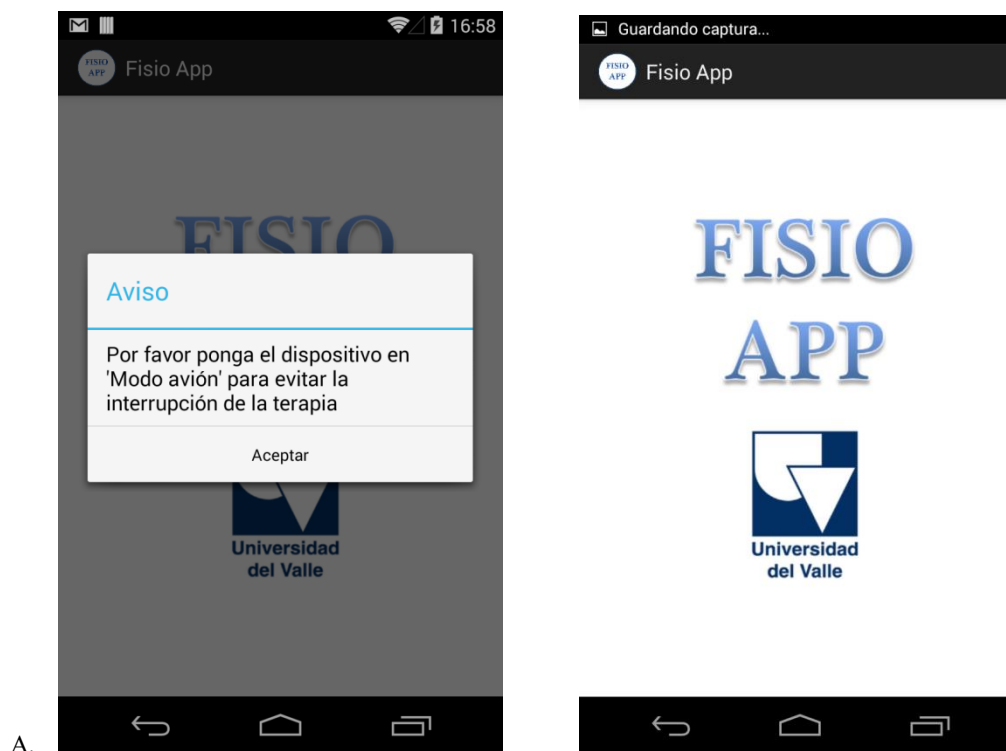
Sección 6

Pruebas funcionales aplicación móvil.

Prueba de funcionamiento: Aplicación Móvil	
Requerimientos: • Ingreso al sistema mediante autenticación, selección de terapia y visualización de información de la misma. • Permitir, en compañía del especialista, la parametrización de la terapia a realizar. • Permitir la realización de la terapia asignada y el envío de información de la misma al final de cada sesión • Permitir la revisión de estadísticas de amplitud y velocidad de las sesiones realizadas.	
Hardware requerido	Dispositivo móvil y Pc Servidor
Software Requerido	Aplicación móvil –Servidor (Apache-MySQL).
Objetivo	Probar las funcionalidades de la aplicación móvil teniendo en cuenta la sesión asignada en la sección anterior.
Tareas de inicio de sesión y revisión de datos de la terapia asignada	
Objetivo	Probar el correcto funcionamiento de las tareas relacionadas con la conexión del dispositivo a la base de datos, el inicio de sesión por parte del paciente y la revisión de la información de la terapia asignada.
Datos de la prueba	Se utilizaran los datos del paciente previamente creado: Luke Skywalker, al cual se le asignaron los siguientes datos de sesión: • Usuario: lucky • Contraseña: 1234
Procedimiento	1. Se abre la aplicación y se ingresan los datos de inicio de sesión asignados. 2. Se selecciona la terapia a realizar y se revisa la información de ejecución de la misma.
Resultado esperado	1. Si no hay conexión con la base de datos o si los datos de sesión son erróneos la aplicación lo informará. 2. La aplicación debe conectarse a la base de datos y mostrar toda la información

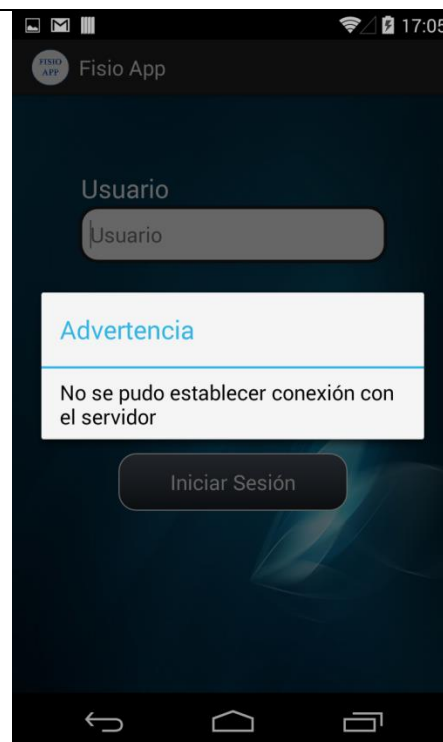
	asociada a la terapia asignada al paciente.
Resultado obtenido	Prueba exitosa, a continuación se detallan los resultados. Las capturas corresponden a los siguientes eventos: A. Si el “Modo avión” no está activado la aplicación lo hace saber, posteriormente muestra la pantalla de bienvenida. B. Pantalla de inicio de sesión durante la autenticación de los datos, debido a que no había conexión con el servidor se informó de la situación C. Una vez se logra la conexión se presenta la pantalla de sesión de usuario con algunos datos personales del paciente D. Luego de presionar el botón <i>seleccionar terapia</i>, se muestran las terapias asignadas, se escoge una y se presiona el botón <i>OK</i>. E. Se despliega el menú de la terapia asignada. F. Luego de presionar el botón <i>información general</i> se muestran datos de la terapia asignada.

Capturas de resultados

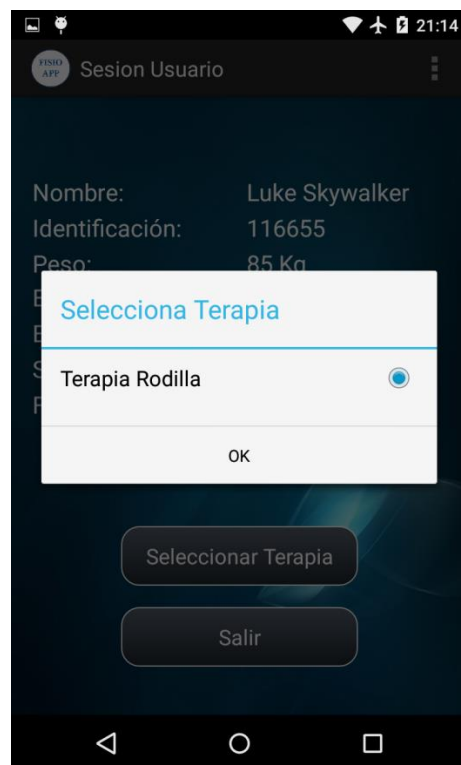




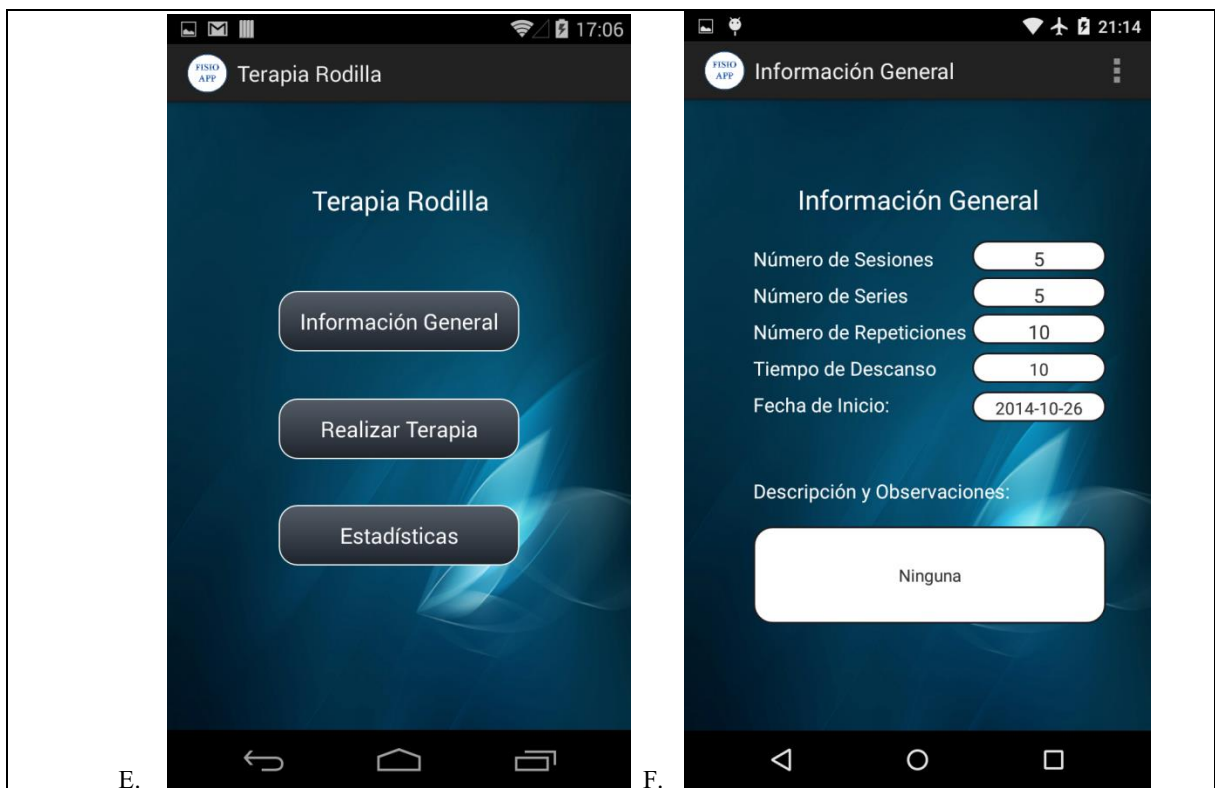
B.



C.



D.

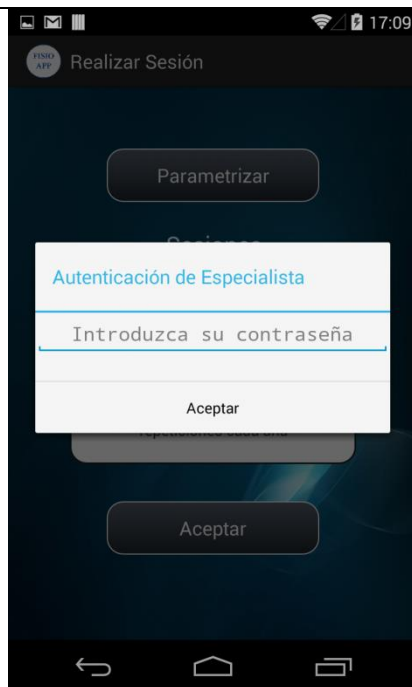


Tareas de parametrización de la terapia asignada	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento de la herramienta a la hora de Parametrizar la terapia asignada, dicha tarea permite obtener los parámetros de amplitud y velocidad aceptables durante la futura realización de la terapia.
Datos de la prueba	N/A
Procedimiento	1. Se ingresa al menú de <i>realización de sesión</i> 2. Se presiona el botón <i>parametrizar</i>, se ingresa la contraseña del especialista y se siguen las instrucciones para parametrizar la terapia. 3. Una vez terminado el proceso se envía la información a la base de datos
Resultado esperado	1. Si se intenta realizar una sesión antes de parametrizar la terapia, la aplicación debe impedirlo. 2. Una vez presionado el botón <i>parametrizar</i> y validada la contraseña del especialista se deben mostrar las instrucciones para llevar a cabo el proceso de parametrización. 3. Finalmente debe poder enviarse la información de dicho proceso a la base de datos.

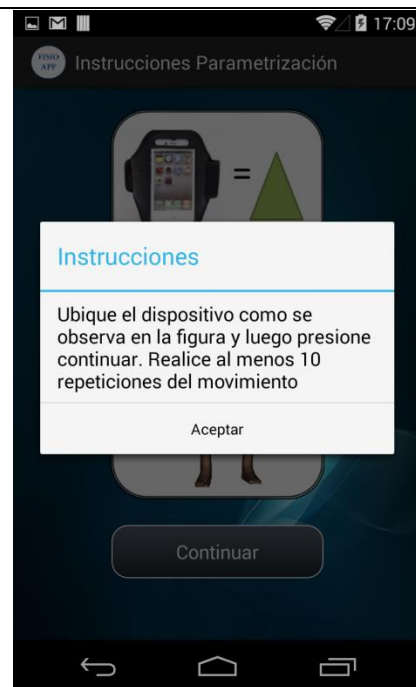
Resultado Obtenido	Prueba Exitosa: A continuación se presentan las capturas de pantalla que evidencian el resultado de la prueba. Las imágenes corresponden las siguientes eventos: - Muestra la pantalla de realización de sesión. - Advertencia de la aplicación si se intenta realizar una sesión sin haber llevado a cabo la parametrización de la terapia. - Luego de presionar el botón <i>parametrizar</i> se solicita la contraseña del especialista (1234). - Se despliegan las instrucciones para la parametrización. - Luego de presionar el botón <i>aceptar</i> de la ventana emergente se muestran las instrucciones de ubicación del dispositivo. - Se despliega un botón que cubre toda la pantalla esperando la señal de inicio por parte del paciente. - Se muestra el botón <i>finalizar captura</i> en el centro de la pantalla mientras se realizan los movimientos. - Una vez presionado <i>finalizar captura</i>, se muestra la pantalla de fin de parametrización. - Si se escoge el botón reiniciar, la aplicación advierte que se perderán los datos tomados. - Luego de presionar el botón <i>guardar información</i> la aplicación indica el éxito de la operación.
----------------------------------	--

Capturas de resultados





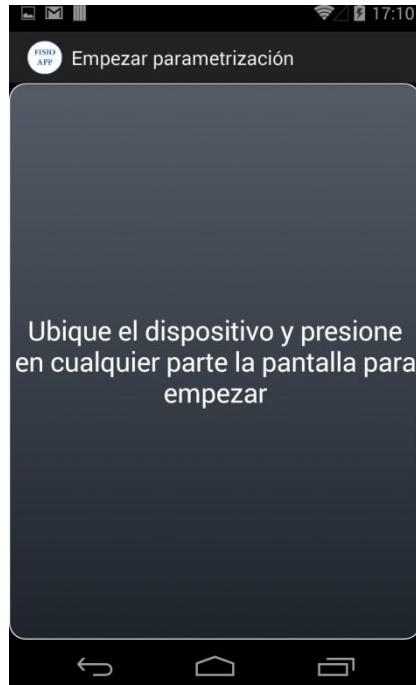
C.



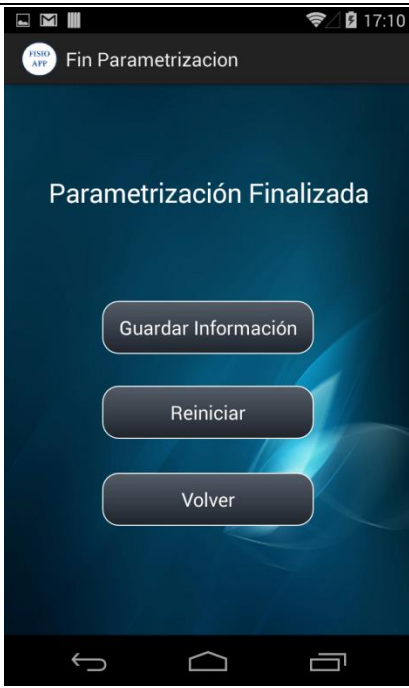
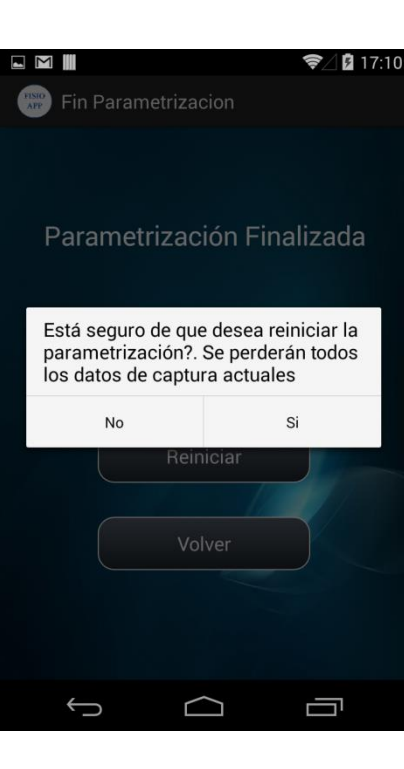
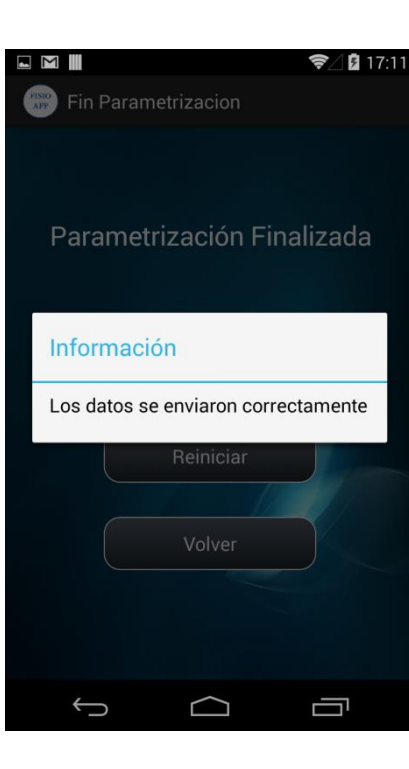
D.



E.



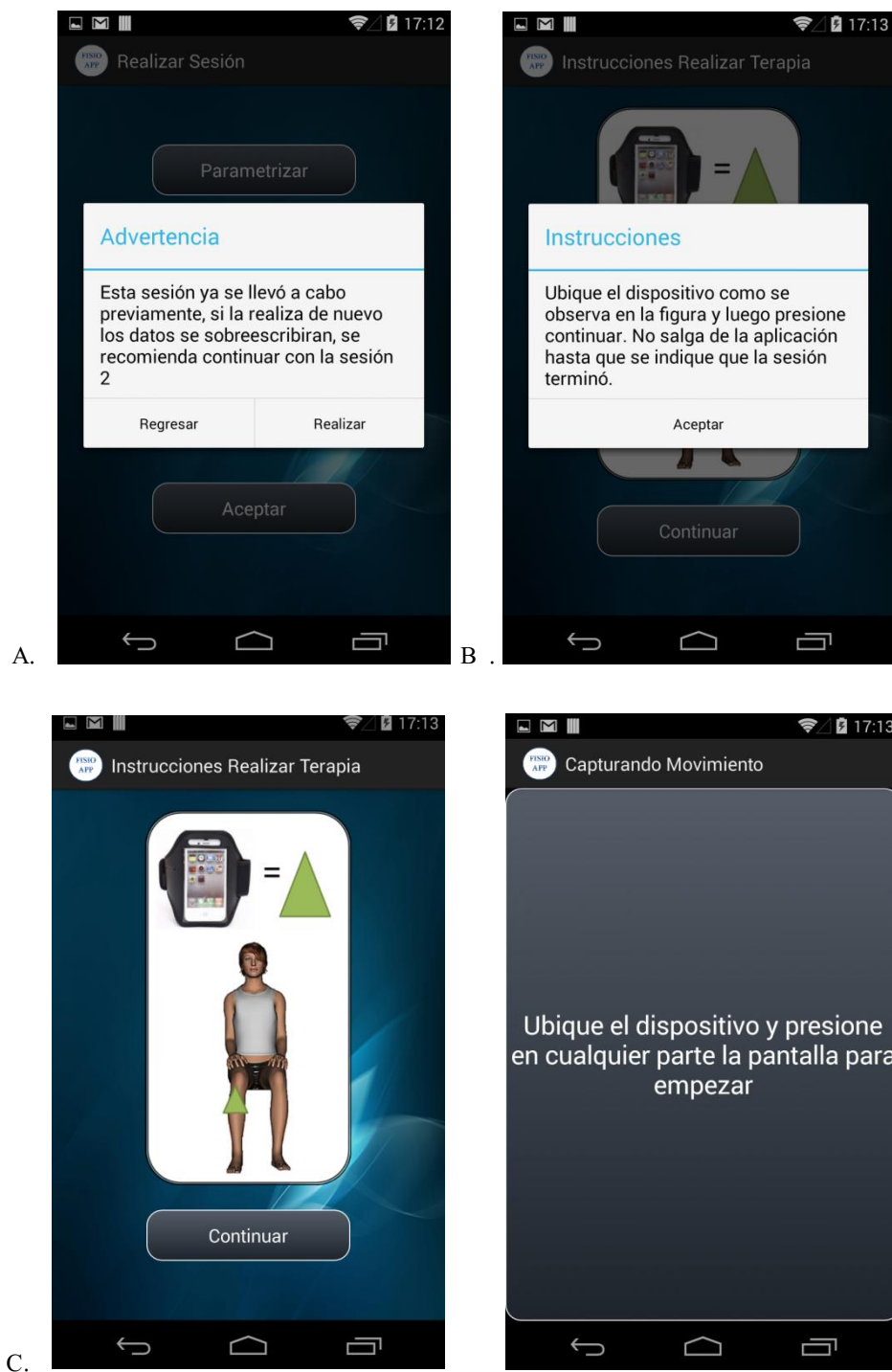
F.

	 G.	 H.
	 I.	 J.
Tareas de realización de las sesiones de la terapia asignada y envío de información		
Objetivo	Probar el adecuado funcionamiento de las funciones de asistencia a la hora de realizar las diferentes sesiones, las cuales consisten en alertas sonoras cuando los ejercicios exceden los límites de velocidad y amplitud fijados durante la parametrización. Asimismo se	

	espera comprobar el correcto funcionamiento de los contadores de repetición y serie y el cronometro del tiempo de descanso.
Datos de la prueba	Se realiza la segunda de las 5 sesiones asignadas, la cual consta de 5 series de 10 repeticiones cada una.
Procedimiento	1. Se presiona el botón realizar sesión y se siguen las instrucciones. 2. Una vez finalizada la sesión se envía la información a la base de datos
Resultado esperado	1. Las alertas sonoras indicando que se alcanzan los límites inferior y superior del ejercicio se emiten adecuadamente. 2. Las alertas sonoras de advertencia se emiten adecuadamente cada vez que se superan los umbrales fijados durante la parametrización. 3. En cuanto empiece el tiempo de descanso debe aparecer un cronometro indicado cuanto tiempo resta. 4. Durante la realización de la terapia se muestra el número de repetición y de serie en curso. 5. Una vez terminada la sesión y enviados los datos la aplicación debe informar sobre el éxito de la operación.
Resultado Obtenido	Prueba exitosa. A continuación se presentan las capturas que evidencian su funcionamiento: A. Si se desea realizar una sesión previamente llevada a cabo la aplicación lo informa y sugiere la sesión a realizar. B. Muestra las instrucciones desplegadas por la aplicación luego de presionar el botón <i>realizar sesión</i>. C. Luego de presionar el botón aceptar se muestran las instrucciones de ubicación del dispositivo y posteriormente el botón de inicio que cubre toda la pantalla (Los mismos de la etapa de parametrización). D. Durante la realización de la sesión se emitieron adecuadamente las alarmas de alcance de umbrales permitidos, los sonidos de error cuando estos eran superados, la sonido de reloj cuando empezaban los últimos 10 segundos del tiempo de descanso y el sonido de campanas indicado el final de cada una de las series y de los tiempos de descanso. Se muestra la información de los contadores de serie, repetición y del cronómetro al final de los descansos. E. Muestra la pantalla de sesión finalizada. F. Muestra el mensaje del éxito de envío de información luego de presionar el botón <i>guardar información</i>. G. Si se intenta enviar la información de nuevo aparece una alerta indicando que el proceso ya se llevó a cabo. H. Si se presiona el botón <i>reiniciar</i> la aplicación informa que esto implicará la

pérdida de los datos previamente obtenidos.

Capturas de resultados



D.

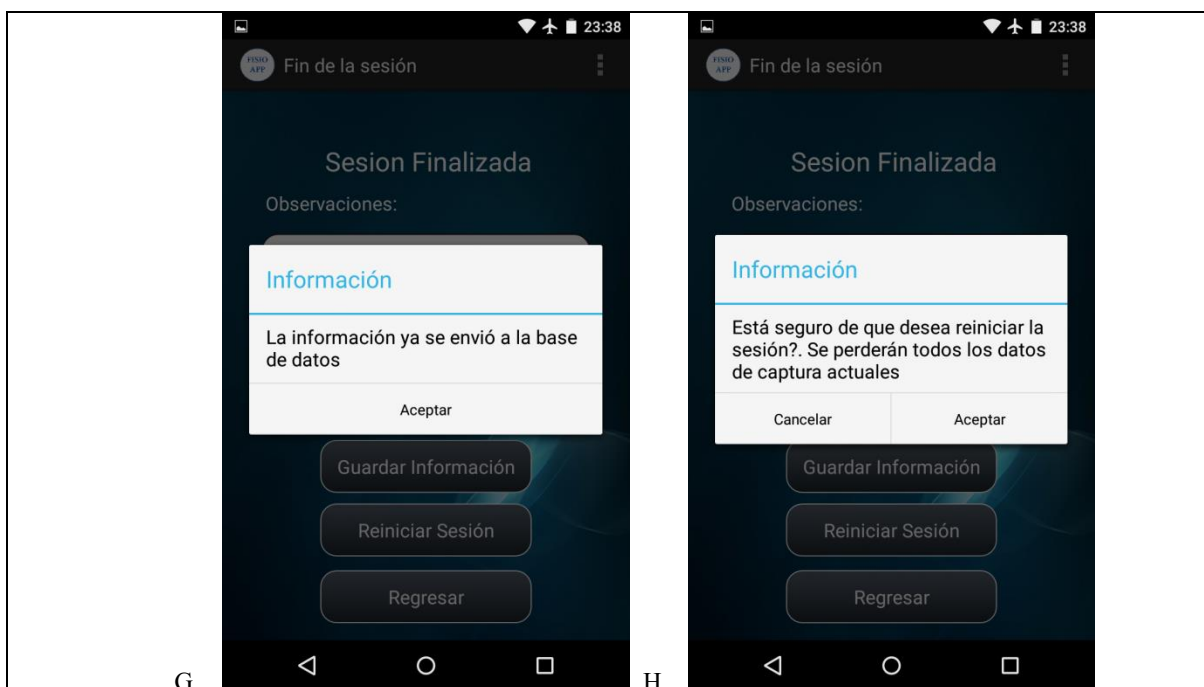


E.



F.





G.

H.

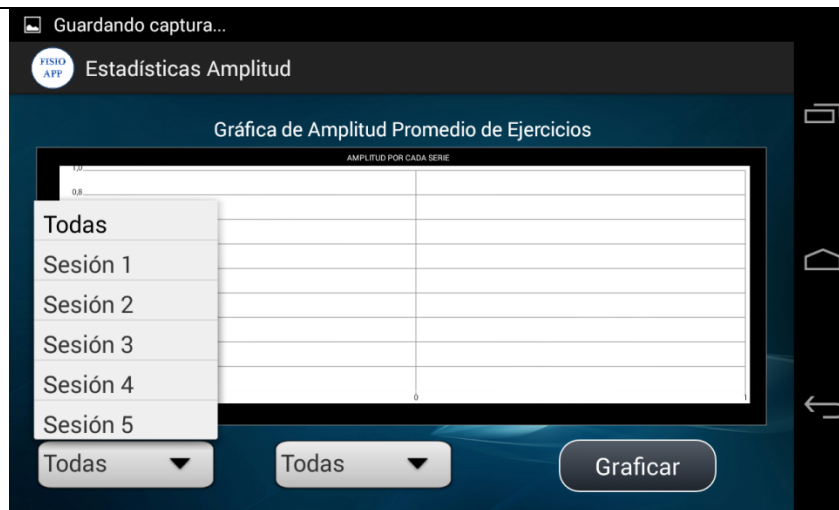
Tareas de revisión de estadísticas de amplitud y velocidad de los ejercicios.	
Objetivo	Probar las funciones que permiten traer la información estadística desde la base de datos y graficarla en función de las consultas hechas por el usuario.
Datos de la prueba	Se usan los datos correspondientes a la terapia finalizada del paciente creado en las pruebas anteriores. Éste tenía asignada una terapia que consta de 5 sesiones de 5 series y 10 repeticiones cada una.
Procedimiento	1. Se ingresa al menú de <i>Estadísticas</i> en el menú de la terapia. 2. Se escoge el botón de <i>amplitud</i>. 3. Se escoge ver todas las sesiones de la terapia asignada y se presiona el botón <i>graficar</i>. 4. Se escoge ver todas las series de una de las sesiones y se presiona el botón <i>graficar</i>. 5. Se escoge una de las series con el fin de ver información de cada una de las repeticiones y se presiona el botón <i>graficar</i>. 6. Se realiza un procedimiento similar para el caso de las estadísticas de velocidad.
Resultado esperado	1. Las gráficas deben mostrar los datos de amplitud máxima y mínima en cada consulta realizada (sesión, serie o repetición). 2. Las gráficas deben mostrar la información de velocidad en función de la consulta realizada.
Resultado obtenido	Prueba exitosa, la aplicación muestra adecuadamente los resultados en pantalla y solo se

	despliegan las sesiones ya realizadas. Las capturas a continuación evidencian su funcionamiento. E. Muestra el menú de estadísticas de la aplicación. F. Muestra en la pantalla de estadísticas de amplitud las sesiones disponibles a graficar. G. Muestra la gráfica de amplitud máxima y mínima de cada una de las sesiones realizadas. H. Muestra la gráfica de amplitud máxima y mínima de todas las series de la sesión escogida I. Muestra la gráfica de amplitud máxima y mínima de todas las repeticiones de una de las series escogidas. J. Muestra la gráfica de velocidad de cada una de las repeticiones de una de las series correspondiente a la sesión 5.
--	--

Capturas de resultados

A.





B.



C.



D.



E.



F.

Sección 7

Manual de usuario: aplicación web

INSTALACIÓN:

El primer paso en el uso de la aplicación web consiste en la instalación y puesta en marcha del servidor y la importación de la base de datos en un host local (Una vez ésta página este corriendo dese un servicio de hosting, la instalación no será necesaria.). A continuación se describen los pasos para su correcta instalación y configuración:

1. Descargar servidor XAMPP desde el sitio web <https://www.apachefriends.org/index.html>
2. Ejecutar el instalador y abrir el panel de control al final
3. En el panel de control marcar las opciones de “Servicio” para los módulos Apache y MySQL, de ésta forma el servidor se levantará cada vez que arranque el equipo. Asimismo se debe presionar el botón de Start con el fin de iniciarlos por primera vez. Ilustración 1.

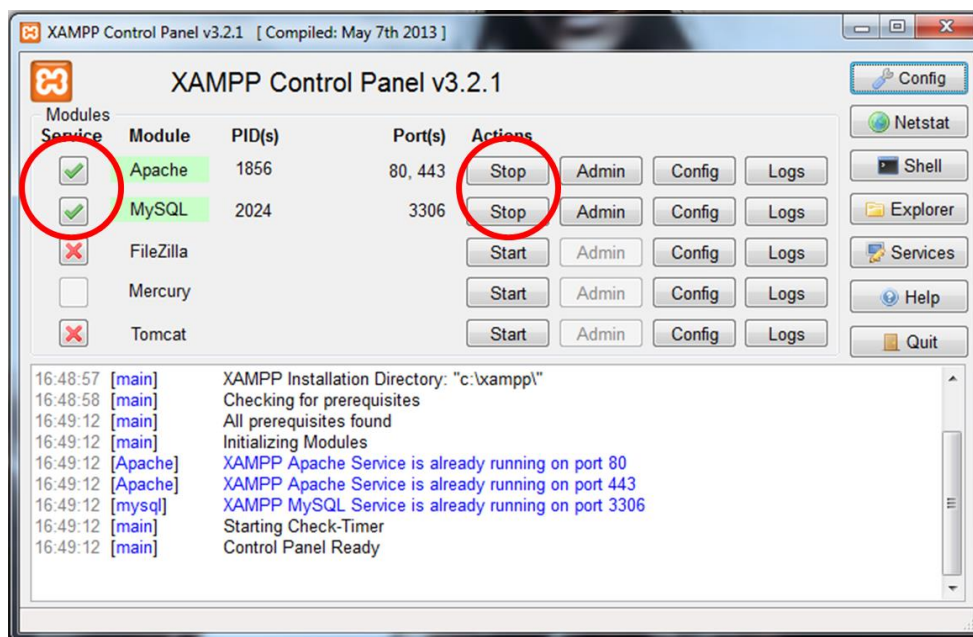


Ilustración 1. Panel de control XAMPP

4. Posteriormente abrir el navegador e ir al sitio <http://localhost/xampp/>
5. Entrar a la sección phpMyAdmin.



Ilustración 2. <http://localhost>

6. En la página de inicio buscar seleccionar la base de datos mysql. Ilustración 3.

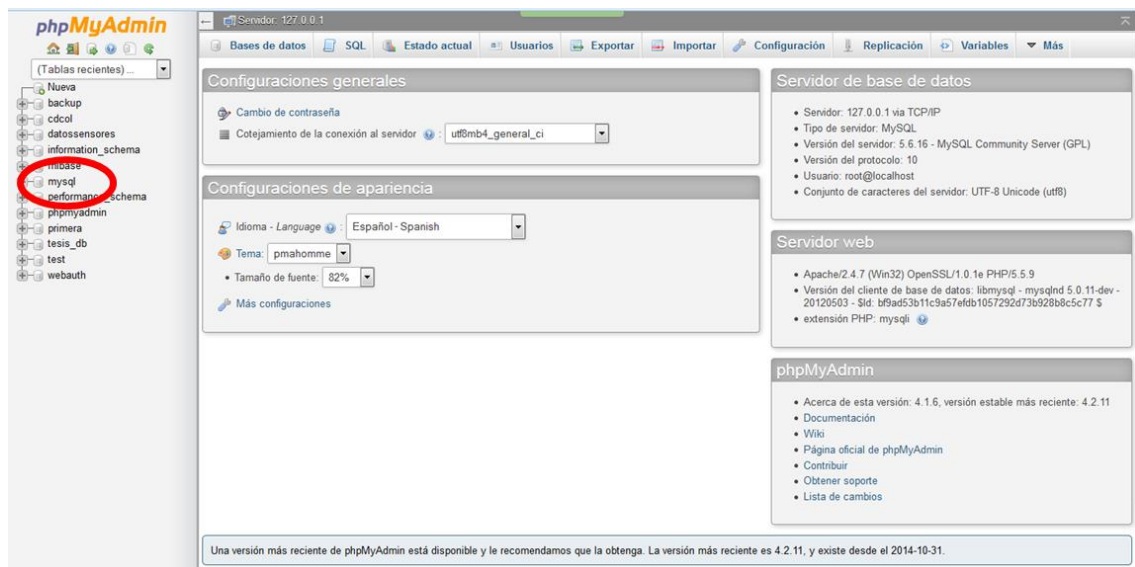


Ilustración 3. Página de inicio phpMyAdmin

7. Ir a la tabla **users** seleccionar a todos aquellos usuarios que tengan en blanco el campo **User** y luego borrarlos. Ilustración 4

Show: Start row: 0 Number of rows: 30 Headers every 100 rows

Sort by key: None

+ Options

	Host	User	Password	Select_priv	Insert_priv	Update_priv	Delete_priv	Create_priv	Drop_priv	Reload_priv	Shutdown_priv	Process_priv
☐ Edit Copy Delete	localhost	root		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
☐ Edit Copy Delete	linux	root		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
☒ Edit Copy Delete	localhost			N	N	N	N	N	N	N	N	N
☒ Edit Copy Delete	linux			N	N	N	N	N	N	N	N	N
☐ Edit Copy Delete	localhost	pma		N	N	N	N	N	N	N	N	N

Ilustración 4. Eliminación de usuarios inválidos.

8. Seleccionar el usuario *localhost* (root) y presionar el botón **edit**
9. Seleccionar el campo **password**, ingresar una contraseña y presionar el botón **go** al final de la página. Ilustración 5.

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar Exportar Importar Privilegios Operaciones

Columna	Tipo	Función	Nulo	Valor
Host	char(60)			localhost
User	char(16)			root
Password	char(41)			micontrasena

Ilustración 5

10. En el menú de la izquierda presionar el botón **Nueva** para crear una nueva base de datos. Ponerle el nombre de *tesis_db*. Ilustración 6

phpMyAdmin

Servidor: 127.0.0.1

Bases de datos SQL Estado actual Usuarios Exportar

Bases de datos

Crear base de datos

tesis_db Cotejamiento **Crear**

Nota: Activar aquí las estadísticas de la base de datos podría causar tráfico pesado en el servidor.

Base de datos Cotejamiento

backup latin1_swedish_ci Comprobar los privilegios

cdcol latin1_general_ci Comprobar los privilegios

Ilustración 6. Creación de la base de datos.

11. Hacer click en el botón importar y buscar el archivo llamado **tesis_db**. Luego presionar el botón **continuar**.

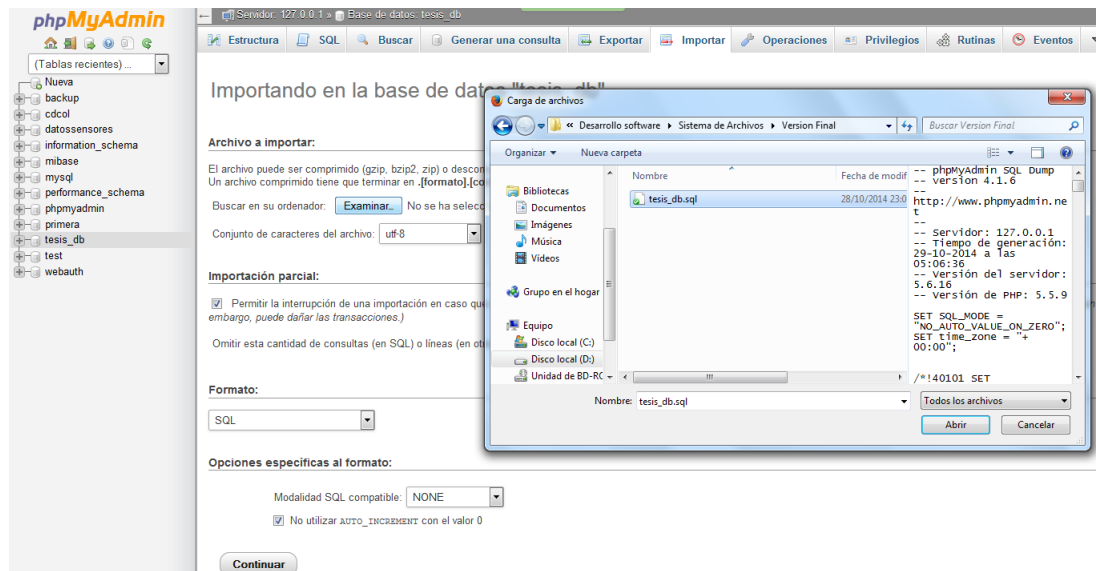


Ilustración 7. Importación de la base de datos.

12. Al final debe tenerse un resultado como el de la Ilustración 8

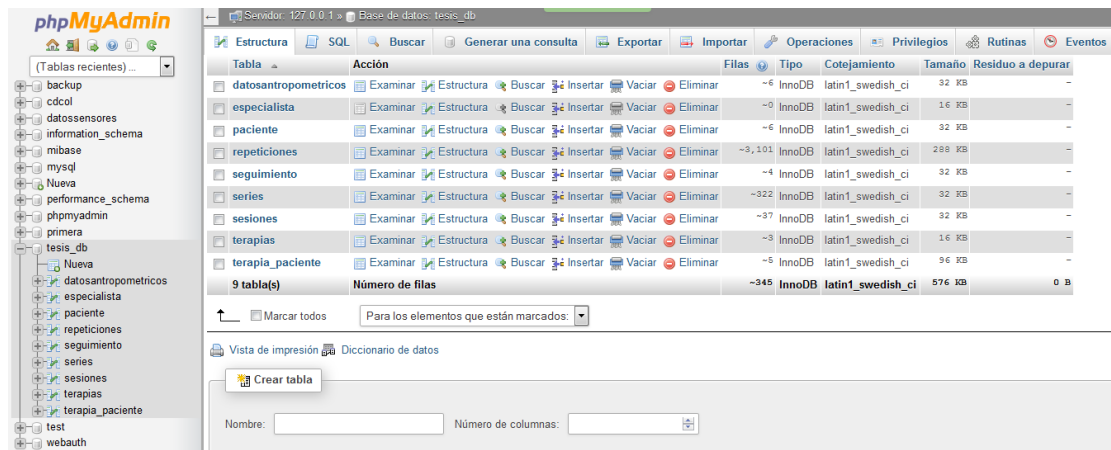


Ilustración 8. Base de datos correctamente importada.

13. Se hace click en la pestaña SQL y se digitan los comandos que se muestran en la Ilustración 9. Donde el campo *password* corresponde a la contraseña previamente asignada.

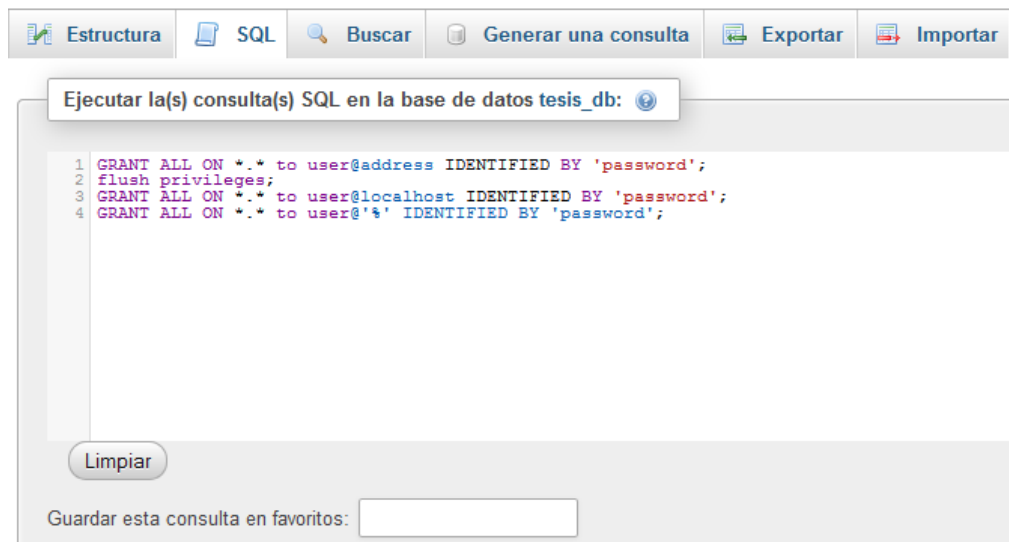


Ilustración 9. Garantizar permisos sobre la base de datos.

14. Ir al directorio **C:\xampp\phpmyadmin** y abrir el archivo de configuración **config.inc.php**. Buscar la sección *Authentication type and info* y cambiar los siguientes valores (recordar que el campo *password* va la contraseña antes definida). Ilustración 10:

```

-$cfg['Servers'][$i]['auth_type'] = "";
-A $cfg['Servers'][$i]['auth_type'] = 'cookie';
-$cfg['Servers'][$i]['password'] = "";
-To $cfg['Servers'][$i]['password'] = '1234';
-$cfg['Servers'][$i]['AllowNoPassword'] = true;
-A $cfg['Servers'][$i]['AllowNoPassword'] = false;

```

```

/* Authentication type and info */
$cfg['Servers'][$i]['auth_type'] = 'cookie';
$cfg['Servers'][$i]['user'] = 'root';
$cfg['Servers'][$i]['password'] = 'caramelo';
$cfg['Servers'][$i]['extension'] = 'mysqli';
$cfg['Servers'][$i]['AllowNoPassword'] = false;
$cfg['Lang'] = '';

```

Ilustración 10. Modificación del archivo de configuración

15. Finalmente se debe copiar toda la carpeta **AplicacionWebFisio** en la ruta **C:\xampp\htdocs**.

MANUAL DE USO:

En esta sección se describe la manera de emplear las principales funcionalidades con las que cuenta la aplicación web. Inicialmente se muestra como llevar a cabo las tareas de administración de usuarios (crear paciente, modificar paciente y eliminar paciente) y posteriormente se ilustra cómo realizar la revisión de las estadísticas de cada uno.

1. Tareas de administración de usuarios:

Luego de ingresar al sitio <https://aplicacionwebfisio/> si la página se encuentra alojada en un host local (o al sitio www.fisioappuv.890m.com en el caso del hosting gratuito que se ha usado temporalmente), se desplegará la pantalla de inicio de sesión que se observa en la Ilustración 11. Aquí se debe ingresar el nombre de usuario y la contraseña asignada a cada especialista.

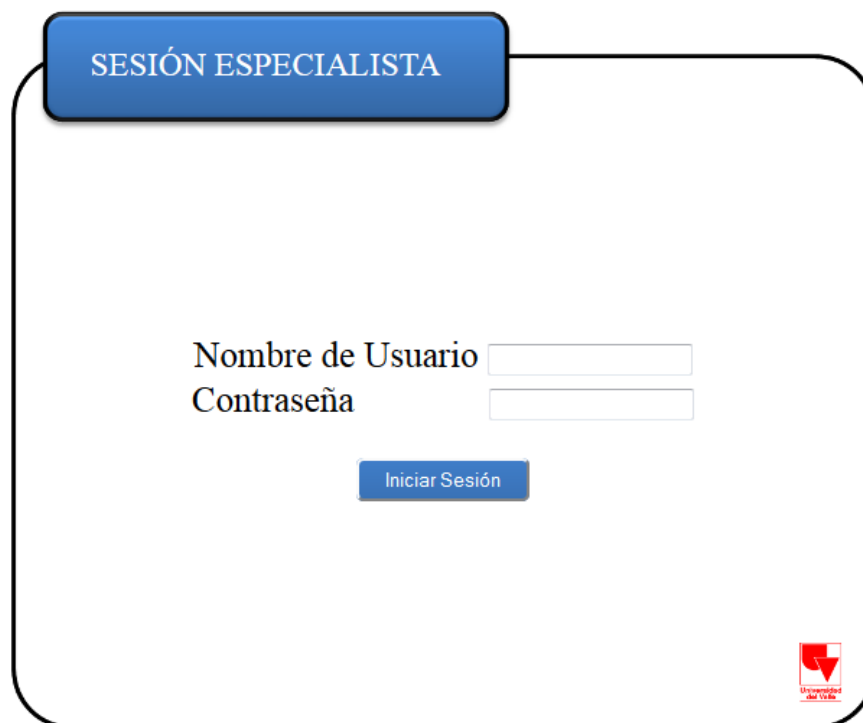


Ilustración 11. Pantalla de inicio de sesión.

Posterior a la autenticación se desplegará el menú principal donde el especialista podrá escoger entre agregar un nuevo paciente, revisar las estadísticas y modificar la información de uno existente o finalmente, eliminarlo de la base de datos. Ver Ilustración 12.

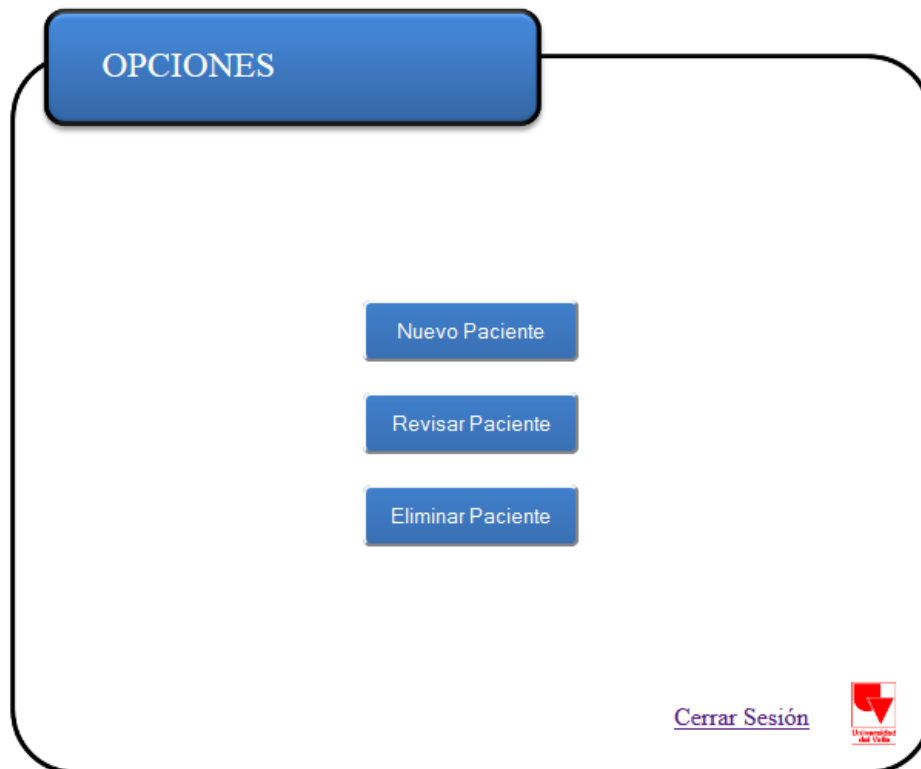


Ilustración 12. Menú principal de la aplicación web.

1.1. Agregar paciente: Con el fin de agregar un nuevo paciente a la base de datos, se debe escoger la opción *Nuevo Paciente* del menú principal, acto seguido se desplegará la pantalla de la Ilustración 13 en donde deberán llenarse los campos desplegados. Los campos marcados con el símbolo “*” se deben rellenar obligatoriamente, de lo contrario el paciente no podrá ingresarse en el sistema de archivos y la página web lo hará saber. Debe recordarse que una terapia de fisioterapia está compuesta por sesiones, que a su vez están compuestas por series de n repeticiones cada una. Los tiempos de descanso corresponden al tiempo que hay entre serie y serie. Una vez finalizado el formulario se debe presionar el botón “*Guardar Datos*” y posteriormente luego de recibir la confirmación del éxito de la operación, se debe presionar el botón *volver* para regresar al menú principal.

Información Paciente

Nombre:*
Apellidos:*
Identificación:
Estatura (cm):
Peso (Kg):
Sexo: Masculino
Edad:
Usuario:*
Contraseña:*

Información Terapia

Número de sesiones:*
Número de series:*
Número de repeticiones:*
Tiempos de descanso (s):*
Fecha de inicio:
Terapia:

Comentarios

Diagnostico

Tratamiento

Observaciones

Guardar Datos

Volver

Ilustración 13. Ventana de registro de un nuevo paciente.

1.2. Modificar paciente: Para modificar los datos personales de un paciente, desde el menú principal se debe ingresar a la opción *revisar paciente*, posteriormente, en el menú de revisión de estadísticas (ver Ilustración 14) se debe seleccionar a un paciente mediante la pestaña desplegable del menú ubicado a la izquierda y posteriormente presionar e botón *Datos personales*.

ESTADÍSTICAS DEL PACIENTE

Velocidad

Amplitud

Datos Personales

Guardar

Volver

Datos correspondientes a

Datos de Terapia

Paciente: Seleccional
Nombre: Seleccional
Apellidos: Obi Wan Kenobi
Fecha Inicio: Leia Skywalker
Terapia: Darth Vader
Series: Han Solo
Repeticiones: prueba prueba
Luke Skywalker

Seleccionar Sesión

Seleccionar Serie

Observaciones de Consulta

Observaciones de la Sesión

Todas

Todas

Seleccionar

Ilustración 14. Selección del paciente a modificar.

Posterior a esto se despliega la ventana de la Ilustración 13, solo que ésta vez con todos los campos llenos correspondientes al paciente consultado. Una vez hechas las modificaciones necesarias se presiona el botón *actualizar datos* y luego de recibir la confirmación del éxito del proceso se presiona el botón *volver*. Una vez en la pantalla de *revisión de estadísticas*, se presiona el botón *volver* nuevamente, para regresar al menú principal.

1.3. Eliminar paciente: Desde el menú principal se escoge la opción *eliminar paciente*, lo cual despliega la ventana de la Ilustración 15.

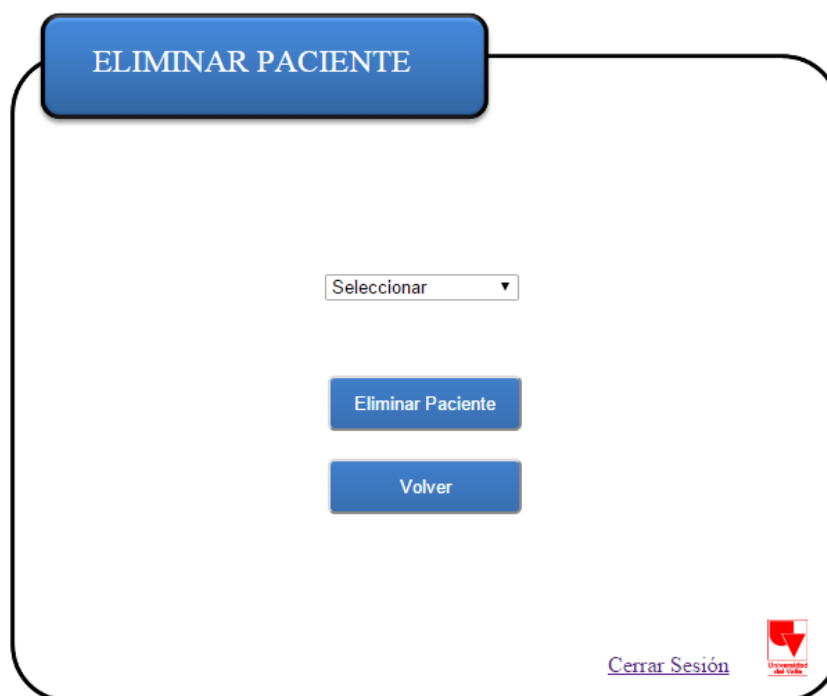


Ilustración 15. Pantalla de eliminación de pacientes.

Una vez aquí, mediante la pestaña desplegable (ver Ilustración 16) se escoge al paciente que se desea borrar y luego se presiona el botón eliminar. La página desplegará una ventana de confirmación y posteriormente se mostrará un mensaje indicando que el paciente se eliminó correctamente. Mediante el botón *volver* se regresa al menú principal.

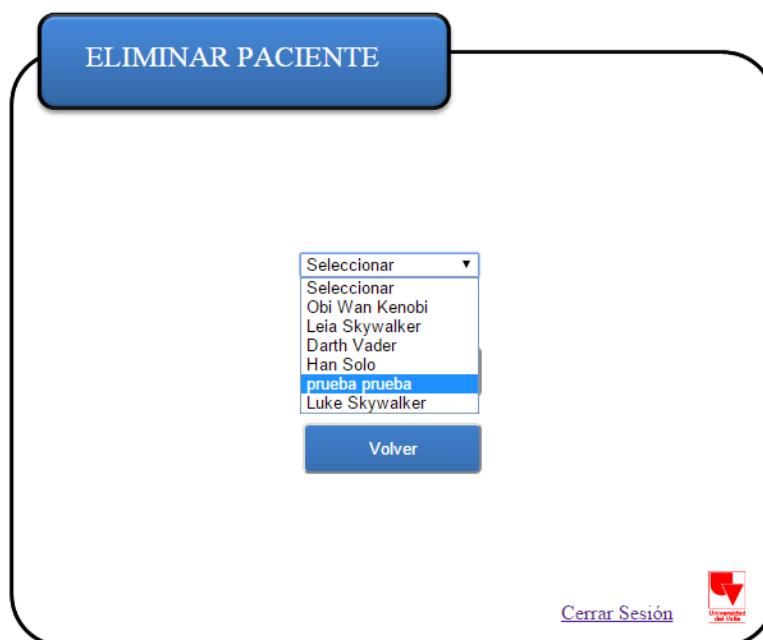


Ilustración 16. Menú desplegable para la eliminación de pacientes.

2. Tareas de revisión de estadísticas:

Para revisar la información de los ejercicios realizados por los pacientes, concemientes a las tareas asignadas, desde el menú principal se debe entrar a la pestaña de *revisar paciente* (Ilustración 12). Una vez en la pantalla de revisión de estadísticas se debe escoger el paciente y posteriormente, mediante las pestañas desplegables de la parte inferior, escoger la consulta que se desea realizar, es decir la serie o sesión específicas o simplemente dejarlo por defecto en el valor *Todas*. Una vez seleccionada la consulta deseada se debe presionar el botón *velocidad* o *amplitud* para que aparezca la gráfica en pantalla.

En cuanto a las consultas armadas mediante las pestañas inferiores, debe tenerse en cuenta que la pestaña *series* no se habilitará a menos que se haya seleccionado una sesión en particular, si dicho campo se encuentra en la opción *todas*, el capo de las series permanecerá con éste valor también. Las líneas negras, representan en todos los casos, los valores adecuados para cada una de las variables. Dichos datos son tomados durante la parametrización del ejercicio entre el especialista y el paciente.

Así, en el caso más general, es posible observar el valor promedio de amplitud (máxima y mínima) y de velocidad a lo largo de todas las sesiones llevadas a cabo por el paciente. Ver Ilustración 17.

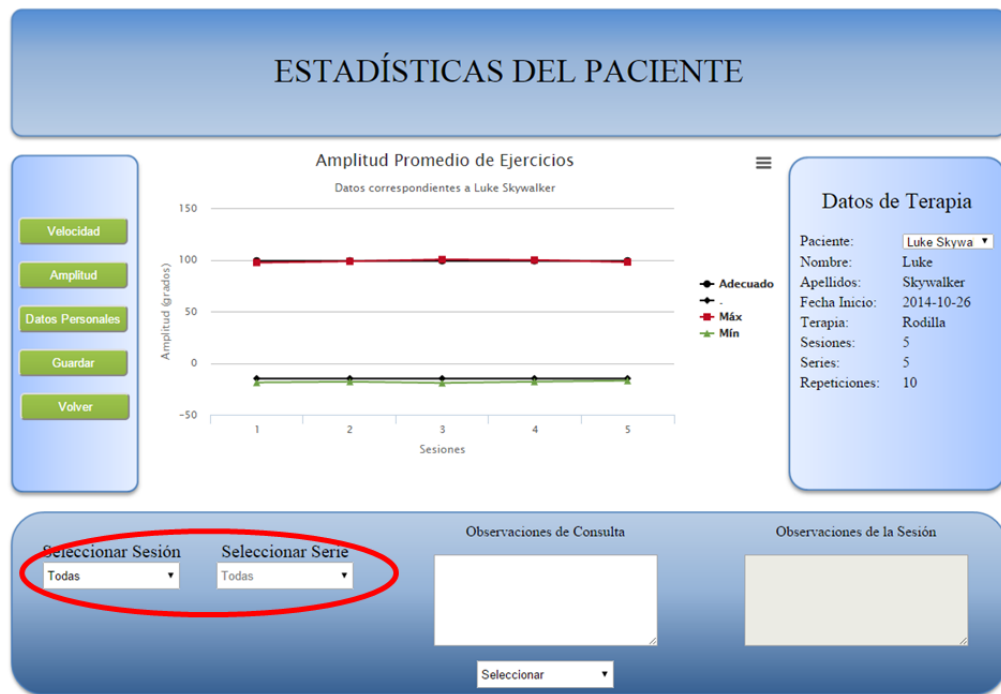


Ilustración 17. Amplitud promedio de los ejercicios del paciente a lo largo de todas las sesiones.

Asimismo se puede revisar el valor promedio de tales valores a lo largo de todas las series de una sesión en particular. Ver Ilustración 18.



Ilustración 18. Amplitud promedio de los ejercicios del paciente a lo largo de todas las series de la sesión 2.

Finalmente, y en el caso más específico, es posible observar el valor de tales variables durante cada una de las repeticiones de una serie escogida. Ver Ilustración 19.



Ilustración 19. Amplitud de los ejercicios del paciente a lo largo de todas las repeticiones de la serie 4 de la sesión 2

El especialista puede escribir observaciones en el campo *Observaciones de la consulta* y posteriormente almacenarlas presionando el botón *guardar* del menú ubicado a la izquierda. El especialista podrá revisar observaciones anteriores buscando en la pestaña desplegable bajo el cuadro *observaciones de la Consulta*.

El campo Observaciones de la sesión muestra los comentarios escritos por el paciente al final de cada una de las sesiones realizadas.

Sección 8

Manual de usuario: Aplicación móvil

INSTALACIÓN:

1. Se debe copiar el archivo **FisioApp.apk** al dispositivo.
2. Desde algún gestor de archivos (como ES File Explorer) abrir la carpeta donde se alojó el archivo, seleccionarlo y presionar **Instalar**. Ilustración 20.
3. Aceptar los permisos y presionar **Instalar**. Ilustración 20.

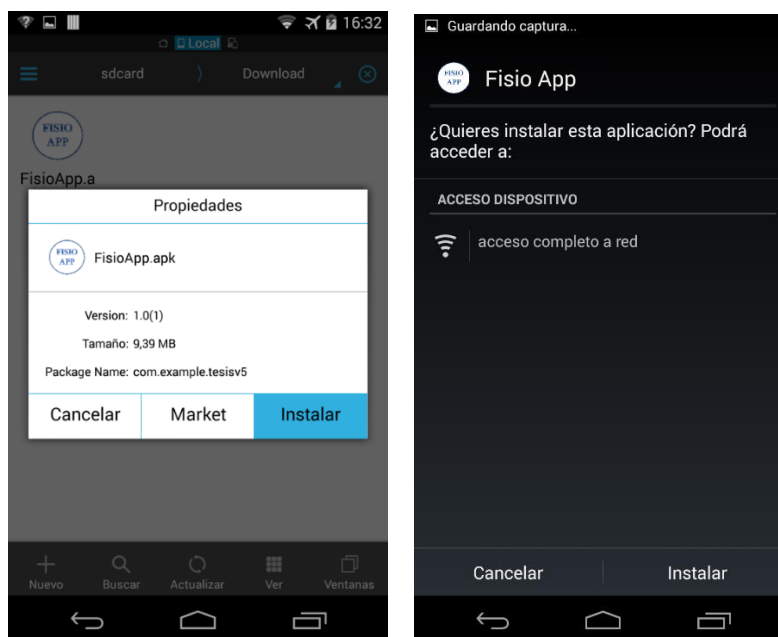


Ilustración 20. Instalación de aplicación móvil.

MANUAL DE USO

En esta sección se describe la forma de usar las principales funcionalidades con las que cuenta la aplicación móvil, la cual se puede dividir en tres partes principales: la parametrización de la terapia, la realización de la terapia y la revisión de estadísticas. Inicialmente se recomienda al usuario activar el “modo avión” en su Smartphone antes de hacer uso de la aplicación. Esto se debe a que una llamada entrante puede alterar los proceso de captura o envío de información que lleva a cabo la aplicación.

Una vez iniciada la aplicación el usuario debe ingresar el usuario y la contraseña que le asignó el especialista durante el registro y presionar el botón *iniciar sesión*. Posteriormente se desplegará la pantalla principal donde se debe presionar el botón *seleccionar terapia* para escoger la terapia y luego presionar el botón *ok* para ir al menú principal de la misma. Ver Ilustración 21.

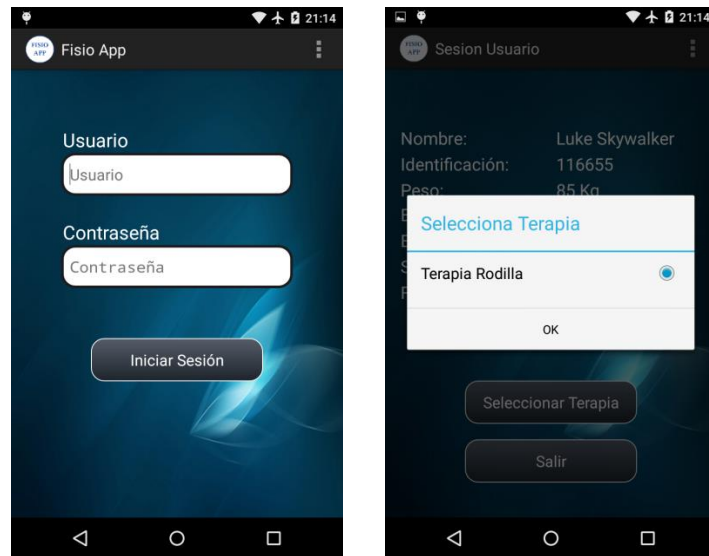


Ilustración 21. Pantalla de inicio de sesión y menú de selección de terapia

Una vez hecho esto se ingresa al menú principal de la terapia donde el usuario tiene la opción de revisar la información general de la misma, mirar las estadísticas de las sesiones ya realizadas o entrar a la ventana de *realizar sesión*. Ver Ilustración 22.

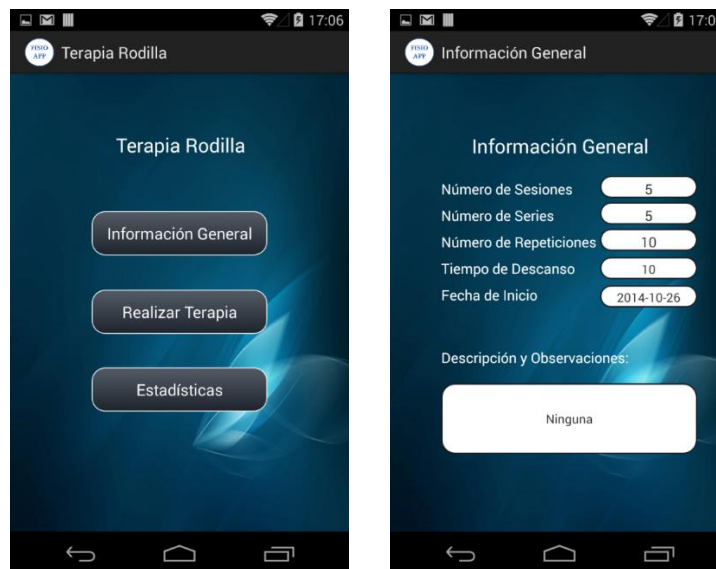


Ilustración 22. Menú principal de la terapia y pantalla de información general de la misma.

1. Parametrización de la terapia:

Antes de llevar a cabo la realización de las sesiones de la terapia asignada, es necesario que la aplicación aprenda cuáles serán los parámetros aceptables de velocidad y amplitud de los ejercicios a realizar. Este proceso debe llevarse a cabo en compañía del especialista pues la aplicación solicitará su contraseña para llevar la parametrización a cabo.

Desde el menú principal de la terapia se escoge la opción *parametrizar*, se ingresa la contraseña del fisioterapeuta y se presiona el botón *aceptar*. Ver Ilustración 23.

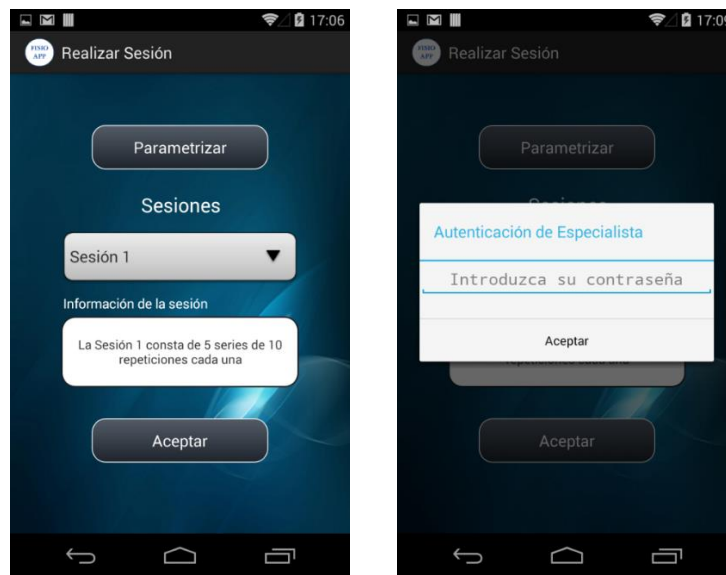


Ilustración 23. Pantalla de realización de sesión e ingreso a la parametrización de la terapia.

Una vez hecho esto, se despliegan las instrucciones de ubicación y realización del ejercicio, tal como se muestra en la Ilustración 24. Luego de presionar el botón *aceptar* de la ventana de instrucciones y posteriormente el botón *continuar*, se mostrará el botón que cubre toda la pantalla previo al inicio de la captura de información.

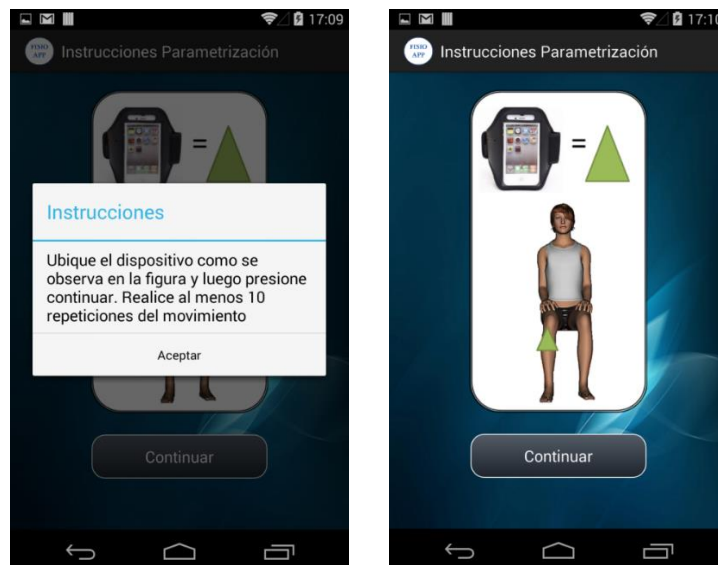


Ilustración 24. Instrucciones de ubicación del dispositivo.

Acto seguido se debe ubicar el dispositivo en el estuche y ponerlo alrededor de la extremidad tal como indican las imágenes, luego se debe presionar cualquier parte de la pantalla y realizar una serie de repeticiones del movimiento asignado (Ver Ilustración 25).



Ilustración 25. Botón que cubre toda la pantalla, previo al inicio de la captura de información.

La aplicación sugiere llevar a cabo al menos 10 repeticiones con el fin de que los umbrales adecuados se aprendan de mejor manera, sin embargo el algoritmo de reconocimiento es capaz de aprender con una o dos repeticiones solamente. Después de la realización de los movimientos se presiona el botón *finalizar captura* y en la pantalla de *fin de parametrización* se debe presionar el botón *guardar información* con el fin de procesar y almacenar los datos capturados. Ver Ilustración 26.

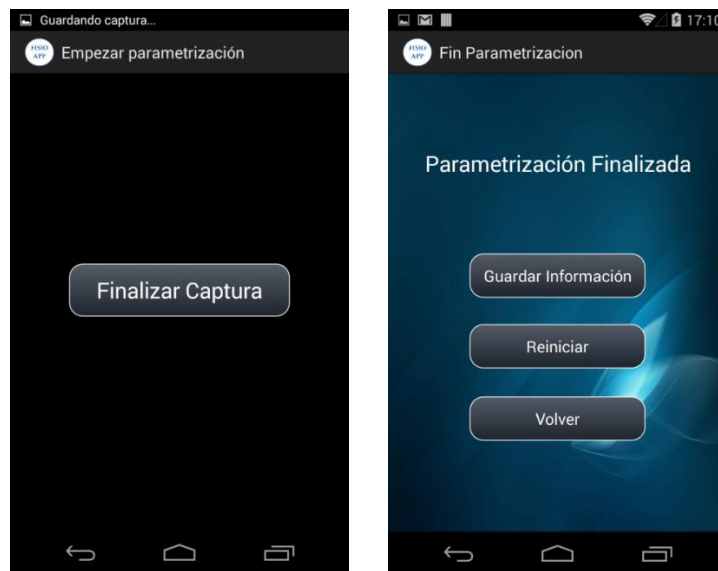


Ilustración 26. Pantalla durante la captura de información y menú de fin de parametrización.

2. Realización de la sesión:

Luego de haber parametrizado la terapia ya es posible para el paciente llevar a cabo la realización de las diferentes sesiones. Desde la pantalla de *realización de sesión* se debe escoger la sesión a realizar y luego presionar el botón aceptar. Inmediatamente se desplegarán las instrucciones de ubicación del dispositivo y luego de presionar el botón *aceptar* se debe ubicar el dispositivo en el estuche y presionar el botón continuar. Ver la secuencia de la Ilustración 27.

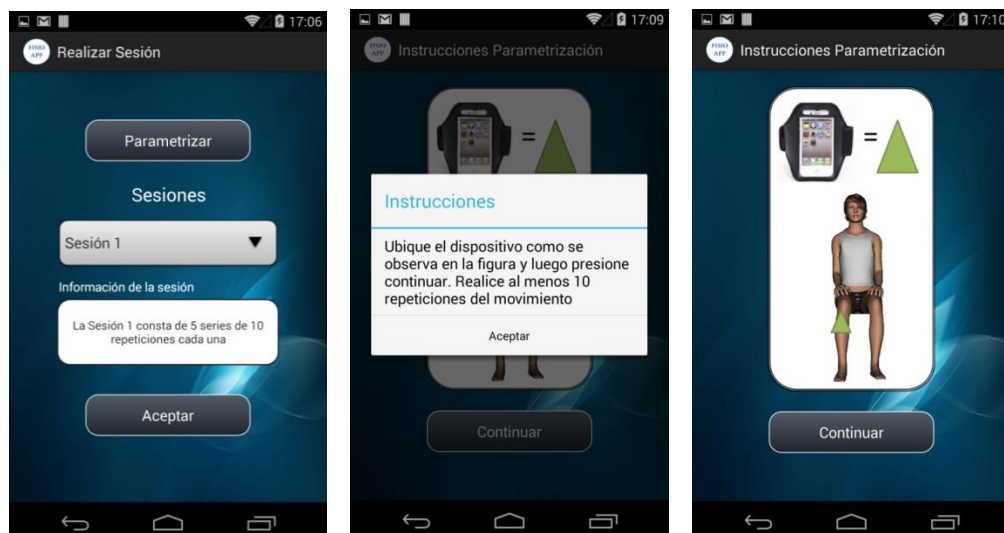


Ilustración 27. Secuencia de pasos para el inicio de la sesión escogida.

Hecho esto se mostrará el botón de la Ilustración 25, en este momento se debe ubicar el dispositivo alrededor de la extremidad y presionar en cualquier parte de la pantalla para iniciar la captura de información. Durante éste proceso se emitirán sonidos cada vez que se alcance el tope máximo y el tope mínimo del ejercicio, estos serán los indicadores de que la extremidad debe empezar a extenderse o a flexionarse. Así, el paciente empezará a extender la pierna hasta que escuche el sonido en cuyo momento debe empezar a flexionarla hasta escuchar nuevamente la alerta. Si el movimiento se sale de los rangos de amplitud o velocidad se escuchará una alarma de error. Cada vez que se complete una repetición la aplicación lo contará (ver Ilustración 28). Una vez terminadas el número de repeticiones asignadas por cada serie se escuchará un sonido de campanas indicando que la serie ha terminado y un cronometro se desplegará en pantalla indicado el tiempo de descanso (ver Ilustración 28).

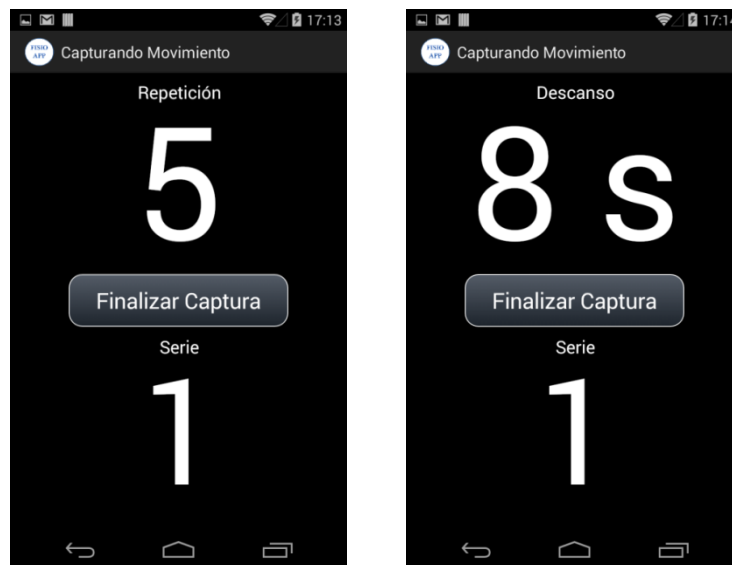


Ilustración 28. Conteo de las repeticiones de la serie y cronómetro durante el tiempo de descanso.

Durante los últimos 10 segundos del tiempo de descanso se escuchará un sonido de *tic-tac* alertando al paciente de que debe prepararse para realizar la siguiente serie. Al final del tiempo de descanso nuevamente se escuchará el sonido de campanas. Dicho sonido también se emitirá al terminar la totalidad de las series, en cuyo momento se desplegará la pantalla de final de sesión que se muestra en la Ilustración 29.

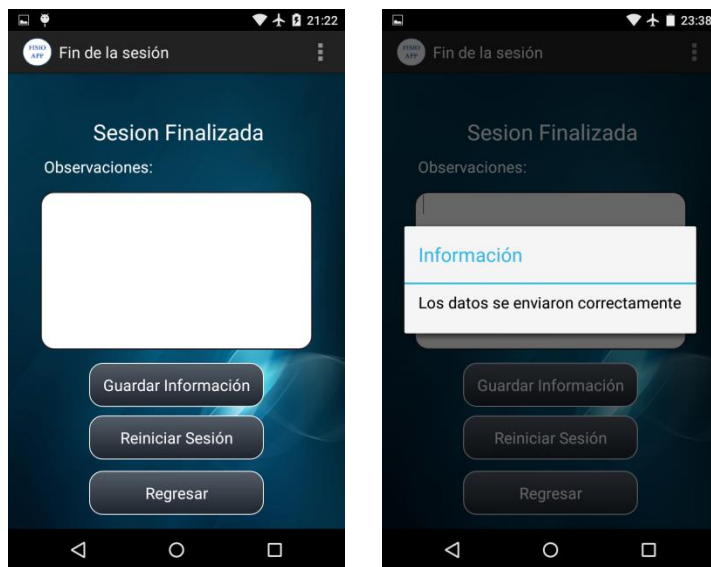


Ilustración 29. Menú de fin de sesión y envío de datos.

Una vez aquí, se puede escribir comentarios sobre la sesión si así se desea y posteriormente se debe presionar el botón *guardar información* para enviar los datos al sistema de archivos.

Cabe aclarar que en cualquier momento se puede presionar el botón *interrumpir captura* con el fin de pasar directamente a la pantalla de *sesión finalizada*, en cuyo caso no será posible guardar la información. Igualmente si el usuario lo desea, puede presionar el botón *reiniciar sesión* para volver a comenzar la realización de los ejercicios correspondientes.

3. Revisión de estadísticas

Con el fin de revisar las estadísticas de los ejercicios realizados, desde el menú principal de la terapia (Ilustración 22) se debe escoger la opción *Estadísticas* lo que desplegará la pantalla de la Ilustración 30.



Ilustración 30. Pantalla de selección de estadísticas.

Al escoger una de las dos opciones, se mostrará una pantalla similar a la de la Ilustración 31. Aquí se debe armar las consultas mediante las pestañas inferiores y luego presionar el botón graficar.



Ilustración 31. Pantalla de revisión de estadísticas.

Debe tenerse en cuenta que la pestaña *series* no se habilitará a menos que se haya seleccionado una sesión en particular, si dicho campo se encuentra en la opción *todas*, el capo de las series permanecerá con éste valor también. Las líneas negras, representan en todos los casos, los valores adecuados para cada una de las variables. Dichos datos son tomados durante la parametrización del ejercicio entre el especialista y el paciente.

Así, en el caso más general, es posible observar el valor promedio de amplitud (máxima y mínima) y de velocidad a lo largo de todas las sesiones llevadas a cabo por el paciente. Ver Ilustración 32.

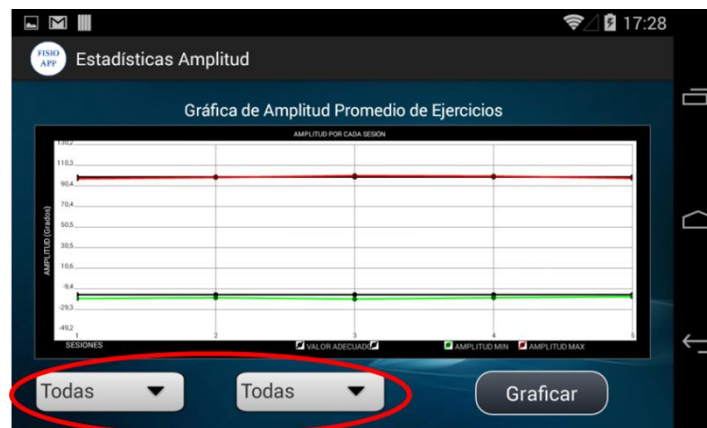


Ilustración 32. Revisión de todas las sesiones realizadas.

Asimismo se puede revisar el valor promedio de tales valores a lo largo de todas las series de una sesión en particular. Ver Ilustración 33.



Ilustración 33. Consulta de todas las series de la sesión 1.

Finalmente, y en el caso más específico, es posible observar el valor de tales variables durante cada una de las repeticiones de una serie escogida. Ver Ilustración 34. Ilustración 19.



Ilustración 34. Consulta de cada una de las repeticiones de la serie 1 durante la sesión 1.

Sección 9

Encuesta respondida por el especialista y el paciente luego de una sesión completa de fisioterapia.

Encuesta especialista:

ENCUESTA A PERSONAL DE REHABILITACIÓN: SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE KINESIOTERAPIA ACTIVA



Nombre: Gloria Arango Hoyos

Área de desempeño: Neurorehabilitación

Ocupación: Fisioterapeuta especialista en Neurorehabilitación.

Por favor responda las siguientes preguntas relacionadas con el uso del sistema de monitorización de actividades:

1. **¿Cómo considera el nivel de usabilidad del sistema? Califique de 1 a 10:**

10

2. **¿Le fue difícil realizar las tareas asignadas dentro del sistema?**

No

3. **¿Cree que este sistema puede ser implementado en la vida cotidiana?**

Si

4. **La interacción que tuvo con la interfaz del sistema. ¿Fue agradable?**

Si

5. **¿Qué le gustaría que tuviera la interfaz para hacerla más agradable?**
-

6. **¿Qué otras funciones se le pueden agregar al sistema?**

- Sería bueno poder realizar ajustes entre las sesiones de intervención en el consultorio, de acuerdo al comportamiento del paciente, visto en la aplicación web.

- También sería aconsejable poder hacer variaciones entre las diferentes sesiones para facilitar la progresión en el tratamiento.
-

7. ¿Cómo considera el nivel de funcionalidad del sistema? Califique del 0 al 10:

10

8. ¿Cómo considera que fue la velocidad del software? Califique con “Buena”, “Regular” y “Mala”:

Buena

9. ¿Qué características positivas pudo ver dentro del sistema (Aplicación móvil)?

- La posibilidad de práctica en la casa, con una retroalimentación constante del sistema que facilita la correcta ejecución de la actividad.
 - La facilidad de uso.
 - La posibilidad para el terapeuta de realizar un seguimiento objetivo del trabajo del paciente fuera del consultorio.
-

10. ¿Qué características negativas pudo ver dentro del sistema?

Ninguna

11. Escriba un comentario general sobre su experiencia en el uso de este sistema.

El sistema es una ayuda valiosa y sencilla para los procesos de rehabilitación, permitiendo un mejor seguimiento de las recomendaciones del terapeuta en el hogar y facilitando la correcta ejecución de las mismas. También contribuye a hacer más objetivos los registros de evolución.

12. ¿El sistema de registro de pacientes es lo suficientemente claro y contiene información relevante? Si, No, ¿por qué?

Si

13. ¿El sistema de revisión de pacientes es lo suficientemente intuitivo y muestra información clara y de interés para la evaluación de las terapias de los pacientes? Si, No, ¿por qué?

Si

14.¿Cree que la aplicación móvil proporciona un adecuado sistema de apoyo al paciente a la hora de realizar los ejercicios en su ausencia? Si, No, ¿Por qué?

Sí, porque suministra una información detallada de las indicaciones dadas por el terapeuta y lo retroalimenta en tiempo real sobre la ejecución de la actividad para poder hacer las correcciones y mejorar la misma.

15.¿Cree que la aplicación facilita el cumplimiento de los objetivos de la terapia? Si, No, ¿por qué?

Sí, porque contribuye al trabajo del paciente en el hogar, aspecto fundamental para garantizar el logro de los objetivos propuestos en rehabilitación en más corto tiempo y sin complicaciones

16.¿Qué características positivas pudo ver dentro del sistema (aplicación web)?

- La información suministrada es fácil de interpretar.
 - Facilita el seguimiento al paciente y la posibilidad de hacer recomendaciones antes de la próxima cita
-

17.¿Qué características negativas pudo ver dentro del sistema? (aplicación web)

Ninguna

Encuesta paciente:

ENCUESTA A PACIENTE:
SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE KINESIOTERAPIA ACTIVA



Nombre: Sebastián Rueda Parra

Ocupación: Estudiante de Ingeniería Electrónica.

Por favor responda las siguientes preguntas relacionadas con el uso del sistema de monitorización de actividades:

1. ¿Cómo considera el nivel de usabilidad del sistema? Califique de 1 a 10:

10

2. ¿Le fue difícil realizar las tareas asignadas dentro del sistema?

No

3. ¿Cree que este sistema puede ser implementado en la vida cotidiana?

Si

4. La interacción que tuvo con la interfaz del sistema. ¿Fue agradable?

Si

5. ¿Qué te gustaría que tuviera la interfaz para hacerla más agradable?

La interfaz presentada me pareció buena, sencilla y clara, las funciones que usa son las necesarias para hacer lo que se debe.

6. ¿Qué otras funciones se le pueden agregar al sistema?

Algunas funciones vibratorias no estarían de más ya que en ocasiones el sistema de audio de los teléfonos móviles no es muy potente.

7. ¿Cómo considera el nivel de funcionalidad del sistema? Califica del 0 al 10:

10

8. ¿Cómo considera que fue la velocidad del software? Califica con “Buena”, “Regular” y “Mala”:

Buena

9. ¿Qué características positivas pudo ver dentro del sistema (Aplicación móvil)?

Instrucciones de uso, uso de señales que indican el cumplimiento del ejercicio, sencillez, fácil uso, colores agradables y buena velocidad.

10. ¿Qué características negativas pudo ver dentro del sistema?

No vi cosas que me hayan impactado negativamente.

11. Escriba un comentario de manera general sobre su experiencia en el uso de la aplicación móvil.

La experiencia de uso fue sencilla, clara y sin inconvenientes, el funcionamiento fue el deseado, la presentación de esta fue justa y necesaria para lograr el cometido.

12. ¿Las alertas que forma parte del sistema de realimentación durante el ejercicio fueron claras y permitieron ajustar los movimientos? Si, No, ¿por qué?

Sí, porque son pocas y claras así que al oírlas es una buena realimentación.

13. ¿Las instrucciones para realizar la terapia en casa fueron lo suficientemente claras? Si, No, ¿por qué?

Si

14. ¿Cree que la aplicación facilita el cumplimiento de los objetivos de la terapia? Si, No, ¿por qué?

Sí, porque se asegura que en la casa se realicen los ejercicios tal y como se hicieron en el consultorio,

Sección 10

Encuestas llevadas a cabo sobre la usabilidad de las aplicaciones web y móvil.

ENCUESTA DE USABILIDAD

SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE KINESIOTERAPIA ACTIVA



Nombre:

Ocupación:

Por favor responda las siguientes preguntas relacionadas con el uso del sistema de monitorización de actividades:

1. ¿Cómo considera el nivel de usabilidad del sistema? Califique de 1 a 10:
2. ¿Le fue difícil realizar las tareas asignadas dentro del sistema?
3. ¿Cree que este sistema puede ser implementado en la vida cotidiana?
4. La interacción que tuvo con la interfaz del sistema. ¿Fue agradable?
5. ¿Qué le gustaría que tuviera la interfaz para hacerla más agradable?
6. ¿Qué otras funciones se le pueden agregar al sistema?
7. ¿Cómo considera el nivel de funcionalidad del sistema? Califica del 0 al 10:
8. ¿Cómo considera que fue la velocidad del software? Califica con “Buena”, “Regular” y “Mala”:
9. ¿Qué características positivas pudo ver dentro del sistema (Aplicación móvil)?
10. ¿Qué características negativas pudo ver dentro del sistema (Aplicación móvil)?
11. Escriba un comentario sobre su experiencia en el uso de la aplicación móvil.
12. ¿Las alertas que forma parte del sistema de realimentación durante el ejercicio fueron claras y permitieron ajustar los movimientos? Sí, No, ¿por qué?
13. ¿Las instrucciones para realizar la terapia en casa fueron lo suficientemente claras? Si, No, ¿por qué?
14. ¿Cree que la aplicación móvil facilita el cumplimiento de los objetivos de la terapia? Sí, No, ¿por qué?

RESPUESTAS A ENCUESTA DE USABILIDAD

SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE KINESIOTERAPIA ACTIVA

Usuario	José Miguel Ramírez	Estefanía Rengifo	Juan Armero	Katerin Carrillo	Brayan Barrios	Mario Vélez	Diego Ochoa	Brian Ospina	Ramiro Plazas
Ocupación	Profesor de ingeniería electrónica	Estudiante de ingeniería electrónica	Estudiante de ingeniería electrónica	Estudiante de ingeniería industrial	Estudiante de ingeniería electrónica	Estudiante de ingeniería electrónica	Estudiante de ingeniería electrónica	Estudiante de ingeniería electrónica	Estudiante de maestría en ingeniería electrónica
Pregunta	Respuestas								
1	9	9	10	9	9	9	10	10	10
2	No	No	No	No	No	No	8	No	No
3	Si	Si	Si	Si	Si, para los ejercicios en el gimnasio donde el instructor te enseña a hacer los ejercicios	Si	Si	Si	Si
4	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
5	Modo espejo	Antes de graficar la opción seleccionada me gustaría que apareciera una ventana explicando la gráfica antes de mostrarla	Mayor volumen	Explicación para llenar la base de datos del médico. Como cuales datos son obligatorios.	Un botón de regresar después de realizar la sesión	Un botón de cerrar	Animaciones		Formato de fecha (ayuda)
6	Modo silencio	Que cuente las repeticiones en voz alta, y que	Selección de distintas terapias para un		Una alerta que diga que en general va muy	Que se puedan cambiar los colores y	Que inicie automáticamente e como un		Información del desarrollador

		en la parametrización se explique qué significa cada sonido.	mismo usuario		lento o muy rápido, no solo cuando lo hago en una repetición. Además puede existir la opción de escribirle al especialista sin necesidad de realizar la sesión.	sonidos	cronometro que le indique que se inicia la sesión		
7	10	9	9	10	10	9	9	9	10
8	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
9	Buena realimentación para realizar la terapia	Es fácil de usar, práctico y además es satisfactorio para el usuario evaluar sus movimientos de forma visual.	Es fácil de manejar.	Sencilla de utilizar, amigable, práctica.	La posibilidad de iniciar series presionando cualquier lugar de la pantalla. Los parámetros del entrenamiento que no pueden ser modificados por el usuario.	Muy práctico y de fácil entendimiento.	La interfaz gráfica permite identificar cada elemento de la aplicación	Facilidad de uso, Interfaz amigable y buena velocidad de ejecución	La información puede visualizarse y es fácil de usar
10	Bajo volumen, visualización durante la operación	Al terminar la sesión, la pantalla debe cambiar, salir de la sesión o cerrar la aplicación.	Ninguna		No tiene botón de regresar (salir).	Algunas instrucciones son necesarias de ver luego de haber acomodado el dispositivo móvil.	falta la opción de salir de la aplicación, no es intuitivo como otras aplicaciones que se le da atrás y sale	Ninguna	Falta información del desarrollador.
11	Divertida y efectiva	Nunca había visto algo así,	Es como tener un	Me pareció una aplicación muy	Muy chévere, me imaginé	Interactivo	Aplicación novedosa	Fueron bastante claras.	La aplicación es fácil de

		creo que puede hacer que los ejercicios de fisioterapia sean más agradables.	fisioterapia en casa	útil, para ahorrar tiempo tanto del paciente como del doctor, muy buena retroalimentación de los ejercicios realizados	utilizándolo para muchas otras cosas además de una terapia		porque te permite hacer ejercicios de una forma correcta		utilizar e intuitiva.
12	Poco volumen	Después de que me explicaron que significaba cada sonido, sí.	No, tiene un volumen muy bajo.	Si fueron claras aunque sería bueno algún menú de ayuda para la persona que no las entienda intuitivamente.	Si fueron claras, pero una voz me parece más útil para que diga en que consiste el error.	Si	Si, aunque hay que indicar al usuario que suena así porque está haciendo mal los ejercicios	Si, fueron bastante claras	Si
13	Si, aunque debe quedar un descripción escrita o animada	Creo que sería más claro si se explicara de forma visual lo que se debe hacer.	Si	Si	Si	Si	No porque no me indicaron que el sonido feo era de error.	Si, las facilita.	Si, porque la información solicitada es sencilla y de fácil obtención
14	Si	Si, ya que brinda una realimentación en tiempo real sobre cómo se debe hacer y también muestra visualmente los resultados.	Si	Si	Si, de esa manera el especialista puede corregir errores desde la primera sesión.	Si	Si		Si, porque se puede ver la evolución del paciente a través de las diferentes terapias.