

TESIS DEFENDIDA POR
Raúl Loredo Medina
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dr. José Antonio García Macías
Co-director del Comité

Dra. Ana Isabel Martínez García
Co-director del Comité

Dr. Jesús Favela Vara
Miembro del Comité

Dr. David Salazar Miranda
Miembro del Comité

M.C. Christian Paul García Martínez
Miembro del Comité

Dr. Hugo Homero Hidalgo Silva
*Coordinador del programa de posgrado
en Ciencias de la Computación*

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales
Director de Estudios de Posgrado

04 de Abril de 2011.

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**SISTEMA DE MONITOREO DE LA MARCHA COMO APOYO AL CUIDADO DE
ADULTOS MAYORES**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

RAÚL LOREDO MEDINA

Ensenada, Baja California, México. Abril de 2011.

RESUMEN de la tesis de **Raúl Loredo Medina**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN. Ensenada, Baja California. Abril de 2011.

SISTEMA DE MONITOREO DE LA MARCHA COMO APOYO AL CUIDADO DE ADULTOS MAYORES

Resumen aprobado por:

Dr. José Antonio García Macías
Co-director del Comité

Dra. Ana Isabel Martínez García
Co-director del Comité

El envejecimiento de la población mundial es un problema que ha enfrentado la sociedad en los últimos años. Principalmente en servicios de salud para los adultos mayores, ya que debido a la disminución de la resistencia del cuerpo y otros padecimientos que se conocen como síndrome de fragilidad, los adultos mayores tienden a sufrir una mayor cantidad de accidentes y enfermedades.

Uno de los efectos que más se puede notar con este síndrome es el trastorno de la marcha. Éste puede llevar a la persona a perder la capacidad para realizar las actividades de la vida diaria, lo que conlleva a que el adulto mayor sea internado en algún centro geriátrico para su mejor atención.

Actualmente varias áreas de investigación se han enfocado en abordar el problema. Una de ellas es el cómputo ubicuo, que a partir del desarrollo de sistemas de Ambientes de Vida Asistida han permitido que los adultos mayores realicen fácilmente sus actividades diarias. Estos sistemas se enfocan en el monitoreo de los movimientos y rendimiento físico de las personas, con el propósito de observar sus parámetros (velocidad de marcha, localización, distancia recorrida); esto ayuda a que los médicos puedan brindar un diagnóstico del estado actual de salud.

Este trabajo se enfoca en el diseño, implementación y evaluación de un sistema que permite un monitoreo continuo de los principales parámetros de la marcha de las personas de forma ambulatoria.

Se realizó un análisis de los diferentes métodos y sistemas que existen para llevar a cabo el monitoreo de la marcha de las personas. Se identificaron las ventajas que estos ofrecen, los problemas que abordan, y los problemas que aún no han sido abordados. Estos se tomaron en cuenta para el diseño e implementación del sistema. También, se llevaron a cabo dos tipos de evaluaciones. Una de funcionalidad del sistema con adultos mayores para verificar su funcionamiento. Otra evaluación se realizó con médicos y terapeutas para conocer la percepción de utilidad y beneficios que el sistema les puede brindar.

Palabras Clave: Adultos mayores, índice de fragilidad, análisis de la marcha.

ABSTRACT of the thesis presented by **Raul Loredo Medina** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in COMPUTER SCIENCE. Ensenada, Baja California, Mexico. April 2011.

GAIT ANALYSIS SYSTEM TO SUPPORT ELDERLY CARE

Aging of their population is a problem world societies have been facing in recently years. This has impacts mainly in health services for the elderly, who due to the decrease of body resistance and other symptoms known as the frailty syndrome tend to suffer more accidents and diseases.

The most important effect of this syndrome is the gait disturbance. This can make the person to be unable to perform activities of daily living, which may have consequences, such as the need take the elderly to a geriatric or nursing home, for better care.

In recent years many research areas have focused in this problem. One of them is ubiquitous computing, which with the development of ambient assisted living systems, aid the elderly in performing their daily activities. These systems include functions such as monitoring of activities and individual physical performance, in order to obtain parameters such as gait velocity, localization and distance, to allow doctors to perform better health diagnostics.

The work presented here focuses on the design, implementation and evaluation of a system that allow continuous monitoring of the main gait parameters in an ambulatory way.

We analyzed different systems and methods that exist to perform gait analysis. Their advantages, as well as the problems that have and have not been addressed were identified. These were taken into account for our system design and implementation. Also, two evaluations were made. The first one focused on functionality of the system, to verify its function, and the second one, was performed with doctors and therapists, to know their perception of usefulness and benefits of system.

Keywords: elderly, frailty, gait analysis.

Dedicatorias

*A mi madre y hermanos por el apoyo que
siempre me han brindado*

Agradecimientos

A dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida.

A mi familia, mis abuelas, tíos, primos por su apoyo brindado.

A mis asesores de tesis, Dra. Ana Isabel Martínez García y Dr. José Antonio García Macías por todos sus consejos y sobre todo su tiempo brindado a lo largo de la realización de este trabajo.

A los miembros del comité Dr. Jesús Favela, Dr. David Salazar y M.C. Christian García, por sus consejos durante la realización del trabajo.

A mis compañeros del departamento por brindarme su ayuda en todo momento.

Al personal de Casa Hogar del Anciano de Ensenada, Desarrollo Social del municipio y CRI Ensenada, por su disposición y colaboración.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por brindarme su apoyo económico.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
CONTENIDO	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
Capítulo I	1
Introducción	1
I.1 INTRODUCCIÓN	1
I.1.1 Ambientes de vida Asistida (AAL)	1
I.1.2 Acelerómetros en el monitoreo de personas	4
I.1.3 Técnicas para monitoreo de la marcha	4
I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
I.3 OBJETIVO GENERAL	8
I.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
I.5 METODOLOGÍA.....	10
I.6 CONTENIDO DE LA TESIS.....	11
Capítulo II	12
ESTUDIO DE LA MARCHA EN ADULTOS MAYORES	12
II.1 INTRODUCCIÓN	12
II.2 ENVEJECIMIENTO	13
II.2.1 Estadísticas del envejecimiento de la población.....	14
II.2.2 Retos y consecuencias del envejecimiento	15

CONTENIDO (continuación)

II.3 ÍNDICE DE FRAGILIDAD	16
II.3.1 Definición del índice de fragilidad	16
II.3.2 Diagnóstico de la Fragilidad en el adulto mayor	17
II.3.3 El índice de fragilidad en la marcha.....	18
II.4 LA MARCHA HUMANA	19
II.4.1 Definición de la marcha	19
II.4.2 Mecánica de la marcha.....	20
II.4.3 Problemas de la marcha.....	23
II.5 ESTUDIO DE LA MARCHA	24
II.5.1 Métodos para el análisis de la marcha	25
II.5.2 Escenario de aplicación.....	36
II.6 RESUMEN.....	37
Capítulo III	39
Diseño e implementación de un sistema para monitoreo de la marcha	39
III.1 INTRODUCCIÓN	39
III.2 DISEÑO DEL SISTEMA	39
III.3 HARDWARE	42
III.4 FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA	44
III.4.1 Posición del sensor	44
III.4.2 Comunicación sensor-PC.....	46
III.4.3 Lectura de datos de aceleración.....	49
III.4.4 Procesamiento de los datos	50
III.4.5 Calibración de parámetros.....	56
III.5 CONSIDERACIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN	63
III.6 RESUMEN.....	64
Capítulo IV	65

CONTENIDO (continuación)

Evaluación y resultados	65
IV.1 INTRODUCCIÓN.....	65
IV.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	65
IV.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE EVALUACIÓN	66
IV.3.1 Evaluación funcional con adultos mayores	67
IV.3.2 Evaluación con médicos/terapeutas.....	80
IV.4 RESUMEN	92
Capítulo V	94
Conclusiones, aportaciones y trabajo futuro	94
V.1 CONCLUSIONES.....	94
VI.2 LIMITACIONES DEL TRABAJO	97
VI.3 APORTACIONES	98
VI.4 TRABAJO A FUTURO	98
Referencias	100
Apéndice A	106
Apéndice B	107
Apéndice C	108

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Monitoreo del movimiento del cuerpo a través de sensores.....	3
Figura 2. Acelerómetros para monitoreo del movimiento de las personas (Culhane, <i>et al.</i> , 2005).	5
Figura 3. Porcentaje de personas de 60 años o más en el mundo, de 1950 a 2050 (ONU, 2008).	14
Figura 4. Porcentaje de personas de 65 años o más en México, 1976-2050.....	15
Figura 5. Fases del ciclo de la marcha (Lorenzo, 2007).	21
Figura 6. Subdivisiones de las fases de la marcha (Gage <i>et al.</i> , 2007).	23
Figura 7. Ejemplo test de Tinetti.	28
Figura 8. Ejemplo test Get Up and Go.	28
Figura 9. Sistema CON-TREX.	30
Figura 10. Sistema Lokomat®.	31
Figura 11. a) Configuración de acelerómetros en el cuerpo, b) Actividades realizadas.	32
Figura 12. Diseño y funcionalidad del sistema presentado por Raya <i>et al.</i>	33
Figura 13. Esquema del sistema CineMED, a) Captura del movimiento en el plano sagital, b) Configuración de los puntos reflectivos, c) Detección de los puntos a través del software.....	34
Figura 14. Diseño e implementación del sistema.	35
Figura 15. Prototipo del sistema.	36
Figura 16. Escenario de aplicación.....	37
Figura 17. Esquema general de sistema de monitoreo de la marcha.....	40
Figura 18. Arquitectura propuesta.	41
Figura 19. Nodo de sensado 13213-SRB.	43
Figura 20. Ejes de aceleración del sensor.....	43
Figura 21. Posibles posiciones del sensor.....	44
Figura 22. Colocación del sensor.	45

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura 23. Movimientos monitoreados en cada eje.	46
Figura 24. Comunicación sensor-PC.	47
Figura 25. Diagrama de secuencia de establecer comunicación PC-nodo base..	48
Figura 26. Diagrama de secuencia de lectura de datos.....	49
Figura 27. Diagrama de secuencia de procesamiento de datos.	51
Figura 28. Señal original de aceleración de los tres ejes y el vector magnitud....	52
Figura 29. Método de suavizado de la señal.	53
Figura 30. Vector magnitud suavizado.	54
Figura 31. Búsqueda de mínimos y máximos en la señal.....	54
Figura 32. Representación del algoritmo de la regla trapezoidal.....	55
Figura 33. Tipos de correlación.	57
Figura 34. Pantalla principal del sistema SAM.	58
Figura 35. Pantalla de registrar perfil.....	59
Figura 36. Pantalla de calibrar sistema.....	60
Figura 37. Pantalla de consultar paciente.....	61
Figura 38. Pantalla de consultar/analizar paciente.	62
Figura 39. Pantalla de eliminar paciente.....	63
Figura 40. Metodología de la evaluación funcional.....	66
Figura 41. Acomodo del lugar del experimento.	71
Figura 42. Instalaciones de Desarrollo Social.....	71
Figura 43. Actividades de la evaluación de funcionalidad.	72
Figura 44. Actividades de la evaluación cualitativa.....	84
Figura 45. Escala de Likert utilizada.	85

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla I. Porcentajes de las fases del ciclo de marcha.	22
Tabla II. Parámetros espacio-temporales, cinemáticos y cinéticos obtenidos generalmente en un estudio de la marcha (Villa et al., 2008).	26
Tabla III. Adultos mayores de Casa Hogar.	69
Tabla IV. Adultos mayores de Desarrollo Social.	70
Tabla V. Resultados de funcionalidad en Casa Hogar.	74
Tabla VI. Resultados de funcionalidad de Desarrollo Social.	75
Tabla VII. Resultados de error y desviación estandar del sistema.	76
Tabla VIII. Ejemplo de teoría fundamentada.	78
Tabla IX. Resultados de la teoría fundamentada en adultos mayores.	79
Tabla X. Descripción de los participantes de Casa Hogar.	82
Tabla XI. Participantes CRI Ensenada.	83
Tabla XII. Resultados del cuestionario de entrada.	87
Tabla XIII. Resultados de la evaluación cualitativa.	89
Tabla XIV. Resultados entrevista de salida.	91

Capítulo I

Introducción

I.1 Introducción

El envejecimiento de la población es una tendencia mundial donde incluso países como México, que anteriormente se conocían como países de jóvenes, ya están empezando a visualizar problemas, debido en parte a la falta de servicios tanto de salud, vivienda y trabajo, que ayuden a atender a las personas de la tercera edad, también la falta de concientización hacia la sociedad para que no discriminen a esta parte de la población. Con esta falta de servicios de salud, los adultos mayores tienden a sufrir un mayor deterioro físico lo cual les dificulta que lleven a cabo las actividades de la vida diaria, como vestirse, asearse o alimentarse por sí mismo, por lo que tienden a ser dependientes de otras personas para poder sobrevivir día a día; muchas veces debido a que sus familiares se ven imposibilitados de brindarles la atención que necesitan, y tienen que ser internados en residencias geriátricas. Ante estos problemas, han surgido propuestas tecnológicas que ayudan a mejorar la atención y calidad de vida de los adultos mayores, creando sistemas de ayuda para ellos, o las personas encargadas de su cuidado, que pueden ser familiares, doctores o enfermeros.

I.1.1 Ambientes de vida Asistida (AAL)

Una manera de apoyar en el envejecimiento de las personas, y poder brindar ayuda a sus cuidadores, es la implantación de tecnología que permita monitorear el ambiente en el cual desempeñan sus actividades los adultos mayores. Esta tecnología es conocida como ambientes de vida asistida (AAL - ambient assisted living por sus siglas en inglés).

Los AAL están destinados a llenar el ambiente humano diario con objetos inteligentes y de asistencia personal, los cuales ayuden a las personas a desempeñar sus actividades diarias. Esto ayudaría a los adultos mayores a incrementar su autonomía en sus hogares.

Una de las áreas que abarca esta visión es el cómputo ubicuo, dado a conocer por Mark Weiser y su grupo de investigación. El cómputo ubicuo, también conocido como *Ubicomp*, ha sido denominado como la tercera etapa del cómputo (Weiser y Brown, 1996). En la primera etapa, existían grandes computadoras que eran compartidas por una gran cantidad de personas, una computadora para muchas personas. En la segunda etapa, que se prolonga hasta la actualidad, aparecieron las computadoras personales, y se tiene una computadora para una persona. En la tercera etapa, el uso de las computadoras se extiende al hacerlas disponibles a través de todo el entorno físico de manera invisible, es decir, que escapen de la consciencia del usuario y la interacción con éste se lleve de manera natural. En esta corriente computacional, cada usuario interactúa con muchas computadoras interconectadas en los alrededores. Aquí es necesario contar con nuevos tipos de computadoras de distintos tamaños y formas, pero que conserven su capacidad de procesamiento (Weiser, 1993). La información de entrada utilizada en los entornos, se debe inferir de la interacción natural de los usuarios con su ambiente, por ejemplo, la ubicación, la hora, las condiciones ambientales, los dispositivos de cómputo de los cuales hace uso de manera explícita, el estado de la red, entre otros.

Actualmente, con el desarrollo y avances de la industria en miniaturización de sensores y tecnologías de comunicación inalámbrica, ha incrementado el interés por usar redes de sensores en distintos ambientes de aplicación, uno de las cuales es el desarrollo de aplicaciones médicas para monitoreo de las personas. Entre estas, un área de aplicación que ha tenido gran importancia recientemente, es el desarrollo de sistemas para monitoreo de la mecánica de los movimientos del cuerpo de las personas, los cuales permitan monitorearlas, ya sea en sus hogares, clínicas u hospitales.

El objetivo de los sistemas de monitoreo del movimiento humano, es adquirir datos en tiempo real de los cambios en las poses del cuerpo usando sensores de movimiento, los cuales son portados por las personas, ya sea incrustados en su ropa o como algún accesorio de uso cotidiano; y con el procesamiento de esa información caracterizar cada uno de los movimientos de las personas (Figura 1). Muchos sistemas de monitoreo del movimiento humano en el pasado se han basado en el procesamiento de imágenes, llevando a lo que se ha denominado monitoreo del movimiento humano basado en análisis visual. Sin embargo, estos sistemas tienen la desventaja de que solo pueden ser utilizados en lugares fijos como clínicas u hospitales, debido a lo cual no permite un monitoreo más constante y continuo de las personas durante el transcurso de sus actividades diarias

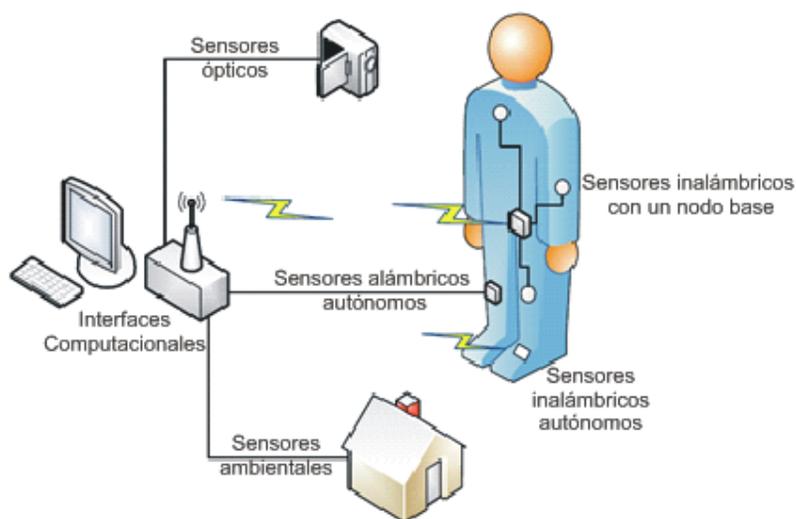


Figura 1. Monitoreo del movimiento del cuerpo a través de sensores.

Un dispositivo de gran utilidad en el monitoreo del movimiento del cuerpo humano es el acelerómetro, ya que además de permitir monitorear los movimientos, también permite monitorear el rendimiento funcional de las personas, con lo cual se puede obtener información de interés para poder evaluar, planear y tratar a una persona que tiene afectada su habilidad para caminar.

I.1.2 Acelerómetros en el monitoreo de personas

El uso de acelerómetros para evaluar los movimientos del cuerpo humano fue propuesto por primera vez en 1950 (Auvinet, *et al.*, 2002). Sin embargo, estos dispositivos eran muy caros, grandes y poco confiables en sus mediciones, en consecuencia, no eran adecuados para usarse en el monitoreo ambulatorio de las personas. No obstante, en la última década se dió una revolución en el desarrollo de acelerómetros, principalmente en la industria automotriz para su uso en los sistemas de disparo de bolsas de aire. Esta nueva generación de acelerómetros fue diseñada para satisfacer las exigencias de calidad y confiabilidad de esa industria. Pero como consecuencia, hoy en día, estos han quedado disponibles en pequeños tamaños, a bajo costo, con bajo consumo de energía (Figura 2), para poder ser usados en diferentes aplicaciones, brindando la oportunidad de ser utilizados para medir cambios de la marcha en las personas al combinarse con otras técnicas de registro ambulatorio (Culhane, *et al.*, 2005).

Los acelerómetros actuales son una opción ideal para evaluar la variabilidad del movimiento y balance de las personas, de forma portable y no invasiva, permitiendo un monitoreo ambulatorio en cualquier ambiente cotidiano. Pueden medir de forma confiable parámetros de la marcha como tiempo de paso, simetría de paso, aceleración, entre otros (Zijlstra y Hof, 2003); además de monitorear de forma constante las aceleraciones experimentadas por el tronco del cuerpo durante el caminado, al disminuir o aumentar la velocidad, subir o bajar y al moverse de un lado a otro. De esta manera, se han comenzado a estudiar los efectos de la edad en la marcha de las personas, colocando acelerómetros en distintas partes de su cuerpo (Menz, *et al.*, 2003).

I.1.3 Técnicas para monitoreo de la marcha

El análisis de la marcha, generalmente se compone de la medida del movimiento del cuerpo en el espacio (cinemática), y de las fuerzas que se encargan de producir este movimiento (cinética). Para realizar esto, existen diferentes métodos y técnicas, a continuación se describen cada una de ellas.



Figura 2. Acelerómetros para monitoreo del movimiento de las personas (Culhane, *et al.*, 2005).

Medidas cinemáticas pueden ser obtenidas usando una amplia variedad de métodos (Clayton y Schamhardt, 2001):

1. Cronofotografía, es el método más fácil para el registro del movimiento, y es la captura de fotografías en distintos tiempos, mientras realiza algún movimiento una persona, animal o cosa.
2. Registros de video o videogrametría, se realiza usando tomas desde una o varias cámaras, pueden tomarse registros de los ángulos y velocidades del cuerpo. Este método ha sido ayudado por el desarrollo de software, que facilita en gran manera los procesos de análisis y permite el monitoreo del cuerpo en tres dimensiones en lugar de solo dos.
3. Sistemas de marcadores pasivos, es el uso de marcadores reflectivos los cuales permiten realizar mediciones de los movimientos del cuerpo, usando múltiples cámaras al mismo tiempo. Las cámaras envían señales de luz infrarroja y al mismo tiempo, detectan lo que es reflejado por los marcadores del cuerpo. En base al ángulo y el tiempo de retardo entre la señal original y la reflejada, es posible aplicar el método de triangulación para sacar cálculos necesarios. Este método también es utilizado para captura de movimiento en la industria del cine.
4. Sistemas de marcadores activos, estos son similares a los pasivos, salvo en los marcadores, que son activos. Estos marcadores son alcanzados por

la señal infrarroja de la cámara, pero no la reflejan, en cambio responden enviando una señal. Esta señal es usada para triangular la localización del marcador. La ventaja de este método con respecto al pasivo, es que los marcadores trabajan a distintas frecuencias y por ello tienen su propia identidad. Esto significa que no se necesita un post-procesamiento de la localización de los marcadores.

5. Sistemas inerciales, están basados en sensores inerciales MEMS (sistemas microelectromecánicos), modelos biomecánicos y la combinación de sensores con algoritmos de procesamiento de la información. Estos sistemas pueden ser usados tanto dentro como fuera de los hogares, en esta categoría están incluidos los acelerómetros.
6. Electromiografía Dinámica (EMG), con esta se registra la actividad de hasta diez grupos musculares simultáneamente por medio de electrodos de superficie. Este parámetro conjuntamente con la cinética permite separar en forma objetiva las complicaciones primarias producidas directamente por una lesión, de aquellas compensatorias o mecanismos usados por el individuo para disminuir los efectos de las complicaciones primarias.

Por otra parte, para calcular el movimiento cinético, muchos laboratorios tienden a usar sensores colocados en el piso, mejor conocidos como plataformas de fuerza, las cuales miden las fuerzas de reacción con respecto al suelo, incluyendo magnitud, dirección y localización del centro de presión. También son utilizados electrodos pegados a la piel, los cuales miden la actividad de los músculos, detectando los momentos de inicio y fin de trabajo del músculo (Rupcich *et al.*, 2008).

A través de los distintos métodos vistos anteriormente, se han realizado una diversidad de trabajos enfocados a monitorear la marcha de las personas, algunos utilizando cámaras de video y marcadores en el cuerpo de las personas, para grabar los movimientos, otros capturándolo a través de fotografías en diferentes tiempos, pero actualmente ha surgido el uso de sensores inerciales, principalmente acelerómetros.

También se han creado distintos aparatos que conjuntan plataformas de fuerza para conocer la actividad de los músculos, además utilizan algunas herramientas e instrumentos para medir los ángulos mínimos y máximos de las articulaciones del cuerpo.

Si bien estos trabajos y aparatos han brindado gran ayuda a los médicos, para conocer más a fondo cada uno de los movimientos que intervienen en la marcha, y los distintos problemas que la afectan, el problema de extender las tecnologías de monitoreo a un ambiente real para realizar un monitoreo ambulatorio aún es un reto para los investigadores.

I.2 Planteamiento del problema

Existe una diversidad de métodos y herramientas utilizados para el análisis de la marcha de las personas, que van desde la aplicación de un simple test hasta el uso de algún aparato de medición, esto aún es un reto para los investigadores, ya que, como se describe enseguida, todas presentan algún inconveniente, por lo que se deben desarrollar sistemas que permitan un monitoreo ambulatorio de las personas.

Uno de los problemas son los diferentes test que existen, estos obtienen resultados meramente cualitativos sobre la evaluación del rendimiento del adulto mayor, solo dicen que tanta habilidad tiene la persona para poder desempeñar ciertos movimientos, además dependen en gran medida de la persona que realiza el análisis, la cual debe ser alguien experto en el tema.

Otro problema encontrado es que los resultados de los diferentes sistemas de monitoreo no pueden ser comparados entre sí, debido a que no hay un estándar de facto, donde se mencionen las medidas que debe presentar cada parámetro estudiado. Además de que no todos los sistemas o médicos siguen los mismos métodos para evaluar a sus pacientes. Entonces existe una heterogeneidad de métodos y sistemas.

Uno de los inconvenientes más importantes, son los altos costos que tienen los distintos aparatos utilizados, ya sea para medición de fuerzas, tiempo

de reacción, ángulos y posiciones de las extremidades, entrenamiento de los movimientos, entre otros.

Otra limitante, de las más importantes en los distintos métodos y sistemas, es que su diseño es solo para utilizarse cada vez que el adulto mayor asiste a una consulta médica, la cual puede ser cada quince días o cada mes. Además los sistemas son diseñados para funcionar en un lugar en específico y no son fáciles de cambiar de un lugar a otro. Esto dificulta de alguna manera el monitoreo de la persona de forma continua.

Por último la mayor de las limitantes es que los trabajos realizados, en su mayoría no prueban su funcionalidad en adultos mayores, los cuales no tienen las mismas medidas en los diferentes parámetros de la marcha.

Dadas estas limitantes surge la necesidad de crear sistemas que permitan un monitoreo de las personas tanto en una clínica como en sus hogares, además que deben ser sistemas de costos accesibles y que prueben su funcionalidad en adultos mayores. Esto permitiría monitorear la marcha de las personas durante el desarrollo de sus actividades diarias, para poder detectar anomalías afectando la habilidad para caminar; las cuales van desde un simple dolor en alguna de sus extremidades, hasta enfermedades de debilitamiento general entre las que se encuentran enfermedades respiratorias, obesidad e incluso cáncer, así como también problemas psicológicos o psiquiátricos como cuadros depresivos.

I.3 Objetivo general

Diseñar, desarrollar y evaluar un sistema portátil que permita monitorear la marcha de adultos mayores y detecte sus principales parámetros, para así poder ayudar en la evaluación, planeación y tratamiento de individuos con síntomas que afectan su habilidad para caminar.

I.4 Objetivos específicos

- Analizar los diferentes métodos que existen para analizar la marcha tanto en clínicas como estudios experimentales.

- Analizar las características que debe poseer un sistema capaz de monitorear la marcha en adultos mayores de manera continua, sean hogares o consultorios.
- Diseñar e implementar un sistema que monitoree el largo de paso, de zancada, velocidad de movimiento y cadencia para llevar a cabo el análisis de la marcha.
- Evaluar el funcionamiento y funcionalidad del sistema en adultos mayores con problemas de marcha y especialistas del monitoreo y análisis de la marcha.

I.5 Metodología

Para poder llevar a cabo la realización de este trabajo y cumplir con los objetivos que se plantearon se siguió una metodología de varias etapas, las cuales se describen a continuación:

Revisión de literatura y tecnologías. En esta etapa se llevó a cabo una revisión de literatura, la cual trataba temas a cerca de sistemas de cómputo con aplicaciones médicas enfocados en la evaluación de la marcha de las personas, principalmente adultos mayores. Esto con la finalidad de comprender el tema y obtener las características principales de cómo se lleva a cabo un estudio de la marcha tanto en un consultorio médico como en un laboratorio de pruebas. Además se revisaron las características de los sistemas que se han realizado hasta el momento, para identificar las áreas donde aún existe problemática y brindar una contribución a su solución de acuerdo a los objetivos planteados.

Definición de parámetros a evaluar. Una vez realizada la etapa de estudio, se pasó a recolectar toda la información de interés para el tema de investigación, con esta se definieron los parámetros principales para llevar a cabo el análisis de la marcha y se estableció cuales estaban en la posibilidad de ser evaluados con el hardware con el que se contaba para trabajar.

Definición de requerimientos y arquitectura del sistema. Establecidos los parámetros a evaluar y con el hardware que se tenía para trabajar, se definieron los métodos que se utilizarían para realizar el sistema. Se definieron los componentes del mismo y las posibles interacciones que podría existir entre cada uno de ellos.

Desarrollar el sistema. Ya diseñados cada uno de los componentes tanto de hardware como de software del sistema, se pasó a implementar de manera funcional cada uno de estos componentes, cumpliendo con cada uno de los requerimientos establecidos.

Evaluación del sistema. Para la etapa final se llevó a cabo el diseño de la evaluación del sistema, para verificar la funcionabilidad y viabilidad de este tipo de sistemas en un ambiente cotidiano, que puede ser el hogar de las personas o un

consultorio médico. La evaluación se llevó a cabo con adultos mayores y especialistas. El análisis de los datos fue cualitativo.

I.6 Contenido de la tesis

Este trabajo de tesis se compone de cinco capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el capítulo II se presenta información acerca de los adultos mayores, información estadística del envejecimiento de la población conforme pasan los años. Igualmente se presenta el concepto de índice de fragilidad, cómo afecta a los adultos mayores. Además se presenta información y características de la marcha de las personas, esto junto con los procesos utilizados para evaluarla y los parámetros que se observan. Por último se presentan algunos trabajos de investigación que se han realizado respecto al tema.

En el capítulo III se describe la implementación del sistema, los algoritmos y procesos que se siguieron para su desarrollo. Al igual, se presentan las características del hardware utilizado, para llevar a cabo las pruebas de este trabajo de investigación.

En el capítulo IV se muestra la información de la evaluación del sistema. Comenzando por el diseño del experimento, las características de la población en las cuales se probó y el escenario utilizado. Por último, se dan a conocer los resultados obtenidos en la evaluación, tanto de utilidad del sistema como de funcionalidad.

Por último en el capítulo V se ven las conclusiones y contribuciones del trabajo, en base a los resultados de la evaluación y los objetivos planteados. Se brinda información del trabajo a futuro, qué se debe hacer para mejorar los sistemas para monitoreo de las personas, y con ello poder brindarles la mejor atención.

Capítulo II

ESTUDIO DE LA MARCHA EN ADULTOS MAYORES

II.1 Introducción

El envejecimiento de la población tiene importantes consecuencias en todas las facetas de la vida humana. En lo económico, traerá consecuencias en el crecimiento económico, el ahorro, las inversiones, el consumo, los mercados de trabajo, las pensiones; en lo social, puede influir en las condiciones de vida y la composición de la familia, la demanda de vivienda, las tendencias de la migración, la epidemiología y los servicios de atención de la salud; en lo político, puede alterar los patrones de voto y la representación.

Debido a que la población de adultos mayores tiende a disminuir su rendimiento físico por los efectos de la edad y distintas enfermedades que padecen, el realizar un análisis de la marcha a estas personas podría ser de gran utilidad para una amplia variedad de aplicaciones, tales como el diagnóstico y elección de tratamientos de enfermedades motrices. Los métodos y tecnologías existentes para este análisis son numerosos, y permiten la obtención de parámetros de forma cualitativa en la mayoría de los casos y en algunas ocasiones parámetros cuantitativos.

En este capítulo se presenta información estadística acerca de las predicciones en el incremento de la población de adultos mayores, tanto en México como en el mundo. Se aborda uno de los principales problemas que sufre cualquier adulto mayor que es el síndrome de fragilidad.

Por otra parte, se proporciona una definición de marcha, las diferentes fases de las que se compone el ciclo de la marcha. De igual manera se muestran problemas de salud por los que se puede llegar a tener una marcha anormal y algunos procesos que se utilizan para poder llevar a cabo un análisis de la marcha, se dan a conocer los parámetros más importantes que se observan por

parte de los evaluadores y por último se presentan algunos trabajos de investigación relacionados al tema, comentando y resaltando sus cualidades y limitaciones.

II.2 Envejecimiento

El envejecimiento humano es un fenómeno universal e inevitable. En las personas se reconocen diferentes tipos de envejecimiento, donde los más importantes son el individual y el demográfico o poblacional. El envejecimiento individual es el proceso hasta ahora irreversible, que experimenta cada persona en el transcurso de su vida, mientras que el envejecimiento poblacional es el incremento del número de adultos mayores con respecto a la población total del lugar al que pertenecen.

Sea cual sea el tipo de envejecimiento, la característica fundamental a cualquiera es la pérdida de la reserva funcional, que condiciona una mayor probabilidad a sufrir una enfermedad, al disminuir los mecanismos de respuesta y su eficacia para conservar el equilibrio del organismo interno del cuerpo (Mañas, 2001).

Aunque no se puede dar una definición única al significado de adulto mayor, la palabra hace referencia al conjunto de cambios que le suceden a un individuo con el paso del tiempo, en una relación entre la edad cronológica y los cambios biológicos, sociales y económicos. Con base en la edad, Gutiérrez et al. (2009), establecen dos categorías de vejez: los jóvenes viejos, que abarcaría de los 55 a los 75 años y la de viejos más viejos que se presentaría a partir de los 75 años. Sin embargo, no existe una medida segura y absoluta del envejecimiento, ya que cada organismo cambia de diferente manera de individuo a individuo, y aunque es un proceso universal, irreversible y progresivo, se necesitan mecanismos de evaluación y estrategias específicas, para su atención en salud. La Organización Mundial de la Salud (OMS), define salud como el “bienestar físico, mental y social, de los individuos”, resaltando que no sólo es la ausencia de enfermedad. En los adultos mayores, la salud es definida como la “capacidad para atenderse a sí mismo y desenvolverse en el seno de la familia y la sociedad,

la cual permite desempeñar sus actividades de la vida diaria por sí solo” (Agudelo *et al.*, 2007).

II.2.1 Estadísticas del envejecimiento de la población

El envejecimiento de la población es un fenómeno por el que tarde o temprano atravesarán todas las naciones. En el año 2008, existían 654 millones de adultos mayores en el planeta, que representaban 10.2 por ciento de la población mundial, y se espera que en el 2030 sean 1,348 millones (16.6%). Desde 1950 la proporción de personas de edad ha estado aumentando regularmente; pasó del 8% en 1950 al 11% en 2007 y se calcula que llegará al 22% en 2050 (Figura 3) (ONU, 2008).

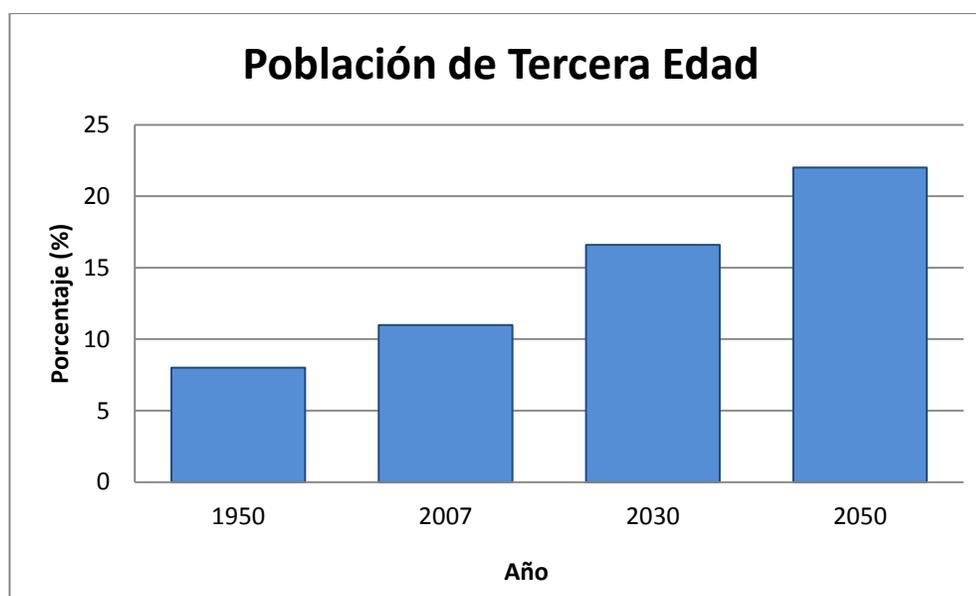


Figura 3. Porcentaje de personas de 60 años o más en el mundo, de 1950 a 2050 (ONU, 2008).

Por su parte México, se encuentra en una fase avanzada de la transición demográfica. De acuerdo con las proyecciones demográficas, a mitad del año 2008 la población del país alcanzó los 106.7 millones, de los cuales 52.5 millones eran hombres y 54.2 millones eran mujeres (Zuñiga *et al.*, 2008).

Para 2012 se estima que 6.3 por ciento de la población mexicana tendrá al menos 65 años de edad (6.9 millones de individuos), porcentaje mayor al mostrado en 1976 (4.4%), que equivale a un aumento de 4.2 millones. De acuerdo con las tendencias observadas, el fenómeno aumentará en los próximos años y para el 2050 se espera llegue a un 27.7% (Figura 4) (CONAPO, 2008).

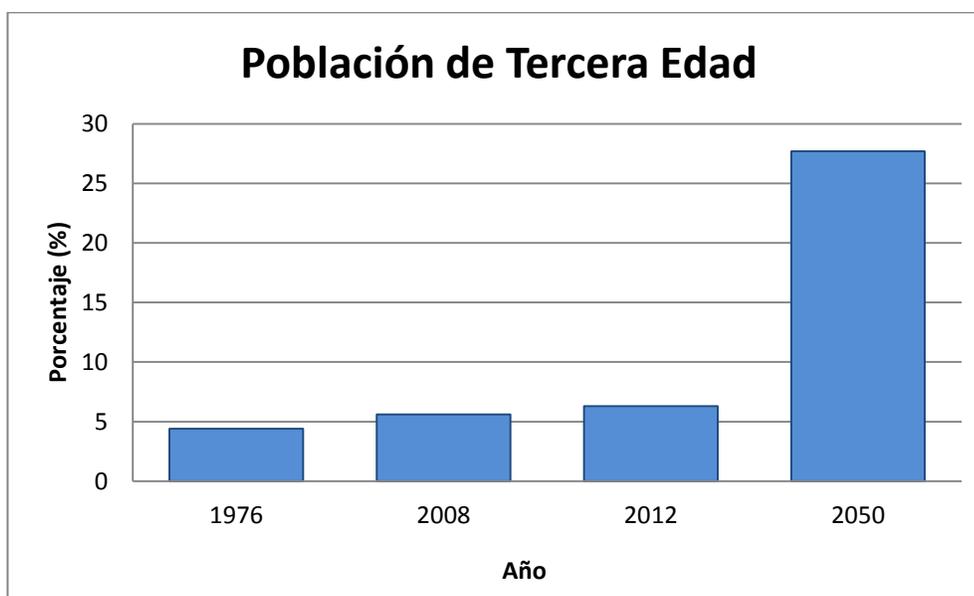


Figura 4. Porcentaje de personas de 65 años o más en México, 1976-2050.

II.2.2 Retos y consecuencias del envejecimiento

Como se ha señalado en este trabajo, el envejecimiento de la población trae consigo desafíos de muy distinta índole. Estos comprenden diferentes áreas, una es el incremento en la demanda de los servicios de salud, lo que implicará inversión en infraestructura y personal para abastecer esta necesidad.

Otro reto abarca lo que es el tema monetario; esto es, el cómo brindar los apoyos necesarios en materia de dinero a los adultos mayores, ya sea a través de pensiones, o bien creando opciones de empleo para ellos.

Y por último está el reto social, esto porque las personas mayores al sufrir mayor cantidad de accidentes y enfermedades deben ser dependientes de otra persona, en la mayoría de los casos un familiar. Aunque actualmente ha

incrementado el número de adultos mayores que viven solos, muchas veces en condiciones que no son adecuadas para ellos.

II.3 Índice de fragilidad

En el intento por encontrar términos para identificar la disminución de la capacidad funcional en el adulto mayor, y por lo tanto el aumento de su dependencia, surgieron los conceptos de “fragilidad” y “anciano frágil”. El llevar a cabo una rápida detección de la fragilidad y el emplear de manera oportuna un diagnóstico, para brindar terapias y rehabilitación pueden modificar la presencia de discapacidad, por lo que intervenir en este sentido tiene implicaciones tanto en el plano social como en la calidad de vida del adulto mayor (Redin, 2002).

Para los médicos que de manera cotidiana brindan atención a adultos mayores, el término de fragilidad resulta familiar, pero a su vez les resulta difícil conceptualizarlo, y la mayoría de las ocasiones lo asocian a envejecimiento, discapacidad o comorbilidad. En los últimos 15 años el interés por la fragilidad ha ido en aumento, debido a las consecuencias que traen sus efectos (Rockwood *et al.*, 2000).

II.3.1 Definición del índice de fragilidad

La fragilidad es un síndrome clínico-biológico que se caracteriza por la disminución de la resistencia y de las reservas fisiológicas del adulto mayor ante situaciones críticas o estresantes, a consecuencia del desgaste de los sistemas fisiológicos, causando mayor riesgo de sufrir efectos como: caídas, discapacidad, hospitalización, institucionalización y muerte. La definición tiene dos aspectos (Fried *et al.*, 2001):

1. Existe una disminución de las reservas fisiológicas en múltiples áreas, como la resistencia, la flexibilidad y la fuerza muscular, el balance o equilibrio, el tiempo de reacción, coordinación, funcionamiento cardiovascular, audición, visión, nutrición y funcionamiento cognitivo.

2. Existe la predisposición para sufrir efectos adversos para la salud ante situaciones de tensión de la vida cotidiana, donde la gravedad de la situación no siempre está en proporción con el daño que origina en la salud de la persona, produciéndose gran deterioro funcional.

Buchner y Wagner (1992), han sugerido que las alteraciones de varios sistemas fisiológicos, incluyendo mal funcionamiento del sistema músculo-esquelético, del control neurológico y del metabolismo energéticos, en presencia de un estímulo fisiológico, influye en el desarrollo de este síndrome. La mayoría de los autores mencionan que los efectos que se presentan con mayor frecuencia a causa del síndrome, son disminución involuntaria del peso corporal, de la resistencia y de la fuerza muscular, problemas del equilibrio y de la marcha y disminución de la movilidad física.

De acuerdo a las características que presenta una persona con síntomas del índice de fragilidad, una manera rápida de detectar si padece o no de fragilidad, sería realizando un análisis de la marcha, ya que los resultados encontrados en este se podrían relacionar directamente con cada uno de los criterios aquí mencionados, y al final concluir si un adulto mayor es frágil o no.

II.3.2 Diagnóstico de la Fragilidad en el adulto mayor

De acuerdo con la red cubana de gerontología y geriatría, el estudio o diagnóstico de la fragilidad se puede definir como, “la valoración y detección multidimensional de déficit en las esferas clínico-médica, funcional, mental, y social, con el fin de conseguir un plan racional e integrado de tratamiento y seguimiento. Va orientada hacia la funcionalidad del sujeto, y por lo tanto no se centra exclusivamente en una sola área” (González, 2009).

Para diagnosticar la fragilidad en el adulto mayor, se debe realizar un conjunto de evaluaciones al paciente, cada una de estas para la detección de diferentes parámetros de la persona, estas evaluaciones son:

- 1) **Física**, es la elaboración de un listado de problemas, en los que se identifica la gravedad y el nivel de dificultad que presenta la persona

para llevar a cabo una determinada actividad. Entre los problemas que se listan se encuentran caídas, hospitalización, medicamentos, enfermedades.

- 2) **Psíquico-Afectiva**, consta de evaluación cognitiva, que se refiere a los mecanismos mediante los cuales el organismo recibe, almacena y procesa la información; y evaluación afectiva, que es la presencia de depresión y ansiedad, solo se ven antecedentes y realizan preguntas sencillas con relación al estado de ánimo. Entre las cosas que se observan están el nivel de atención prestado, orientación, memoria y lenguaje del paciente.
- 3) **Social**, es la relación con la estructura social que le rodea. Se observan parámetros ambientales como tipo de vivienda, mobiliario; nivel de educación y económico, historial marital, conflictos familiares, entre otros.
- 4) **Funcional**, es el mejor elemento para identificar adultos mayores débiles, y su evaluación diaria proporciona la forma más útil de monitoreo del estado de salud. Esto ayuda a saber si la persona necesita internarse en una clínica geriátrica, si presenta síntomas de una enfermedad y/o si necesita algún tipo de rehabilitación. Para llevar esto a cabo se miden el nivel de funcionalidad de la persona en actividades básicas de la vida (comer, bañarse, vestirse), actividades instrumentales de la vida diaria (cocinar, usar el teléfono, tomar medicamentos, manejar el dinero) y actividades avanzadas de la vida diaria (trabajar, asistir a reuniones religiosas, realizar deportes, transportarse de un lugar a otro).

II.3.3 El índice de fragilidad en la marcha

Es posible conocer diferentes parámetros que nos ayudan a medir el grado de deterioro asociado al índice de fragilidad de un adulto mayor, a través de distintos tipos de evaluaciones existentes. Estas se componen de un conjunto de pruebas o test, que ayudan a saber si la persona necesita de alguien más para

desenvolverse en su ámbito diario, estos métodos son más cualitativos y los resultados dependen de la apreciación del observador, además que pueden llegar a ser bastante tediosos para los adultos mayores, que lo que buscan es terminar lo más rápido posible las actividades que realizan (Villa et al., 2008).

Uno de los principales parámetros que son observados en un adulto mayor con síntomas del índice de fragilidad, son los trastornos de la marcha. Estos se manifiestan con la disminución en los principales parámetros como velocidad del movimiento, distancia recorrida y el número de pasos realizados.

Por lo que un monitoreo de estos parámetros, podría brindar información cuantitativa, y no solo cualitativa. Además de que permitiría comparar resultados obtenidos por un mismo paciente en diferentes estudios o incluso con otros pacientes que presenten problemas similares.

Por lo que ante este problema, surge la necesidad de desarrollar pruebas que sean capaces de predecir de la manera más rápida posible lo que es el índice de fragilidad o algún problema asociado a ella.

II.4 La marcha humana

El análisis de la marcha puede ser de utilidad para una variedad de aplicaciones, como el diagnóstico y elección de tratamientos en pacientes con enfermedades neuro-músculo-esqueléticas. Los métodos y tecnologías existentes para este análisis son numerosos, y permiten la obtención de parámetros de forma cualitativa en la mayoría de los casos y algunas ocasiones parámetros cuantitativos, los cuales son característicos de un patrón de marcha. A continuación se brinda información con respecto a la marcha y las diferentes características usadas para su análisis.

II.4.1 Definición de la marcha

La marcha humana normal se describe como una serie de movimientos alternantes o rítmicos, de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento hacia adelante del centro de gravedad. Aunque existen pequeñas

diferencias en la forma de realizar la marcha de un individuo a otro, estas diferencias son muy pequeñas.

La marcha podría definirse, como la forma en la que las personas se trasladan de un lugar a otro con el uso de alguno de sus miembros. Existen diferentes tipos de marchas, los cuales se caracterizan por los patrones de movimiento desarrollados, velocidad, fuerzas y cambios en el contacto con el suelo.

El caminar es la más común de las marchas que puede desempeñar una persona, además es un importante prerrequisito para desempeñar la mayoría de las actividades de la vida diaria. Puede definirse como una serie de pasos, entendiéndose por paso aquellas acciones y movimientos que se producen entre el choque de talón de un pie y el choque de talón del otro pie. También se puede definir la marcha como la forma en la que se desplaza una persona estando de pie, y este desplazamiento comprende el apoyo de su cuerpo, tanto sobre un pie como de ambos (Collado, 2002).

Autores como McGraw (1940) y André-Thomas (1966), estudiaron el movimiento de la marcha, y de sus observaciones se puede concluir que la marcha es algo natural, con lo que las personas nacen y que solo hay que desarrollar. Para otros autores sin embargo, la marcha es un proceso que se va aprendiendo con los años y no es el desarrollo de algo natural, es un aprendizaje como leer o escribir (Collado, 2005). Cada persona va desarrollando características propias en la marcha a lo largo de su vida, esto causado por las diferentes características del medio en el que se desenvuelve, y propias del cuerpo de cada persona.

II.4.2 Mecánica de la marcha

El principal elemento que define el patrón de marcha es el ciclo de la marcha o zancada, esta se compone de dos pasos consecutivos o dos choques de talón de un mismo pie. En cada ciclo de la marcha se distingue una fase postural o de apoyo, en esta fase un pie se encuentra en contacto con el suelo, e inicia cuando el talón contacta con el suelo y acaban cuando la punta del dedo

gordo del mismo pie se despegar de él; y una fase de oscilación o balanceo, en la que el pie se encuentra en el aire al mismo tiempo que avanza para la siguiente fase de apoyo, que empezaría cuando la punta del dedo gordo se despegar del suelo y que finalizaría cuando el talón del pie entra en contacto con el suelo (Figura 5).

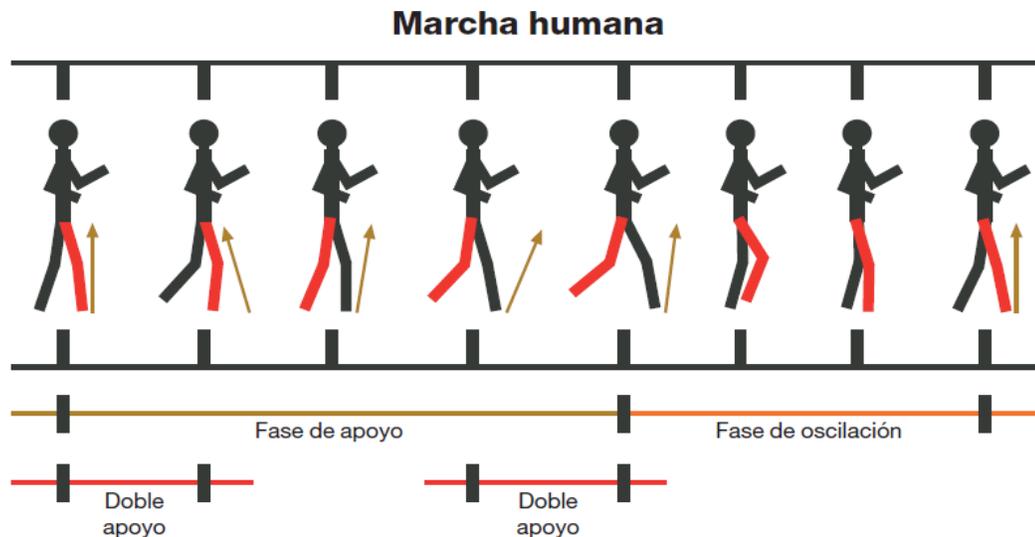


Figura 5. Fases del ciclo de la marcha (Lorenzo, 2007).

A velocidad normal de cualquier persona, la duración de cada fase de la marcha durante una zancada, debería ser:

- Fase postural o de apoyo, 60% del ciclo de la marcha.
- Fase de oscilación o balanceo, 40% del ciclo de la marcha.

Así como el ciclo de la marcha se compone de dos fases, éstas a su vez se dividen en otras más pequeñas, para ello se han propuesto varias subdivisiones, pero hasta el momento la más aceptada es la de Perry (1992) que considera que la fase de apoyo está compuesta por cinco subdivisiones, mientras que la fase de balanceo se compone por otras tres. En la Tabla I se muestran estas subdivisiones con su respectivo porcentaje del ciclo de la marcha, además en la Figura 6 podemos observar cómo y cuándo se da cada una.

Los porcentajes mostrados varían de acuerdo a la velocidad, la distancia recorrida por el cuerpo y de la cadencia o número de pasos para una distancia establecida. Por ejemplo, si aumentáramos la velocidad de una persona pasando de la marcha a la carrera, esto implicaría que desapareciera la fase de doble apoyo y modificaríamos esta subdivisión de la marcha (Lorenzo, 2007).

Tabla I. Porcentajes de las fases del ciclo de marcha.

Fase de apoyo o postural	
Fase de choque de talón (fase de contacto inicial)	0 – 2 %
Fase de pie sobre lo plano (fase de apoyo inicial o de respuesta a la carga)	0 – 10 %
Fase postural intermedia (fase de apoyo medio)	10 – 30 %
Fase de pre-despegue (fase final de apoyo)	30 – 50 %
Fase de impulso o despegue (fase previa a la oscilación)	50 – 60 %
Fase de oscilación o balanceo	
Fase de aceleración (fase de balanceo)	60 – 73 %
Fase de oscilación intermedia (fase media de balanceo)	73 – 87 %
Fase de desaceleración (fase final de balanceo)	87 – 100 %

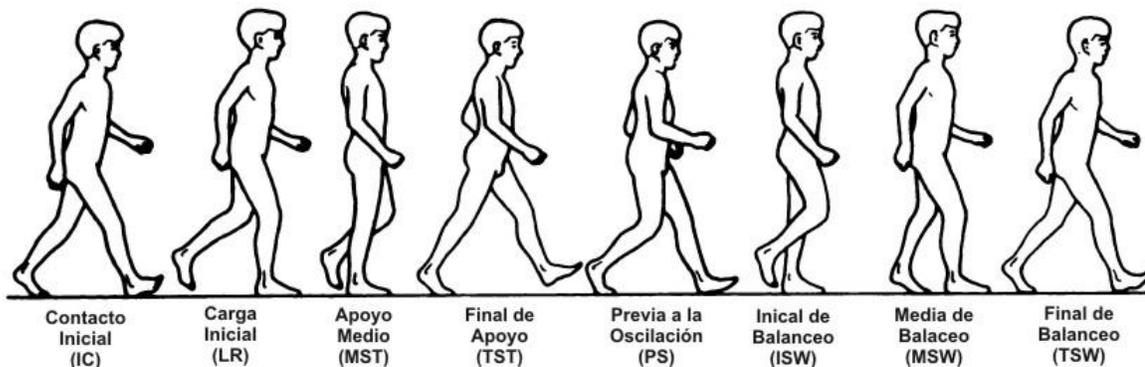


Figura 6. Subdivisiones de las fases de la marcha (Gage *et al.*, 2007).

II.4.3 Problemas de la marcha

Existen diferentes problemas por los cuales se puede determinar que existe una marcha anormal, entre las más importantes se encuentran las siguientes:

- Las anomalías estructurales, como por ejemplo, las diferencias en la longitud de las piernas y los trastornos en los ángulos y dirección de los movimientos de las mismas.
- Las alteraciones de las articulaciones y/o tejidos blandos, como la disminución de movimiento de la articulación, la limitación de la amplitud de las articulaciones, las enfermedades en las articulaciones (infecciones, inflamación, tumores, traumas, desgaste) las contracturas y/o las retracciones de partes blandas.
- La marcha dolorosa antiálgica, que es el adoptar posturas del cuerpo para disminuir el dolor de alguna parte de su cuerpo.

Los trastornos neuromusculares, los cuales afectan directamente al sistema nervioso, entre estos problemas se encuentran los eventos vasculares-cerebrales o EVC, la parálisis cerebral, las alteraciones al cerebro que afectan el movimiento y coordinación del cuerpo, las enfermedades musculares, y la debilidad muscular (Lorenzo, 2007).

II.5 Estudio de la marcha

Desde tiempos muy remotos se estudiaba y analizaba el movimiento de las personas, uno de los pioneros fue Aristóteles. Con el paso del tiempo, a través del desarrollo de la fotografía, fue posible capturar secuencias de imágenes, las cuales revelaban detalles del movimiento tanto de un animal como de una persona, que a simple vista no son muy diferentes una de la otra. Si bien las primeras investigaciones fueron hechas usando cámaras fotográficas, en general la aplicación del análisis de la marcha en personas con alguna enfermedad como parálisis cerebral, mal de Parkinson o desórdenes neuromusculares, iniciaron en los setentas con la llegada de los sistemas de video, con los que se podían realizar estudios detallados individuales de cada paciente dentro de las limitantes de costos y tiempos reales. El desarrollo de tratamientos, incluyendo cirugía ortopédica, basados en resultados de análisis de marcha, avanzó significativamente en los ochentas.

Un análisis completo de la marcha de una persona permite identificar los problemas que ocasionan que se realice de manera anormal. Algunos de estos problemas son la presencia de dolor, que lleva a adoptar posturas para contrarrestar el dolor, enfermedades de debilitamiento general como cáncer, enfermedades respiratorias, la edad, obesidad, o incluso problemas psicológicos o psiquiátricos como cuadros depresivos.

A partir de estos problemas, es posible realizar un diagnóstico de salud a la persona, para a partir de ello brindar ayuda quirúrgica, terapéutica, farmacológica o de ayudas técnicas, para tratar de habilitar la capacidad física del paciente al realizar sus actividades diarias.

Un patrón de la marcha humana puede ser analizado a partir de diferentes parámetros, algunos básicos y otros más complejos. Los parámetros más básicos de la marcha son los espacio-temporales, pero estos varían de sujeto a sujeto e incluso en el mismo sujeto de acuerdo a las diferentes condiciones del medio en el que se desenvuelve de manera cotidiana, entre los parámetros del medio que afectan a la marcha están: terreno, calzado, transporte de carga, edad, fatiga, peso (Villa et al., 2008).

Sin embargo, se puede obtener una descripción más detallada del ciclo de la marcha si se complementan los parámetros espacio-temporales con información cinemática (ángulos de las articulaciones del cuerpo), y además con información cinética (fuerzas de reacción de los músculos). En la Tabla II podemos ver los parámetros que se obtienen de un análisis de la marcha, dependiendo del tipo de estudio que se realice.

De acuerdo al tipo de estudio que se quiera llevar a cabo, y los pacientes que se desee estudiar, se deben establecer los tipos de parámetros que se obtendrán. Por ejemplo, si se quiere estudiar el uso de ayudas técnicas como muletas o caminadores, se debe tener en cuenta que los parámetros espaciotemporales y cinemáticos brindarían la información necesaria, pero los cinéticos no podrían ser adquiridos, ya que el apoyo de elementos externos a la persona distorsionaría la fuerza que realmente está aplicando el paciente sobre los equipos de medición.

II.5.1 Métodos para el análisis de la marcha

Para obtener los parámetros de la marcha que se requieren, se tienen varias opciones en cuanto a los equipos que pueden ser utilizados. Estos equipos permiten evaluar la marcha de forma cuantitativa y no solo cualitativa. Los laboratorios más sencillos pueden obtener los parámetros espaciotemporales a través de cintas métricas, cronómetros y un análisis visual. Para los análisis cinemáticos y cinéticos, se cuenta con gran variedad de técnicas como la dinamometría, acelerometría, ultrasonido, goniometría, sistemas de análisis en dos y tres dimensiones, entre otros. Estas técnicas permiten obtener información cuantitativa y más confiable que la obtenida con la simple observación.

Uno de los métodos que más se utiliza es la combinación de plataformas dinamométricas que se utilizan para medir las fuerzas de apoyo de la persona al llevar a cabo el movimiento, además se utilizan técnicas de videogrametría para observar el comportamiento del cuerpo en el movimiento (Kawamura et al., 2007).

Tabla II. Parámetros espacio-temporales, cinemáticos y cinéticos obtenidos generalmente en un estudio de la marcha (Villa et al., 2008).

PARÁMETROS DE LA MARCHA		
ESPACIOTEMPORALES	CINEMÁTICOS	CINÉTICOS
Temporales Tiempo en fase de soporte (ms) Tiempo en fase de balanceo (ms) Tiempo de soporte (% del ciclo) Tiempo de balanceo (% del ciclo) Duración del ciclo o zancada (ms) Cadencia (pasos/min) Duración de doble soporte (ms) Porcentaje de doble soporte (% del ciclo)	Valores de los ángulos articulares con el paciente de pie (valores de offset para la cinemática)	Gráficas de momentos en las articulaciones (generalmente en el plano sagital)
Espaciales Largo del paso (m) Longitud del ciclo o zancada (m) Ancho del paso (m)	Plano frontal Oblicuidad de la pelvis Aducción – abducción de cadera (alejar o acercar la cadera al centro del cuerpo)	Gráficas de potencias en las articulaciones (generalmente en el plano sagital)
Espaciotemporales Velocidad (m/s) Velocidad de balanceo (m/s) Velocidad media (m/s)	Plano sagital Basculación de pelvis Flexo-extensión de cadera Flexo-extensión de rodilla Dorsiflexión-plantiflexión de tobillo (subir o bajar el pie)	Fuerza de reacción antero-posterior
	Plano transversal Rotación de pelvis Rotación interna-externa de cadera Rotación interna-externa de rodilla Ángulo de progresión del pie	Fuerza de reacción medio-lateral Fuerza de reacción vertical Gráficas del centro de presión antero-posterior

II.5.1.1 El uso de test en el análisis de la marcha

Son varios los métodos que se utilizan para llevar a cabo un análisis de la marcha de una persona. Estos van, desde una simple observación del paciente, por parte de un médico experto en el tema, hasta los más avanzados sistemas de monitoreo, los cuales son muy eficientes, pero hasta el momento tienen muy altos costos, lo cual imposibilita en la mayoría de las ocasiones, que puedan ser utilizados en cualquier clínica o centro de salud en el que se realiza este tipo de análisis para el monitoreo físico de una persona.

Por ejemplo, para realizar un análisis a través de observación se cuentan con algunos métodos ya establecidos en el ámbito clínico, como lo son el Test de Tinetti o el Get Up and Go.

El test de Tinetti es un simple examen para evaluar la habilidad de una persona para realizar la marcha y mantener el equilibrio en ciertas actividades, todo esto en base a una puntuación que se le da al realizarlas. Para evaluar el equilibrio, se tiene a la persona sentada en una silla, se le evalúa su comportamiento al estar solamente sentada, al tratar de ponerse de pie, al estar solamente de pie con los ojos abiertos y cerrados, girar 360 grados, sentarse, entre otros. Por otra parte para la marcha, se tiene a la persona de pie junto al observador, se le pide que camine por una pista (de 5 a 8 m), de ida a la velocidad con que camina normalmente, y de vuelta a un paso más rápido, pero seguro (Figura 7).

Con esto se le van otorgando ciertos puntos en base a parámetros como la simetría, continuidad y dirección del paso entre otros. Para cada parámetro la puntuación tiene una escala de 0 a 2, siendo 0 imposibilidad para realizar la actividad y 2 una persona independiente para realizarla, se puede tener un máximo de 16 puntos en equilibrio y 12 puntos en marcha. En total pueden ser hasta 28 puntos, en general se dice que si se tiene una puntuación menor a 19, la persona tiene alto riesgo de sufrir caídas de manera constante y de 19 a 24 puntos puede llegar a tener una caída esporádicamente (Lewis, 1993).



Figura 7. Ejemplo test de Tinetti.

El test Get Up and Go, es una prueba auxiliar en el diagnóstico de los trastornos de la marcha y el balance frecuentemente utilizada en geriatría. Consiste en medir el tiempo que tarda el adulto mayor en levantarse de una silla, caminar 3 metros, girar, regresar a la silla y sentarse nuevamente. Si el paciente realiza esta actividad en un tiempo igual o menor a 20 segundos se considera normal, si tarda más en ello, requerirá de una evaluación más detallada (Figura 8) (Podsiadlo-Richardson, 1991).



Figura 8. Ejemplo test Get Up and Go.

Estos dos métodos tienen la ventaja como ya se vio, que se realizan en muy poco tiempo y son fáciles de realizar para el paciente, pero tienen la

desventaja que solo pueden ser realizados por médicos especialistas en el tema, además solo son aplicados cada vez que el paciente asiste a una cita médica, y son exámenes meramente cualitativos, solo evalúan la habilidad de la persona para realizar ciertas actividades.

II.5.1.2 Tecnologías para el análisis de la marcha

Por otra parte existe una diversidad de aparatos para el análisis de la marcha, por lo que muchos hospitales ortopédicos especializados en el mundo cuentan con laboratorios equipados con lo último en tecnología para el análisis de la marcha. Estos son usados para diseñar planes de terapia y dar seguimiento a pacientes. En estos laboratorios se puede encontrar sistemas de última tecnología, como el CON-TREX y el Lokomat®.

El CON-TREX es un sistema biomecánico para pruebas y entrenamiento de la marcha, y que además cuenta con instrumentos especializados que pueden ser usados para pruebas de cada articulación del cuerpo. Es un instrumento flexible y de fácil manejo para el terapeuta y paciente, lo cual hace posible obtener resultados de las pruebas de manera confiable (Figura 9).

El sistema CON-TREX puede ser utilizado para distintas pruebas y entrenamientos de la marcha, a continuación se mencionan algunas (CMV AG, 2010):

- Rehabilitación de problemas neuromusculares a través de un entrenamiento de movimientos, para los cuales se cuenta con retroalimentación visual en tiempo real.
- Rápido diagnóstico de deterioros o lesiones musculoesqueléticas, y terapia preventiva.
- Mejora del rendimiento en atletas de alto rendimiento a través de análisis de problemas específicos y entrenamiento altamente efectivo.
- El Software, es desarrollado en colaboración con médicos y terapeutas de medicina deportiva, el software CON-TREX human kinetics y además

puede ser adaptado a las necesidades de los usuarios. También puede comparar y evaluar mediciones de distintos tipos.

- El costo aproximado de este sistema actualmente es de 90,000 USD.



Figura 9. Sistema CON-TREX.

Lokomat[®], es un sistema que ayuda a personas que han sufrido accidentes o golpes fuertes y que no perdieron la movilidad de sus piernas en su totalidad, pero que necesita de terapia para poder volver a caminar adecuadamente. Esencialmente el aparato ayuda a recuperar la movilidad en las piernas, pero sin la ayuda de un adulto o alguien que sostenga a la persona como suele suceder en las terapias donde gente ayuda a caminar a la persona con el problema, cargándolo y sosteniéndolo sobre unas barras horizontales (Figura 10).

Al referirse a que no necesita de la supervisión y ayuda de alguien, es porque tiene unas piernas automatizadas, en donde se pone a la persona y con ayuda de unas barras horizontales podrá caminar por sí sola, porque estará sujeto a unas bandas que lo sujetarán del abdomen dando una sensación de que está

siendo ayudado por alguien y evitando la fatiga. Está diseñado para una terapia de 1 a 2 años para recuperar el movimiento total de las piernas, por su avanzado sistema. El precio supera los 50,000 USD (Hocoma, 2010).



Figura 10. Sistema Lokomat®.

II.5.1.3 Trabajos previos en el análisis de la marcha

Por otra parte, también se han realizado algunos trabajos de investigación, los cuales están enfocados en realizar un análisis de la marcha para monitoreo del rendimiento físico de las personas. A continuación mencionaremos algunos, los cuales a través de distintos métodos llevan a cabo un monitoreo de las personas.

Patel et al. (2009), nos muestran su trabajo, con el cual buscan evaluar la viabilidad de usar acelerómetros para el monitoreo del movimiento de las personas, las cuales presentan síntomas de Mal de Parkinson afectando la marcha. Para hacer esto, usaron 12 pacientes diagnosticados con esta enfermedad. A estos se les pidió que realizaran ciertas actividades, las cuales son afectadas con la presencia de la enfermedad (Figura 11.b). Para el monitoreo de las actividades utilizaron un sistema de monitoreo de video, el cual ya utilizaban para ver los efectos del Parkinson, además utilizaron como se mencionó acelerómetros los cuales están incluidos en los nodos SHIMMER diseñados por el Intel Digital Health Group, un total de 8 distribuidos en las extremidades del cuerpo fueron utilizados (Figura 11.a). A través de ambos métodos recopilaron

información para compararlos y al final, se concluyó que aunque a través del sistema propuesto de acelerómetros, se detectan señales de error para algunas actividades en comparación con el sistema de video, el estudio debe ser extendido hacia otras actividades, quizá actividades de la vida diaria para poder brindar una mejor conclusión en el monitoreo de este tipo de pacientes. Cabe señalar que los nodos utilizados tienen un costo que oscila entre los 200 y los 300 dólares cada nodo.

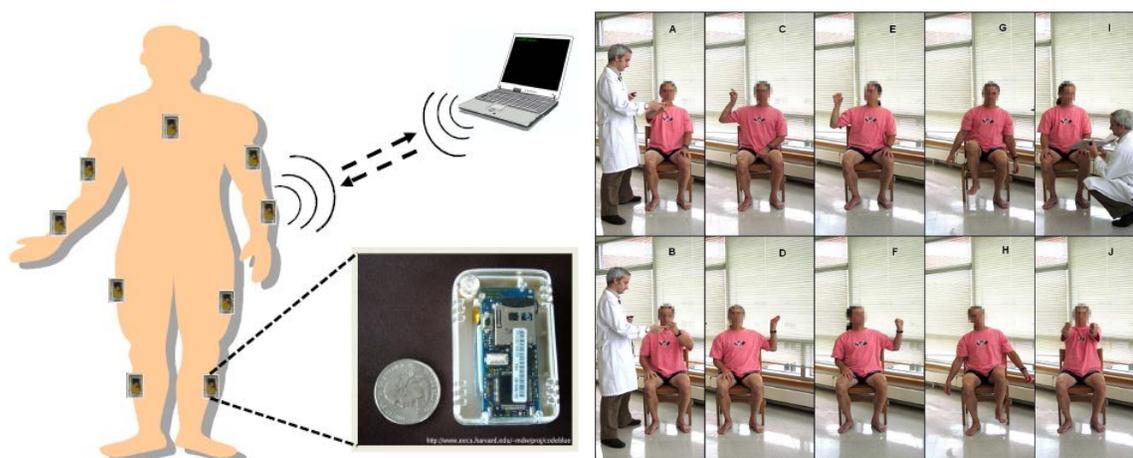


Figura 11. a) Configuración de acelerómetros en el cuerpo, b) Actividades realizadas.

Raya et al. (2007), presentan en este trabajo los estudios llevados a cabo para analizar la usabilidad de un nodo de monitoreo, así como la utilidad de su localización corporal para monitorizar el movimiento del usuario a través de la marcha. En especial, se describe un estudio que valora su capacidad para detectar movimientos erróneos o involuntarios como pueden ser un tropiezo o una caída.

Se diseñó un prototipo de acelerómetro de tres ejes montado sobre una cinta, la cual es colocada alrededor del pecho del paciente. A través de un software diseñado en el programa Labview, adquirían la señal y procesaban para ver si eran detectados movimientos anómalos al caminar como son tropiezos, empujones, pérdidas momentáneas de equilibrio en general, pero más específicamente el monitoreo era hacia caídas laterales las cuales suelen ser más

graves que caídas hacia delante o atrás (Figura 12). Por lo pronto este trabajo, solo se enfocó en encontrar los patrones característicos de cada movimiento involuntario para después poder realizar un mejor y más compacto diseño del sensor el cual pueda procesar por sí mismo los datos sin la necesidad de una computadora personal o de escritorio.

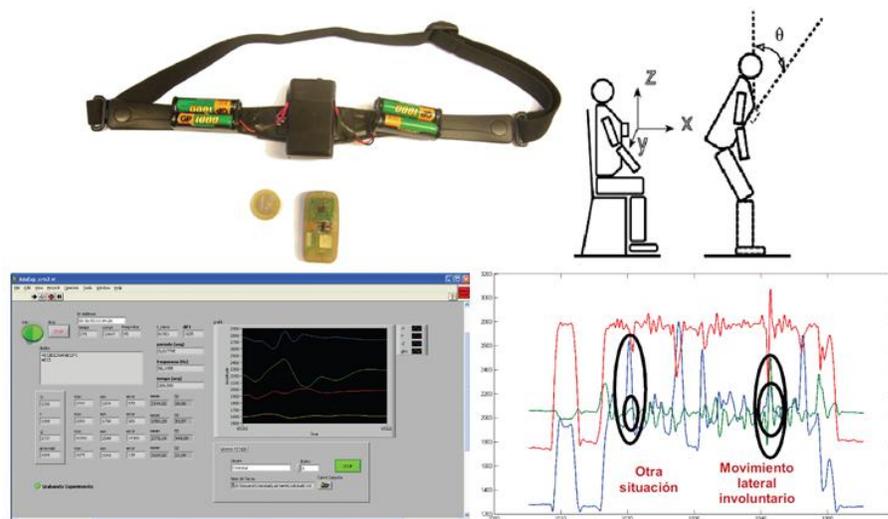


Figura 12. Diseño y funcionalidad del sistema presentado por Raya *et al.*

Díaz *et al.*, (2006) presentan un sistema para el análisis cinemático de la marcha humana. El sistema propuesto se basa en el uso de técnicas de videogrametría y procesamiento de imágenes para registrar el movimiento humano. Con este fin, se utilizó una cámara de video digital, ubicada a 4 metros del paciente, capturando su marcha en el plano sagital, con la cámara del lado derecho del paciente (Figura 13.a). Las pruebas fueron realizadas en un laboratorio con un paciente joven solamente. También se desarrolló un modelo cinemático de los miembros inferiores que, a partir del desplazamiento de cierto número de puntos anatómicos, determina los ángulos articulares de la cadera, rodilla y tobillo, además de la inclinación de la pelvis durante un ciclo completo de la marcha (Figura 13.b). La identificación de dichos puntos fue facilitada mediante el uso de marcadores reflectivos, ubicados en siete posiciones anatómicas diferentes (Figura 13.c). Después, se diseñó y desarrolló un programa para el

cual se comunica de manera inalámbrica a un receptor conectado a la computadora personal (Figura 14). En base a los datos recibidos se van procesando los datos detectando cada uno de los movimientos. El sistema reconoce cada una de las actividades, pero para ello debe iniciar el sistema cada vez que se desea reconocer una actividad, es decir no reconoce transiciones entre una y otra actividad. Las pruebas realizadas fueron solo en una persona de 24 años.

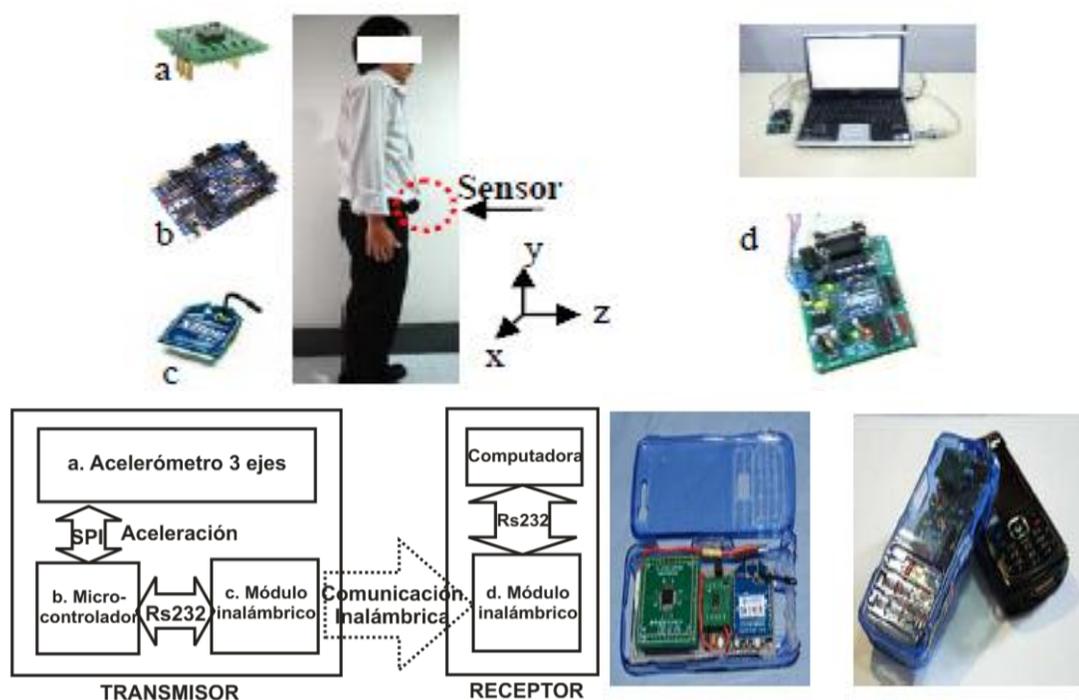


Figura 14. Diseño e implementación del sistema.

Setapen y Gutierrez (2007), presentan un sistema para analizar puntos característicos en gráficas de la marcha y a partir de ellos extraer información de interés. Para realizar esto, colocan 4 sensores de aceleración de 3 ejes, uno en cada tobillo, otro en la muñeca derecha y el último en la cadera. Estos 4 sensores están conectados a una tarjeta de memoria, la cual va almacenando los datos del movimiento del cuerpo, y como podemos observar en la Figura 15, estos sensores están conectados a través de cables por todo el cuerpo de la persona lo cual lo hace incómodo. Una vez terminado el monitoreo, los datos pasan a ser

analizados en una computadora personal, donde se trata de encontrar puntos característicos de la marcha para cada pierna, como son el inicio del movimiento, cuando termina de hacer contacto el pie con la superficie, cuando hace contacto el talón con la superficie. Las pruebas fueron realizadas con personas de 54 a 97 años.



Figura 15. Prototipo del sistema.

Aunque existen una diversidad de trabajos de investigación y distintos métodos para el análisis de la marcha, hay grandes limitaciones que necesitan resolverse en este tema, como ya se mencionó en el capítulo I, entre estos problemas están el que no se prueban los sistemas en adultos mayores, los análisis se realizan solo cada vez que el paciente asiste a una cita médica, tiempo durante el cual la personas puede presentar síntomas de alguna enfermedad y por último se encuentran los altos costos de los sistemas existentes. Por ello es necesario crear sistemas ambulatorios que sean fáciles de usar y que además sean cómodos para las personas que los usaran, además de accesibles para cualquier persona que quiera usarlo.

II.5.2 Escenario de aplicación

En la Figura 16 se muestra un posible escenario donde se podría usar el sistema de monitoreo de la marcha, además los problemas que se presentan son acordes a situaciones que podrían presentarse en un entorno cotidiano.

El señor Montoya tiene 70 años cada día que pasa siente que la fuerza de sus músculos disminuye poco a poco. Esto lo ha llevado a disminuir su movimiento y por ello ha tenido imposibilidad para realizar sus actividades diarias. Un día decide asistir con el médico. El médico le revisa sus signos vitales además del historial médico, para encontrar síntomas de una posible enfermedad, pero al no encontrar nada, de acuerdo a la edad del paciente y los síntomas que presenta, decide practicarle un pequeño examen de marcha. Para ello cuenta con sensores de aceleración y un sistema en su computadora para controlarlos. Comienza alimentando los datos del paciente en el sistema para crear su perfil. Pasa a colocarle el sensor al paciente en la cadera para llevar a cabo la calibración del sistema para esa persona. Una vez realizados estos pasos, le pide que realice la marcha por su consultorio para verificar sus principales parámetros. Con ello detecta que los parámetros están un poco debajo de lo normal, por lo que le manda realizar unos exámenes más a fondo de su organismo para detectar los posibles problemas que le están afectando en su movilidad.

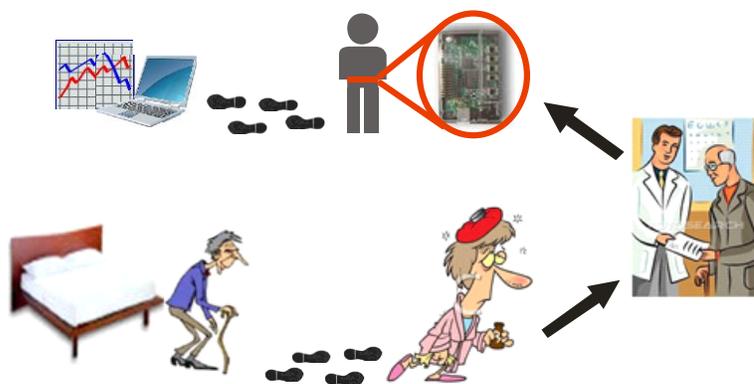


Figura 16. Escenario de aplicación.

II.6 Resumen

En este capítulo, se presentaron datos estadísticos, de cómo se espera que aumente la población de adultos mayores en México y el mundo, así como los principales retos y consecuencias que se deben afrontar, para aminorar los efectos de este fenómeno en todos los ámbitos social, económico y de salud.

También, se abordó el mayor de los problemas, que se puede presentar en esta parte de la población, como lo es el síndrome de fragilidad. Se presenta una definición, los principales factores que influyen para que se presente, así como los métodos que se utilizan para poder ser detectado este padecimiento.

De la misma manera, se brindó información referente a la marcha, se dieron algunas definiciones de la literatura, se mencionaron las diferentes fases de las que se compone dicho movimiento. También, se mostraron algunos problemas por los que se puede llegar a tener una marcha anormal. Por último, se presentaron los diferentes métodos que existen para llevar a cabo un análisis de la marcha, con los diferentes parámetros que se detectan en cada uno, además de algunos sistemas y trabajos de investigación que se han realizado con el fin de tener un mejor monitoreo y rehabilitación de la marcha en las personas, así como las limitantes encontradas como áreas de oportunidad para poder hacer alguna contribución, además se muestra un posible escenario donde se podría utilizar el sistema.

En el siguiente capítulo se presenta el diseño e implementación del sistema de acuerdo a los objetivos del trabajo, describiendo cada uno de los métodos seguidos para desarrollar las funcionalidades requeridas para llevar a cabo un monitoreo de la marcha en adultos mayores.

Capítulo III

Diseño e implementación de un sistema para monitoreo de la marcha

III.1 Introducción

En este capítulo se presenta el diseño e implementación de un sistema para monitorear la marcha de adultos mayores. Con este se pretende cubrir la problemática, descrita en el capítulo I, en el monitoreo del rendimiento físico de adultos mayores, como puede ser llevar a cabo un monitoreo de forma ambulatoria de manera automática.

Se inicia con la descripción de la arquitectura propuesta para realizar el sistema, a continuación se mencionan las características del hardware utilizado para realizar las pruebas, y por último se presentan la funcionalidad e implementación del sistema.

III.2 Diseño del sistema

Como se mencionó en el capítulo I, el objetivo de este trabajo es el de desarrollar un sistema que monitorice la marcha de adultos mayores, que sirva como herramienta a médicos o cuidadores, para el análisis de su rendimiento físico, y que además permita un monitoreo ambulatorio de la persona, para hacer esto, se propone un esquema general de un sistema de monitoreo de la marcha (Figura 17), el cual está compuesto de 3 módulos: 1) captura de datos, 2) procesamiento, y 3) aplicación (Figura 17).

Este esquema, fue propuesto con base en la problemática encontrada en la revisión de la literatura, tanto de investigaciones realizadas para analizar la marcha de las personas, como de los métodos clínicos que actualmente se siguen para realizarlo. Las funcionalidades propuestas para el sistema, en base a las áreas de oportunidad encontradas, son las siguientes:

- Monitoreo continuo de la marcha de forma no obstrusiva, para mayor comodidad del adulto mayor.
- Monitoreo de los principales parámetros espacio-temporales de la marcha como son evento de paso, cadencia, velocidad, amplitud de paso y zancada, de manera automática.
- Tener un registro de cada paciente, donde se pueda consultar un historial de análisis realizados, lo cual permita una mejor revisión por parte de los médicos/terapeutas.

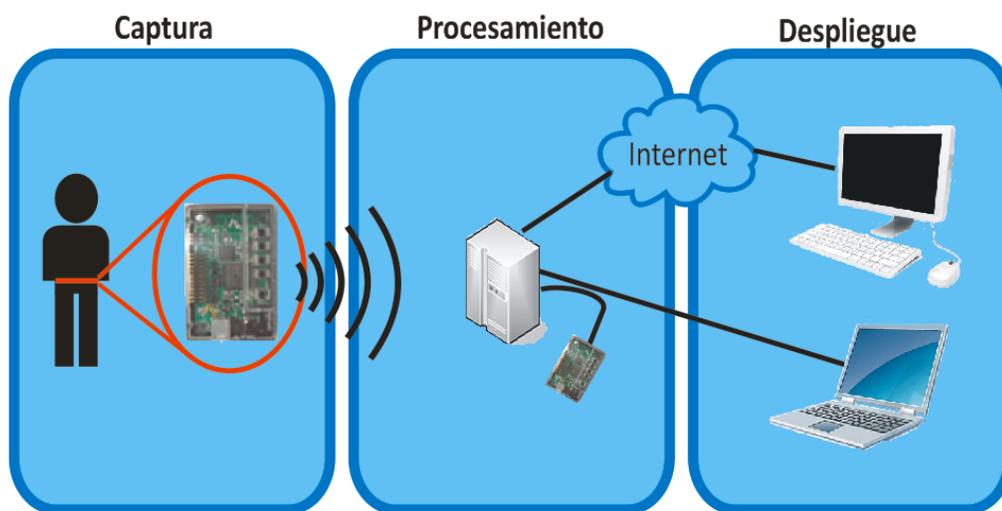


Figura 17. Esquema general de sistema de monitoreo de la marcha.

En base al esquema general y los requerimientos que definen las funcionalidades requeridas por el sistema para ser útil a un médico/terapeuta, se definió la arquitectura propuesta del sistema (Figura 18). La arquitectura está compuesta por 3 módulos principales: el módulo de sensado que es el encargado de detectar los cambios de aceleración presentados por la persona que se está monitoreando, el módulo base que se ocupa de recibir los datos provenientes del módulo de sensado a través de comunicación inalámbrica, y por último el módulo PC que se encarga de leer los datos de aceleración que le pasa el módulo base a través del puerto USB, para posteriormente procesarlos y mostrar los resultados al usuario a través de una interfaz, además de guardarlos en la base de datos.

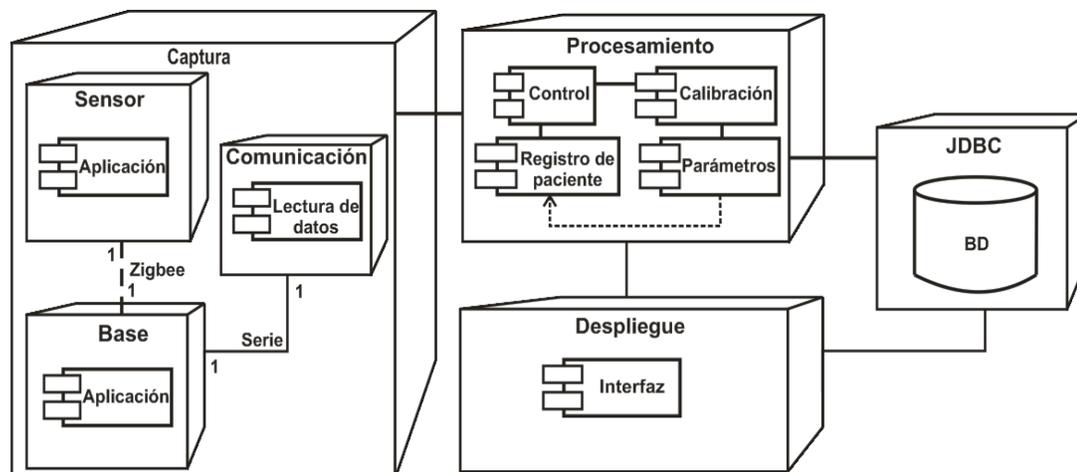


Figura 18. Arquitectura propuesta.

En base al esquema general y la arquitectura propuesta, a continuación se explica la funcionalidad de cada uno de los componentes de la arquitectura:

- Dentro del módulo de captura se encuentran los nodos de sensado, el nodo base y el nodo de comunicación. Estos tienen como objetivo establecer la comunicación entre sensor y computadora, todo esto se realiza a través del componente aplicación, el cual se ejecuta en cada uno de los nodos sensores, para poder leer los cambios de aceleración en el nodo de sensado y además enviar los datos al nodo base y ser recibidos por el componente de lectura de datos.
- En el módulo de procesamiento se encuentra el nodo de procesamiento, el cual se encarga de procesar los datos recibidos para su posterior uso. Esto se realiza a través de sus distintos componentes como son: el componente control que se encarga de controlar toda la información que necesita el sistema para ejecutar cada una de sus funcionalidades, ya sea directamente de la base de datos o los datos de aceleración que son recibidos en la computadora personal. El componente registro de paciente, es el que almacena cada uno de los datos ingresados al sistema para cada paciente, además de cada uno de los análisis de la marcha que se le realizan. También se encuentra el componente calibración, el cual se encarga de llevar a cabo la calibración del sistema para cada usuario. Y

por último el componente parámetros que se encarga de procesar los datos de aceleración recibidos en la computadora personal, para calcular cada uno de los parámetros relacionados a la marcha.

- En el módulo de despliegue, encontramos el nodo despliegue, el cual cuenta con el componente interfaz, conectado directamente a la base de datos, esto para mostrar los resultados al usuario.

III.3 Hardware

Para la realización de las pruebas del sistema, se utilizaron los nodos 13213-SRB (Figura 19), del kit de desarrollo de aplicaciones inalámbricas 1321xEVK de la compañía Freescale. Estos nodos cuentan con una serie de elementos, entre los más importantes se encuentran los siguientes:

- Sensor de aceleración MMA7260Q.
- Sensor de temperatura LM61B.
- Puerto USB 2.0, el cual permite que el sensor se cargue directamente de la PC, y lo más importante, es que permite comunicación tipo serie entre la PC y el mismo sensor para lectura de datos en tiempo real.
- 4 botones (SW1, SW2, SW3, SW4), los cuales permiten controlar las diferentes funciones que ofrece el nodo dependiendo de la aplicación en la que se utilicen.
- 1 botón de reset.
- 4 LED´s.
- 1 microcontrolador MC13213, el cual es el cerebro y control del nodo.
- 1 transceptor de 2.4 GHz, el cual permite comunicación inalámbrica entre los nodos. Esta comunicación en un ambiente ideal brinda una cobertura de hasta 100 metros de rango, entre un nodo receptor y uno de sensado.
- Fuente de poder:
 - Puerto USB
 - Adaptador de 9 V
 - 2 baterías AA



Figura 19. Nodo de sensado 13213-SRB.

Cabe señalar que a través del sensor de aceleración, es posible obtener mediciones de aceleración en tres ejes (x, y, z) (Figura 20). Además, se brinda la opción de elegir entre distintos rangos de aceleración +/- 1.5g, 2g, 4g y 6g.

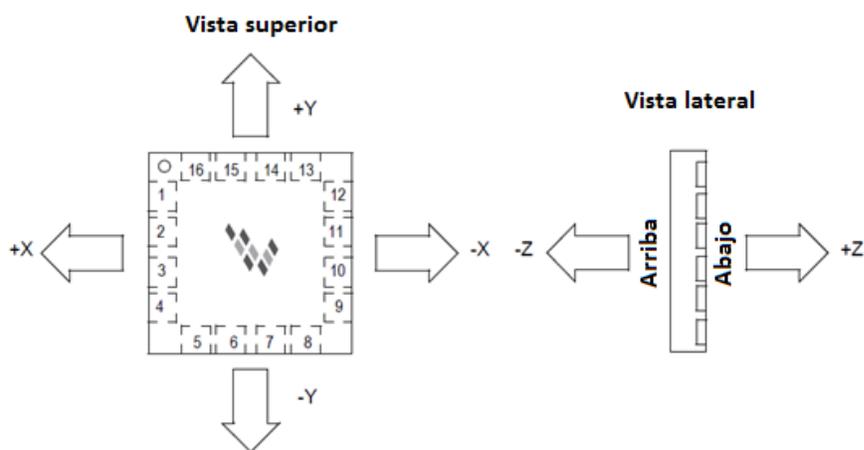


Figura 20. Ejes de aceleración del sensor.

Se usaron estos sensores, ya que eran los que se tenían para realizar las pruebas, aunque se sabe que no son los adecuados para este tipo de aplicaciones. Además contenían algunas características que los hacían ideales para poder realizar las pruebas necesarias del sistema como son, comunicación inalámbrica, sensor de aceleración en tres ejes, fuente de energía a través de pilas AA, como las más importantes.

III.4 Funcionalidad del sistema

De acuerdo a los requerimientos funcionales establecidos y a la arquitectura propuesta, se desarrolló la funcionalidad de cada uno de los componentes del sistema.

III.4.1 Posición del sensor

Lo primero que se realizó, de acuerdo a las características propuestas para el sistema y el hardware que se tenía para realizar las pruebas, identificar la posición en la cual se debía colocar el sensor que permitiera monitorear el movimiento de las personas, como se puede apreciar en la Figura 21, se tenían 4 opciones viables:

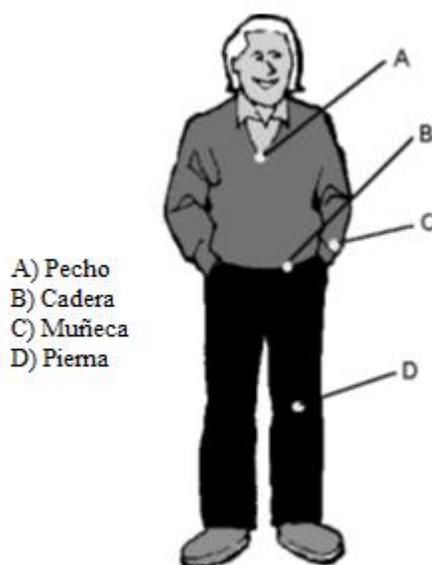


Figura 21. Posibles posiciones del sensor.

Se analizó cada uno de los lugares y se encontraron las limitaciones del uso de la posición para el sensor, y en algunos casos se encontró que podría ser hasta peligroso para los adultos mayores, como el uso de alguna especie de collar, esto debido a que los adultos mayores tienden a sufrir ataques de depresión y por ello pueden llegar a querer hacerse daño con este tipo de artefactos. Entre otras limitaciones, como lo mencionan (Doughty et al, 2008) e

(Izquierdo et al., 2008) en sus trabajos, se encontraron por ejemplo, que la muñeca cuenta con un alto grado de movimiento hacia cualquier lado que se desee, lo cual hace bastante difícil poder diferenciar entre las distintas actividades que realiza una persona; otro ejemplo es la pierna, puesto que el sistema tiene como objetivo monitorear la marcha de adultos mayores y estos buscan estar lo más cómodos posibles, el traer un sensor en cualquiera de sus piernas causaría una mayor molestia al caminar. Es por ello que al final, se concluyó que el mejor lugar para colocarlo era a la altura de la cintura o cadera.

El sensor fue colocado a través de una funda de teléfono celular, la cual cuenta con una especie de clip, con el que puede ser colocada en el cinturón de las personas o el pantalón, en caso de no traer cinturón (Figura 22).



Figura 22. Colocación del sensor.

Cabe señalar que el sensor puede ser colocado tanto en la cadera izquierda como la derecha, los resultados son los mismos. Además se estableció de manera fija, un tipo de movimiento del cuerpo para cada eje de aceleración del sensor. Para los movimientos verticales se estableció al eje “y”, para los horizontales al eje “x” y para los laterales al eje “z” (Figura 23).

Esto se estableció, debido a que al colocar el sensor de manera distinta no mostraba los resultados esperados. Esto se daba porque los ejes “x” y “z” no tienen la misma sensibilidad que el eje “y”, y como los movimientos verticales son los más importantes al momento de monitorear a una persona, se decidió colocar al “y”, en el monitoreo de esos movimientos. Cabe señalar que de acuerdo a las

hojas de especificación del sensor utilizado, los tres ejes deberían contar con la misma sensibilidad, pero con las pruebas se pudo comprobar que no era así, y esto ya se debe a problemas con el hardware, por lo que no fue posible arreglar ese problema.

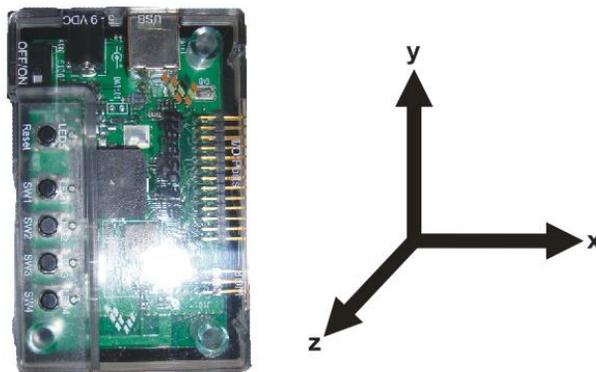


Figura 23. Movimientos monitoreados en cada eje.

III.4.2 Comunicación sensor-PC

Una vez establecido el lugar donde se colocaría el sensor fue necesario, establecer la comunicación entre el sensor y la PC, esto, para leer los cambios de aceleración detectados por el sensor y que además se realizara de manera constante y en tiempo real.

Como ya se mencionó anteriormente, dentro de las características del sensor, una es que a través del puerto USB se puede establecer una comunicación tipo serie entre la PC y el sensor. Esta característica permite, que a través de un nodo base, se esté recibiendo de forma inalámbrica los cambios de aceleración detectados por otro sensor, colocado en la cadera de la persona (Figura 24).

Para realizar esta comunicación, fue necesario programar cada uno de los sensores para que realizara cada uno su tarea. Para esto, el kit de desarrollo trae consigo unos programas desarrollados en lenguaje C para microcontroladores, a través del entorno de desarrollo Codewarrior de Freescale. Este programa también sirve como interfaz para poder borrar y cargar nuevos programas en la

memoria de los microcontroladores de cada uno de los nodos utilizados, esto por medio de un programador llamado USB Multilink Interface.

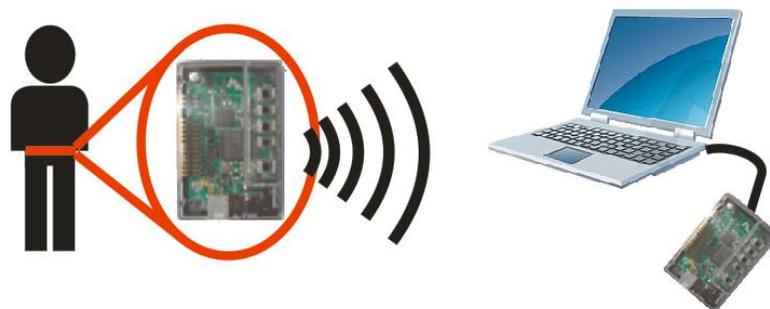


Figura 24. Comunicación sensor-PC.

Los programas proporcionados en el kit, facilitan el utilizar los sensores en diferentes aplicaciones que se desee, como sensor de luz, sensor de aceleración, simular un interruptor de encendido o apagado, entre otros.

Para nuestro caso, utilizamos los programas para la aplicación de sensor de aceleración. Para probar que realmente el sensor se encontraba programado de manera correcta, también se contaba con una aplicación ejecutable llamada TRIAX, la cual permitía ver los valores directos del ADC (convertidor analógico-digital) del microcontrolador, además de sus respectivos valores convertidos en aceleración y voltaje.

Para ejecutar la aplicación programada en el sensor, solo se encienden los sensores y conectar el nodo base a la computadora. Una vez encendidos, se presiona el botón SW1 del nodo a utilizar como sensor, al hacer esto, inicia una búsqueda de un nodo base con el cual se comunicará para comunicarle su estado. Una vez encontrado, el nodo base establece comunicación entre ellos de forma inalámbrica, lo cual se puede apreciar, escuchando una alerta del nodo de sensado y observando que en ambos nodos se enciende el LED1.

Una vez establecida la comunicación entre los sensores, se llevó a cabo la extracción de los datos de aceleración recibidos por el nodo base a la PC, para procesarlos. Para llevar a cabo esta lectura de datos, se creó una interfaz de comunicación entre la PC y el nodo base a través del puerto USB. En la Figura 25

se muestra el diagrama de secuencia para establecer la comunicación entre el nodo base y la PC.

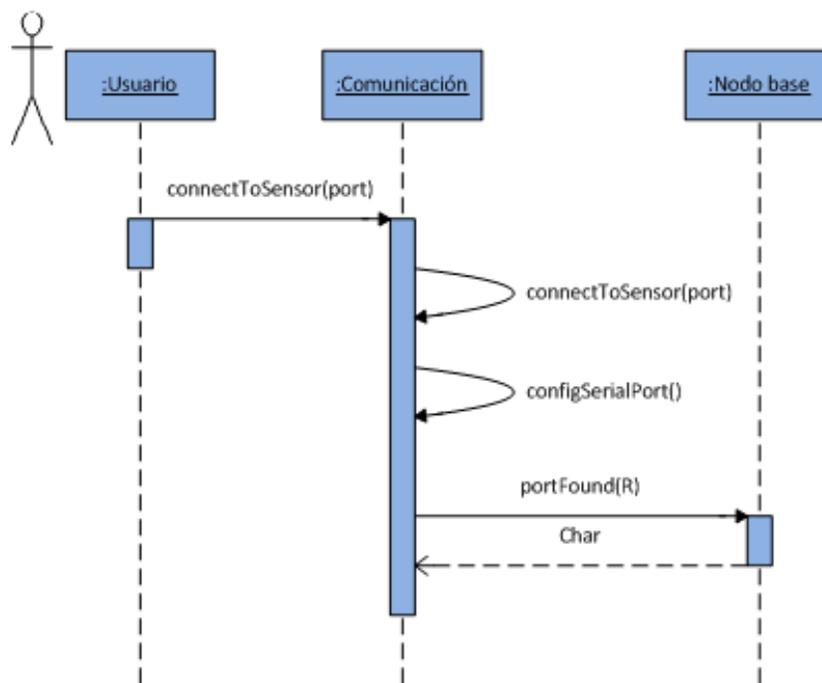


Figura 25. Diagrama de secuencia de establecer comunicación PC-nodo base.

Esta funciona de la siguiente manera, lo primero que se realiza es encontrar el puerto al cual está conectado el nodo base, una vez encontrado se conecta a ese puerto y lo configura a través de unas variables en el código fuente, de la siguiente manera:

- BaudRate = 38400;
- ByteSize = 8;
- Parity = NOPARITY;
- StopBits = ONESTOPBIT;

Para terminar por establecer la comunicación entre computadora y nodo base, esta envía el carácter "R" al nodo base y espera a que este le conteste con el carácter "N", cuando es recibido, queda abierto el puerto de comunicación entre la computadora y nodo base para leer los datos enviados por el nodo de sensado. Cabe señalar que la configuración se realiza para asegurar que la comunicación

entre la PC y el nodo base se lleve a cabo sin ningún problema, al intercambiar los datos.

III.4.3 Lectura de datos de aceleración

Una vez establecidas la configuración y la conexión entre la PC y los sensores, se pasó a la lectura de datos en el nodo base, en la Figura 26 se muestra el diagrama de secuencia de esta función.

Para esto es necesario enviar un carácter “portOutputStream(V)” al nodo base a través del puerto por el que se estableció la comunicación, este es el comando a través del cual el nodo base responde con las lecturas de aceleración a la PC a través del puerto serie. Este proceso se realiza de forma continua, para estar monitoreando cualquier cambio de aceleración en el nodo de sensado en tiempo real.

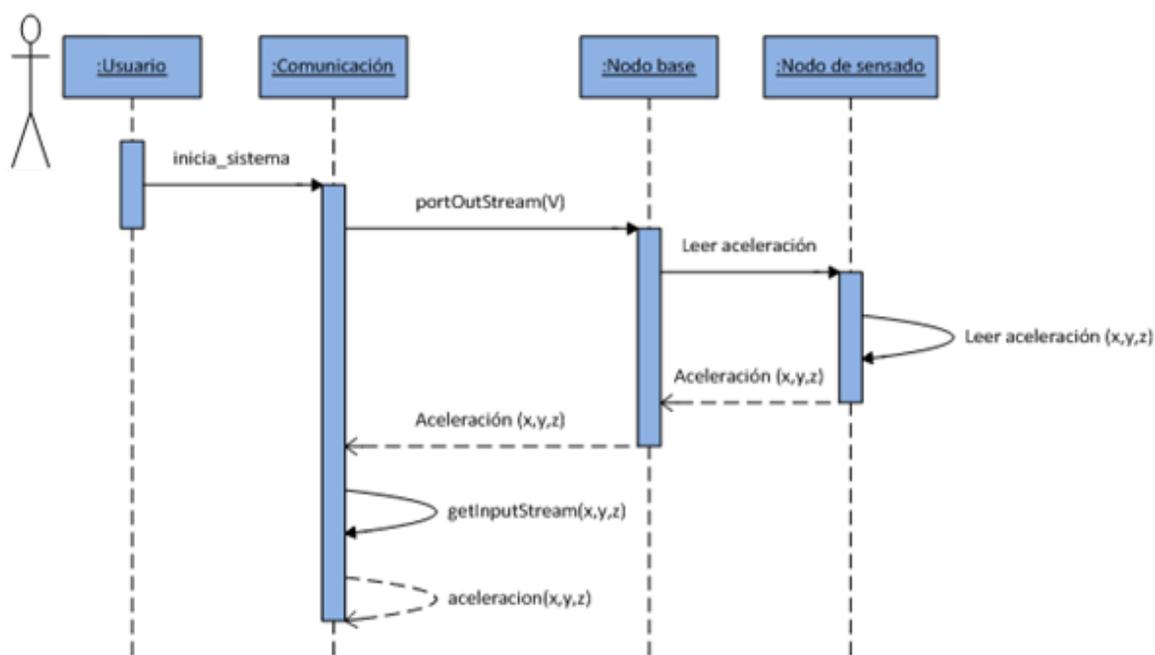


Figura 26. Diagrama de secuencia de lectura de datos.

Una vez recibidos los datos se observó que estos eran los valores que se arrojaban directamente del ADC del microcontrolador. Por lo cual fue necesario

convertir estos datos a sus correspondientes valores de aceleración que eran los importantes para el funcionamiento del sistema.

Los valores de aceleración son obtenidos a través de unas fórmulas proporcionadas por Freescale, éstas se muestran a continuación:

$$V_{read} = \frac{valorADC}{2^{N-1} * (V_{refh} - V_{refl})} \quad (1)$$

Donde:

- N es la resolución del ADC, 8 en nuestro caso.
- V_{refh} y V_{refl} son los nombres de unos pines del microcontrolador y son valores de voltaje. V_{refh} es 3.3 V y V_{refl} es 0 V.
- V_{read} es el valor de voltaje equivalente al valor del ADC.

$$g = \frac{V_{read} - V_{offset}}{s} \quad (2)$$

Donde:

- V_{offset} es un valor de voltaje manejado por los circuitos eléctricos, generalmente como un valor de error. Para nuestro caso generalmente es 1.5 V.
- S es la sensibilidad elegida para manejar por el acelerómetro. En nuestro caso es +/-1.5 g.
- g es el valor de aceleración.

Para comprobar que los valores obtenidos a través de las ecuaciones son correctos, se compararon los valores obtenidos en el programa de prueba mencionado anteriormente y los valores obtenidos con las ecuaciones.

III.4.4 Procesamiento de los datos

Finalizadas la etapas de adquisición y conversión de datos, se tenían tres señales distintas una para cada eje de aceleración como se puede observar en la Figura 28. Estas tres señales era necesario procesarlas para detectar cuando ocurría un evento de paso y poder calcular los demás parámetros relacionados a

la marcha, establecidos al inicio del capítulo. En la Figura 27 podemos observar el diagrama de secuencia del procesamiento de datos.

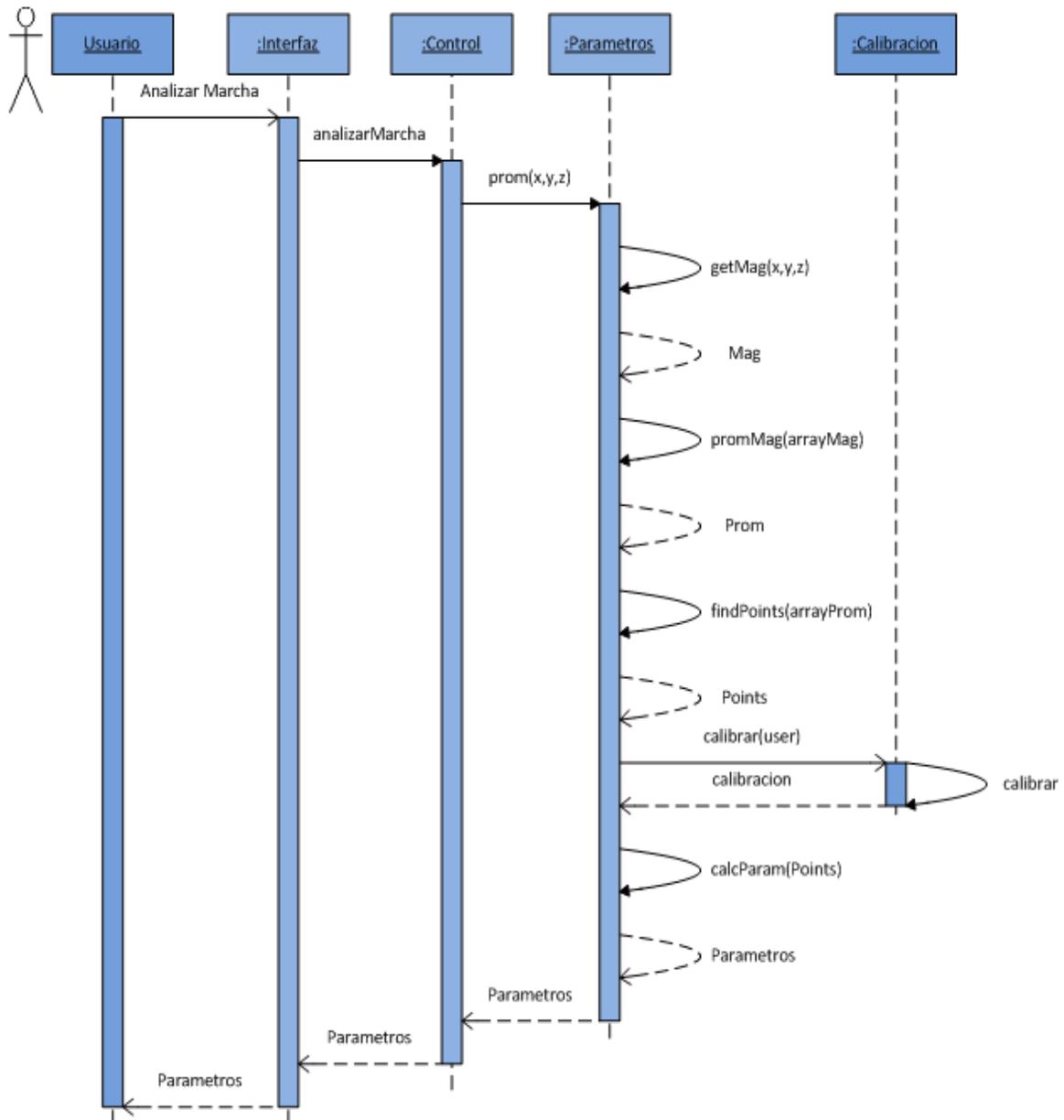


Figura 27. Diagrama de secuencia de procesamiento de datos.

Con las tres señales era complicado llevar a cabo un procesamiento simultáneo, por lo que se creó un vector magnitud resultante de las mediciones de los tres ejes del acelerómetro (x, y, z), esto de acuerdo con (Setapen y Gutierrez,

2008) y (Chen y Pomalaza-Ráez, 2009), con lo que se facilita el análisis de los datos, ya que sólo se obtiene una señal que refleja el comportamiento de cada uno de los tres ejes. Para esto se utilizó la fórmula que a continuación se presenta:

$$vecMag = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (3)$$

De acuerdo con la literatura, cuando una persona lleva a cabo la actividad de marcha, la señal de aceleración presenta un incremento y decremento de aceleración. Por lo que se pasó a realizar algunas pruebas con personas llevando a cabo la actividad de marcha, estos fueron compañeros del departamento de computación. Aquí se observó que la señal presentaba un comportamiento parecido al mencionado anteriormente, pero además de eso también se observó que contaba con varios picos como se muestra en la Figura 28. **Señal original de aceleración de los tres ejes y el vector magnitud**, estos no permitían apreciar de la mejor manera el patrón que describiera el movimiento de la marcha. Por ello se optó por agregar un pre-procesamiento al vector magnitud para suavizar la señal, y apreciar de mejor manera el movimiento de las personas cuando realizaban la marcha.

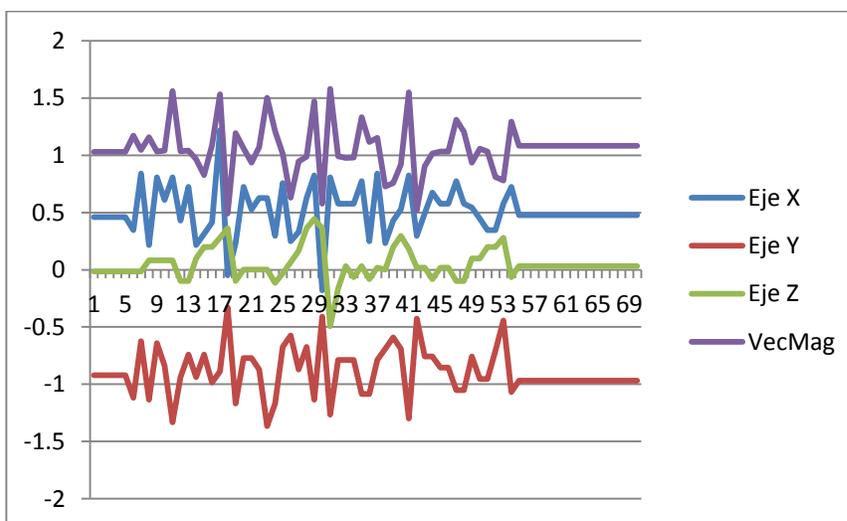


Figura 28. Señal original de aceleración de los tres ejes y el vector magnitud.

En este pre-procesamiento lo que se hacía era una especie de filtro con lo cual se suavizaba la señal, quitando ciertos picos indeseados. Lo que se hizo fue tomar la señal del vector magnitud y se guardaba en un arreglo *arrayMag []* y de este arreglo se tomaban los primeros tres valores del arreglo y se promediaban, el resultado se tomaba como un punto y se guardaba en otro arreglo *arrayProm []* el cual es la señal final del que se usa para calcular los parámetros de la marcha. De manera más detallada se tomaban los primeros tres puntos del arreglo, se promediaban y el resultado se tomaba como el primer punto de la señal suavizada, después se recorría un espacio el arreglo y se tomaban 3 valores más y se promediaban para sacar el segundo valor de la señal suavizada, de esta manera se recorre uno a uno cada espacio del arreglo hasta terminar la señal (Figura 29). Con esta nueva señal, se realizaron más pruebas con los mismos compañeros, para comprobar el comportamiento de la señal con el procesamiento aplicado, de esta manera como lo podemos observar en la Figura 30, se puede apreciar de una mejor manera el incremento y decremento de la señal de aceleración en comparación con las señales de la Figura 28.

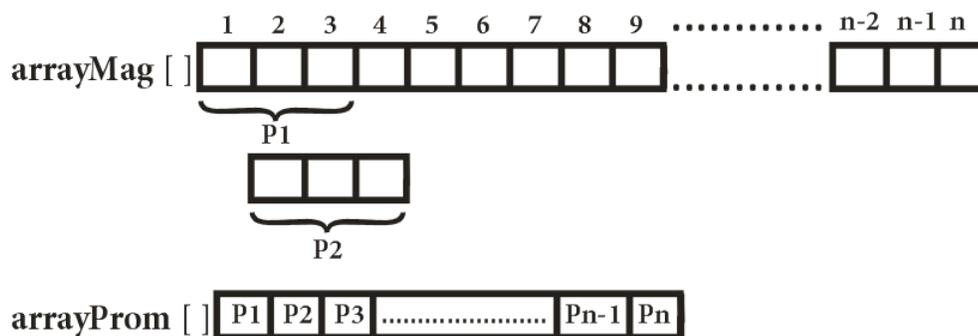


Figura 29. Método de suavizado de la señal.

Después de terminado el suavizado de la señal, se aplicó un algoritmo de búsqueda de mínimos y máximos de la señal, como se aprecia en la Figura 31 con esto se va detectando tanto el inicio, como el final de un evento de paso de una persona. Este algoritmo se aplicó, porque a través de las pruebas realizadas se estableció que cada mínimo corresponde al inicio de un paso y final de otro, y

que además entre mínimo y mínimo debe existir un máximo, de lo contrario esto no cuenta como un paso.

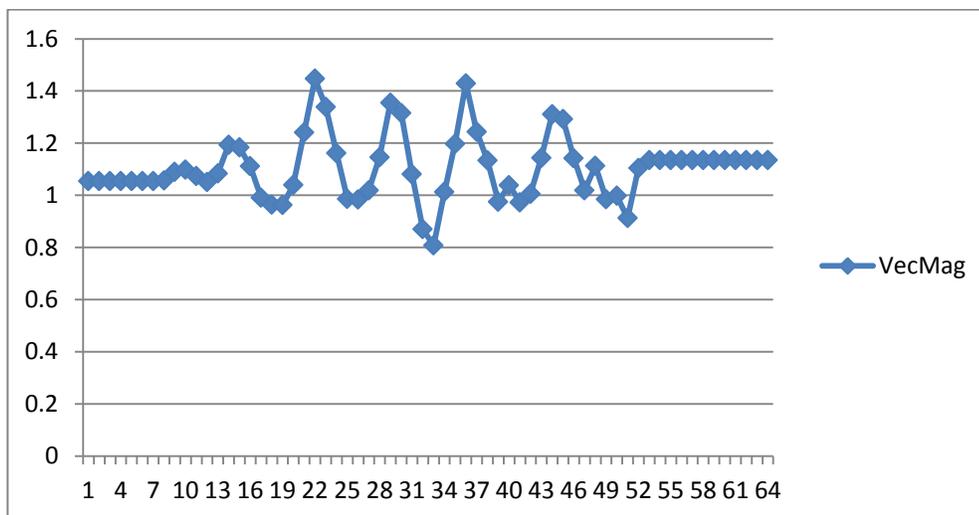


Figura 30. Vector magnitud suavizado.

Estos puntos encontrados en la señal, se iban almacenando en unas variables para después utilizarlos. Almacenados los puntos enseguida se buscó la manera de realizar los cálculos de cada uno de los parámetros de la marcha. Hasta este momento era posible conocer cuántos pasos realizaba la persona y la cadencia de los mismos, donde esta última es el número de pasos en una unidad de tiempo generalmente pasos por minuto. Solo faltaba determinar la distancia que recorría en cada paso, zancada, y la velocidad con la que realizaba el movimiento.

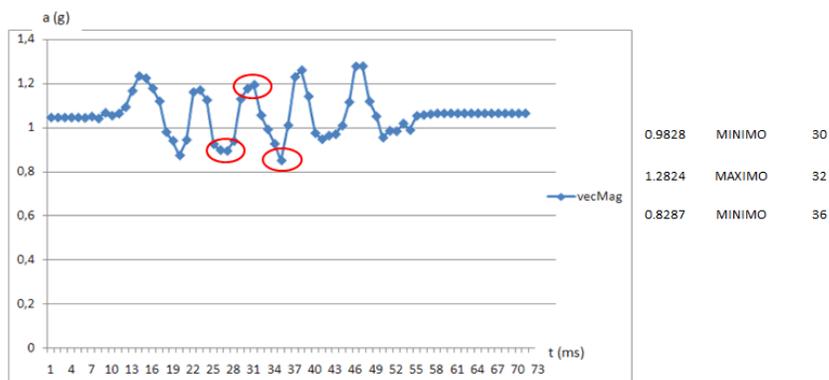


Figura 31. Búsqueda de mínimos y máximos en la señal.

De acuerdo con (Gaona y Gómez, 2007) y (Doscher, 2003), la manera en que se pueden convertir los valores de aceleración proporcionados por el sensor, a distancia y velocidad, es aplicando principios básicos de la física, los cuales dicen que la aceleración es conocida como la segunda derivada de la distancia (ec. 4). Por lo que si nosotros aplicamos las ecuaciones 5 y 6 podremos convertir la aceleración a velocidad y distancia respectivamente.

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2} \quad (4)$$

$$v = \int a dt \quad (5)$$

$$r = \iint a dt dt \quad (6)$$

Siguiendo estas ecuaciones, se aplicó un algoritmo para sacar la primera y segunda integral de la señal de aceleración, para ello se utilizó el algoritmo de la regla trapezoidal (Figura 32), el cual es uno de los métodos más utilizados para calcular aproximaciones numéricas de integrales. Este método consiste en:

- Dividir el intervalo a integrar (a, b) en **n** subintervalos de igual longitud.
- Se aproxima en cada subintervalo, la función $f(x)$ por una recta.
- Entonces se aproxima el área, que hay entre a y b por la suma de las áreas de los trapecios.
- Se evalúa la función en los extremos de los subintervalos.
- Se aplica la regla trapezoidal (Gerald y Wheatley, 2000).

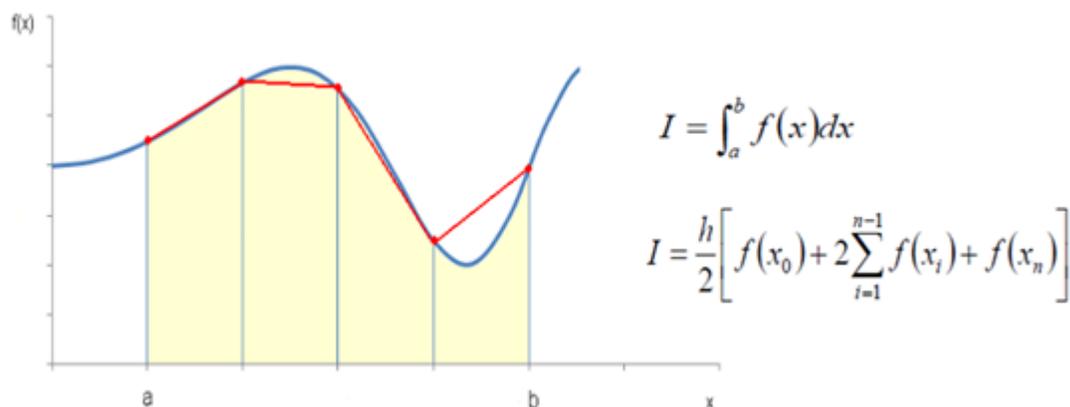


Figura 32. Representación del algoritmo de la regla trapezoidal.

III.4.5 Calibración de parámetros

Si bien aplicando el algoritmo de la regla trapezoidal se obtenían los valores de velocidad y distancia de cada paso, a través de pruebas realizadas se pudo notar que estos no eran valores correctos para cada medida, sino que tenían algunos errores. Además estos variaban de sujeto a sujeto. Por ello es que fue necesario calibrar el sistema para que aproximara lo más posible estos valores a cantidades reales de manera individual.

Para llevar a cabo esta calibración, se tomaron en cuenta varios factores que influyen en la marcha de las personas. Existen distintos factores internos o externos al cuerpo de cada persona, que hacen que todas las personas caminemos de distinta manera, algunos de estos son estatura de la persona, peso, largo de cada una de las piernas (izquierda y derecha); o algunos como el tipo de calzado, el tipo de suelo por el que se mueven, o simplemente alguna enfermedad, lesión o la edad como se ha mencionado en capítulos anteriores.

La calibración se lleva a cabo de manera automática en el sistema para cada paciente, esto se realiza a través de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados. Este algoritmo se utiliza con la finalidad de ajustar rectas a relaciones funcionales experimentales con tendencia lineal (Flores y Rojas, 2008).

Este algoritmo lo que hace es tomar dos series de datos, verificando si existe una cierta relación entre ellas. Para ello se siguen ciertas ecuaciones las cuales son mostradas en el Apéndice B, y en base a estas ecuaciones al final se obtiene como resultado una ecuación la cual correlaciona ambas series de datos, además se obtiene un coeficiente R el cual nos dice que tan fuerte es la correlación entre los datos. Este coeficiente puede tomar valores entre 1 y -1, en la Figura 33 podemos apreciar el tipo de correlación entre los datos, dependiendo del valor de R .

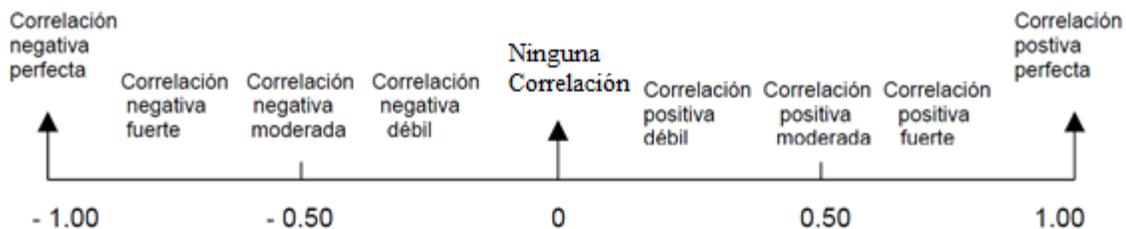


Figura 33. Tipos de correlación.

Las dos series de datos que se toman para la calibración del sistema en cada paciente son, 1) datos del sistema sin calibrar, de velocidad y distancia de acuerdo al perfil de cada paciente donde se toman en cuenta estatura, peso y largo de piernas, 2) datos de aceleración y distancia establecidos para todos los pacientes por igual. Los valores se establecen de la siguiente manera:

- Se establece una pista para caminar de 5 metros.
- Se divide esta pista en 10 pasos, con distancias de 30, 40, 35, 45, 55, 50, 60, 70, 65, 50 centímetros.
- Para las velocidades se inicia un contador en el sistema, al momento de detectar el inicio del primer paso.
- Con este contador se va tomando el tiempo que tarda en recorrer cada distancia la persona.
- Con estas medidas de distancia y tiempo que tarda en recorrerlas, se calcula la velocidad aplicando la ecuación 7.

$$velocidad = \frac{distancia}{tiempo} \quad (7)$$

En base a estas series de datos es como se calibra el sistema para cada paciente que usa el sistema.

III.4.6 Interfaz de usuario

Para poder mostrar toda la información al usuario del sistema (médico/terapeuta), se creó una interfaz a través del editor gráfico del entorno de

desarrollo Eclipse, el cual permite diseñar componentes gráficos de manera fácil y rápida. En la Figura 34 podemos observar la pantalla principal del sistema.

En esta pantalla del sistema se cuenta con cuatro opciones, 1) registrar perfil, 2) consultar/analizar paciente, 3) eliminar paciente y 4) salir, esta opción lo único que realiza es cerrar el sistema. Cada una de estas tiene una funcionalidad específica la cual se explicará a continuación.

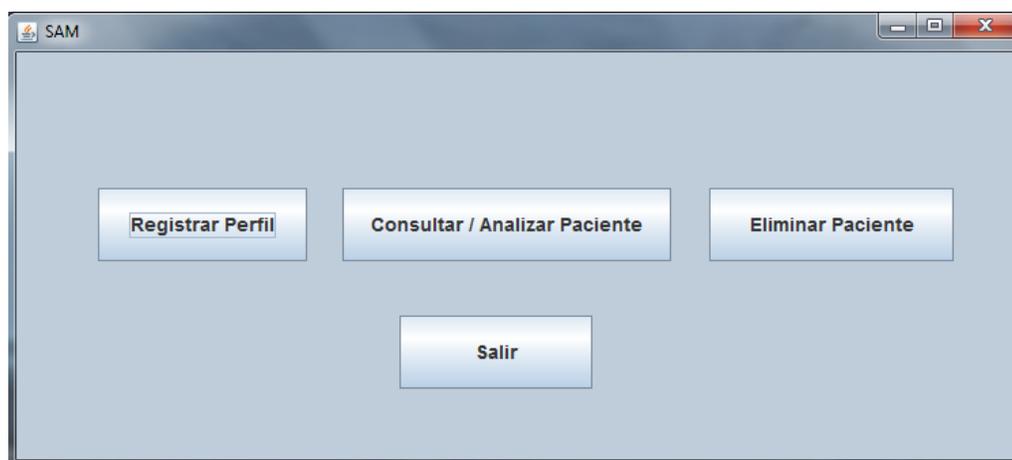


Figura 34. Pantalla principal del sistema SAM.

III.4.6.1 Opción de registrar perfil

Al presionar la opción de registrar perfil el sistema muestra otra pantalla (Figura 35). Esta pantalla permite al usuario ingresar datos del paciente al cual se quiere realizar un monitoreo de la marcha, entre los datos están nombre, sexo, edad, peso, estatura, largo de pierna izquierda y derecha. Cabe mencionar que se eligieron estos datos, porque son parámetros que están directamente relacionados con la marcha de las personas o que la afectan de alguna forma, por ejemplo una persona con alto peso y poca estatura podría tener movimientos de desplazamiento más lentos que una persona más alta y delgada.

Figura 35. Pantalla de registrar perfil.

También se tiene una opción de observación, la cual está para introducir información de algún padecimiento del paciente que afecte su habilidad para caminar, por ejemplo alguna fractura, operación, prótesis, algo que sea relevante para el médico.

Además de las opciones de ingresar los datos del paciente, hay otras tres opciones o botones, 1) calibrar, 2) guardar registro y 3) salir.

Como se mencionó anteriormente, el sistema se calibra de forma automática para cada paciente, pero para hacerlo se debe seguir un proceso, el cual se muestra en la pantalla al presionar sobre la opción de calibrar (Figura 36).

Lo primero es establecer las medidas de los pasos, ya mencionadas en la sección de calibración en este capítulo, después de esto es necesario colocar cada uno de los nodos (sensado y base) en su lugar y encenderlos.

Al hacer esto solo queda presionar el botón de inicio que se muestra en la pantalla de calibrar, darle la orden al paciente para que camine por la pista establecida y cuando termine el recorrido, solo basta presionar el botón de terminar, con ello el sistema ejecutará de manera automática los cálculos necesarios y se calibrará de manera automática.

ANALIZADOR DE MARCHA

Nombre: Edad: Sexo:

ATENCIÓN:

del paciente.

5. Indíquelo al paciente el procedimiento a seguir (esto lo realizará al momento de presionar el botón de inicio en la pantalla de calibración y se le avise que puede iniciar):

- Recorrer la pista de calibración de ida y vuelta
- Una vez recorrido el trayecto, detenerse al final hasta que se le indique que ha terminado el proceso

6. Al presionar el botón de terminar, el sistema, automáticamente se calibrará en base a los datos obtenidos en el recorrido y los datos

Velocidad: m/s

Largo de Paso: mts.

Largo de Zancada: mts.

Pasos:

Cadencia: pasos/min

Figura 36. Pantalla de calibrar sistema.

Una vez hecho esto solo basta con cerrar esta ventana y regresar a la de registro de paciente. Donde se presionará la opción de guardar registro, al hacerlo toda la información se guardará en la base de datos del sistema y se creará un perfil para el paciente al cual se le asignará un identificador (id en el sistema), este facilitará el consultar los datos del paciente cuando se requiera.

La opción que queda para la pantalla de registrar perfil es la de salir, al presionarla lo que hace es que regresa a la pantalla principal del sistema.

III.4.6.2 Opción de consultar/analizar paciente

Una vez que se ingresaron los datos del paciente al sistema y además se calibró para él, tal vez el médico desee consultar los datos del paciente para saber si realmente se creó su perfil, para hacer esto, basta con presionar la opción de consultar/analizar paciente de la pantalla principal del sistema.

Al presionar esta opción aparece la pantalla que se muestra en la Figura 37, en ella se puede apreciar el identificador, nombre, edad y sexo del paciente como datos principales.

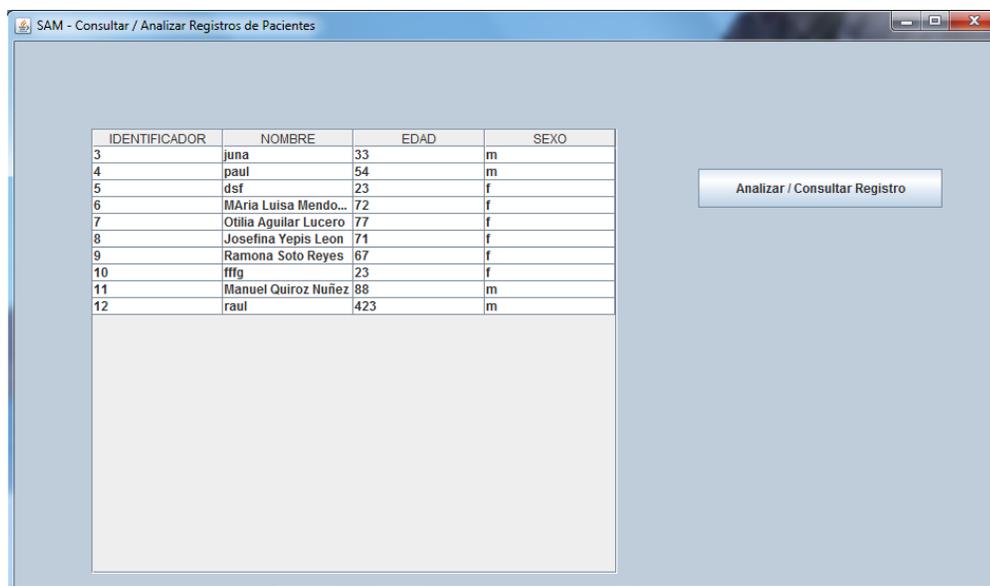


Figura 37. Pantalla de consultar paciente.

Si el médico desea consultar los demás datos que se introdujeron, deberá seleccionar el identificador del paciente, después presionar la opción de analizar/consultar registro, que aparece del lado derecho de la pantalla. Al realizar esto aparece una nueva pantalla (Figura 38).

Esta pantalla está dividida en tres secciones, a) datos del paciente ingresados al sistema en el registro. Aquí además de consultar los datos, se tiene la opción de agregar nuevas observaciones al paciente o eliminarlas, b) sirve para realizar un análisis de la marcha al paciente en caso de que el médico lo desee, hasta aquí el sistema ya debió haber sido calibrado, para realizar el análisis sólo hay que colocar cada uno de los nodos (sensado y base) en su lugar, encenderlos y presionar el botón de iniciar que se muestra en la pantalla e indicarle al paciente que realice la marcha. En esta sección, también se muestra una gráfica a través de la cual se puede observar el comportamiento de los parámetros en cada análisis realizado. Cuando se desea finalizar con él, solo basta con presionar la opción de terminar, con esto el análisis realizado se almacenará al registro del paciente, c) muestra un historial de cada uno de los análisis que se le han realizado al paciente que se está consultando. Se tiene la opción de eliminar un análisis si así lo desea el usuario. Además el tener almacenado cada uno de los

análisis, sirve para poder comparar uno con otro a través de la gráfica y ver si el paciente aumenta o disminuye su rendimiento físico.

SISTEMA ANALIZADOR DE MARCHA

Nombre del Paciente: rau Edad: 423 años Sexo: m

CARACTERÍSTICAS

Estatura: 12.0 mts.
 Peso: 12.0 kgs.
 LARGO DE PIERNAS
 Derecha: 12.0 mts.
 Izquierda: 12.0 mts.

Observaciones:

Identificador	Fecha	Observacion
12	16/10/2010	sadsd

Eliminar Observación

ANALIZAR MARCHA

Iniciar Terminar

PARÁMETROS

Velocidad: 0.0 m/s
 Largo de Paso: 0.0 cms.
 Largo de Zancada: 0.0 cms.
 Pasos: 0
 Cadencia: 0 pasos/min

Valor

Meses

AAA BBB CCC

HISTORIAL

Eliminar Registro de Bitacora

Identificador	Fecha	Velocidad	Paso	Zancada	Pasos	Cadencia
6	7/10/110	6.4824	38.8944	75.7217	6	3
8	7/10/110	7.3782	51.6471	75.3817	7	4

Figura 38. Pantalla de consultar/analizar paciente.

III.4.6.3 Opción de eliminar paciente

Al presionar la opción de eliminar paciente aparece una nueva pantalla (Figura 39), al igual que en la pantalla de consulta aparecen todos los registros que se encuentran en la base de datos. Esta opción, como su nombre lo indica permite eliminar el registro de algún paciente en caso de que se requiera, para ello solo basta con seleccionar el identificador del paciente que se desea eliminar y luego presionar la opción de borrar registro.

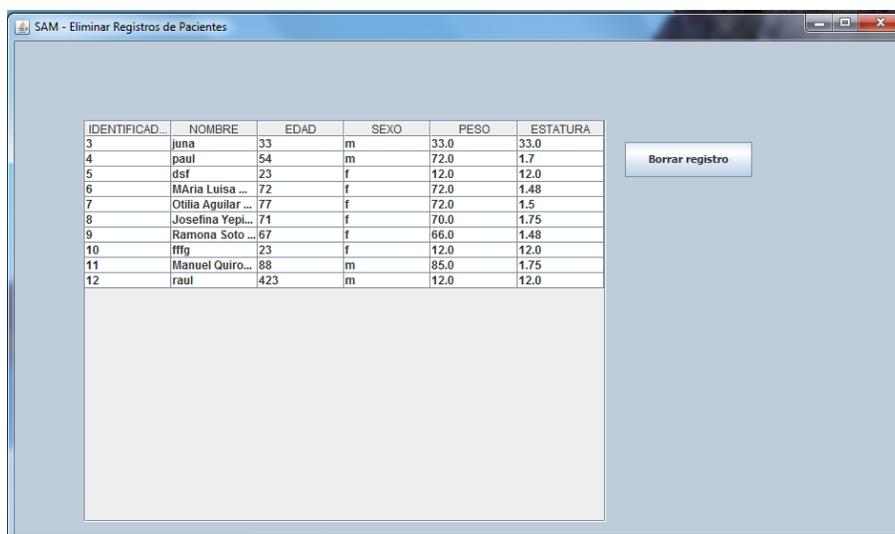


Figura 39. Pantalla de eliminar paciente.

III.5 Consideraciones de la implementación

Para poder desarrollar el sistema se utilizó una computadora con sistema operativo Windows XP, esto porque los sensores utilizados solo funcionan en ese sistema operativo, los drivers no son compatibles con otros sistemas operativos como Windows Vista o Windows 7, y eso se pudo corroborar al realizar algunas pruebas, donde se observó que simplemente el sistema no detectaba los sensores. Las características de la computadora utilizada son:

- Sistema operativo Windows XP Profesional
- 2 GB de RAM
- 100 GB de disco duro

Además la totalidad de la programación del sistema se implementó en lenguaje Java a través del IDE de Eclipse, este lenguaje nos permitió establecer la comunicación a través del puerto serie de la computadora para poder leer los cambios de aceleración detectados, además se utilizó el editor gráfico de Eclipse como ya se mencionó anteriormente para facilitar el desarrollo de la interfaz de usuario.

III.6 Resumen

Se desarrolló un sistema capaz de monitorear la marcha de adultos mayores, el cual cumple con cada una de las funcionalidades establecidas al principio del capítulo. Estas se establecieron después de consultar la literatura y verificar las áreas donde se podría brindar una aportación.

El sistema permite que el usuario (médico/terapeuta) pueda tener un registro de los diferentes análisis que le realiza a cada paciente, además le permite comparar cada uno de estos y verificar si el paciente progresa, mantiene o disminuye su rendimiento físico.

En el capítulo siguiente se presenta la evaluación del sistema, iniciando con la evaluación de funcionalidad del sistema en adultos mayores, y terminando con una evaluación con médicos/terapeutas especialistas en el análisis de la marcha.

Capítulo IV

Evaluación y resultados

IV.1 Introducción

En este capítulo se presenta la evaluación del sistema de monitoreo de la marcha en adultos mayores, la cual fue presentada en el capítulo III. Esta evaluación consistió en probar el sistema con adultos mayores y además, con la participación de algunos médicos y terapeutas especialistas en el cuidado de adultos mayores, verificar su uso y utilidad.

El capítulo se organiza de la siguiente manera, primero se presenta la evaluación de funcionalidad, la cual nos permitió ver si el sistema realmente cumplía con cada una de sus funcionalidades, como verificar las medidas que brinda con respecto a medidas reales. También, se presenta la intención de uso por parte de adultos mayores, así como la evaluación de percepción de utilidad por parte de los médicos/terapeutas para saber si el sistema realmente les brindaría algunos beneficios en su trabajo, y si realmente estarían dispuestos a utilizarlo. Respectivamente en cada una de las evaluaciones se inicia con la descripción de la metodología utilizada, seguido del diseño del experimento y la realización del mismo. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos, discutiendo cada uno de ellos.

IV.2 Metodología de evaluación

Para llevar a cabo la evaluación del sistema se siguió la metodología mostrada en la Figura 40, la cual consta de 5 etapas, las cuales se muestran a continuación:

- **Planteamiento del problema.** Aquí se da una breve descripción de la evaluación y el objetivo para el que se desarrolló.

- **Diseño del experimento.** En esta etapa se menciona la forma en que se llevará a cabo la evaluación, se establecen las preguntas de investigación, factores a evaluar, se describen los participantes, actividades que realizarán y los materiales que se utilizaran.
- **Experimento de evaluación.** En esta etapa se realiza y detalla cada una de las actividades realizadas por cada participante.
- **Análisis de resultados.** En esta etapa se realiza el análisis de la información que se recopila de cada participante, con la cual se busca obtener las conclusiones a partir de los resultados.
- **Conclusiones.** Se realizan las conclusiones de acuerdo a los resultados encontrados.



Figura 40. Metodología de la evaluación funcional.

IV.3 Diseño del experimento de evaluación

La evaluación se dividió en dos partes, una con adultos mayores donde se buscaba probar la funcionalidad del sistema, así como conocer la opinión de estos en cuanto al uso y beneficios que podría brindarles el sistema; y otra con médicos/terapeutas para conocer la percepción de utilidad y beneficios que el sistema les podría traer en sus lugares de trabajo.

IV.3.1 Evaluación funcional con adultos mayores

El objetivo de la evaluación fue probar el funcionamiento del sistema, en el monitoreo de la marcha en adultos mayores, y además ver cuál era su percepción con respecto al uso del sistema.

IV.3.1.1 Planteamiento del problema

Si bien la finalidad del sistema es importante, más importante es el conocer si realmente el sistema realiza de manera adecuada cada una de las funcionalidades de las que se compone, además de conocer si los adultos mayores están dispuestos a utilizarlo. Es por ello que se diseñó este protocolo de evaluación funcional. En este trabajo se ha desarrollado un sistema capaz de monitorear la marcha de adultos mayores, detectando los principales parámetros relacionados a la misma, para de esta forma brindar una herramienta de apoyo a médicos o terapeutas al momento de evaluar el rendimiento físico de los adultos mayores. El sistema es capaz de monitorear al adulto mayor de forma continua y no obstrusiva. Esto permite conocer estos parámetros en cualquier momento, lo que ayudaría a los médicos/terapeutas a detectar situaciones adversas en la salud de la persona, que podrían llevarlos a baja movilidad, situaciones de depresión o algún padecimiento que afecte su rendimiento físico y los lleve a un estado de salud severo e incluso la muerte.

IV.3.1.2 Diseño del experimento

En esta sección se presenta al diseño del experimento para llevar a cabo la evaluación de funcionalidad del sistema. Primeramente se plantean las preguntas de investigación, el equipo a utilizar, el lugar y participantes, por último se describen las actividades a realizar incluyendo los cuestionarios a contestar.

Preguntas de investigación

- ¿Cuál es la percepción del adulto mayor con respecto al uso y beneficios del sistema?

Factores a evaluar

Las variables que se planteó medir a través de la evaluación son las siguientes:

- Funcionalidad del sistema en los adultos mayores
- Percepción de utilidad del sistema y beneficios por parte de los adultos mayores

Descripción de los participantes

Para poder llevar a cabo la evaluación del sistema se contó con dos grupos de adultos mayores: de vida dependiente que son de Casa Hogar del Anciano, y de vida independiente que son de Desarrollo Social del Municipio, estos últimos, asisten diariamente a realizar distintas actividades que allí se les ofrecen. Se eligieron estos dos grupos, para evaluar el sistema en distintos tipos de adultos mayores. Algunos con problemas físicos, tanto debidos a la edad, como a la acción de enfermedades físicas y psicológicas, y por ello dependen de alguna manera de los cuidadores de Casa Hogar donde se encuentran; mientras que el otro grupo, son personas más independientes en el desarrollo de sus actividades diarias, y solo cuentan con problemas debidos al deterioro natural del cuerpo por el paso de los años.

En Casa Hogar del Anciano participaron 10 adultos mayores, los cuales eran capaces de realizar las actividades propuestas para evaluar el sistema, es decir adultos mayores que pudieran realizar la marcha, ya que la mayoría de los adultos mayores de Casa Hogar están en silla de rueda. Como podemos observar en la Tabla III, estos en promedio están entre los 81 años, y todos sufren de algún padecimiento que afecta su capacidad de caminar, que van desde simple deterioro físico debido a la edad, hasta Parkinson, alguna prótesis en su cuerpo o lesiones graves.

Tabla III. Adultos mayores de Casa Hogar.

Participante	Edad (años)	Padecimiento
A	65	Prótesis de cadera derecha (2 años de operación)
B	82	Osteoartrosis ¹ de rodillas
C	67	Enfermedad de Parkinson
D	82	Secuelas de E.V.C. (hemiplejía derecha)
E	75	Deterioro por la edad
F	88	Síndrome demencial
G	87	Osteoartrosis (ambas rodillas)
H	85	Atrofia por desuso
I	90	Síndrome demencial (Alzheimer)
J	93	Osteoartrosis (varo de rodillas) con prótesis de rodilla izquierda

De Desarrollo Social del Municipio, que es un centro donde se brindan servicios de atención y apoyo social al adulto mayor, participaron de igual manera 10 adultos mayores que en promedio se encuentran entre los 75 años, estos pertenecen a una de las clases que allí se les imparten. Estos solo presentaron padecimientos debidos al deterioro normal de la edad, los cuales hacen que tiendan a disminuir su capacidad física (Tabla IV).

¹ Es dolor, inflamación y limitación funcional de las articulaciones.

Tabla IV. Adultos mayores de Desarrollo Social.

Participante	Edad (años)	Padecimiento
A	70	Síntomas del deterioro normal por el paso de los años. <ul style="list-style-type: none"> • Dolor en piernas • Cansancio
B	70	
C	75	
D	80	
E	77	
F	68	
G	71	
H	82	
I	80	
J	74	

IV.3.1.3 Características del escenario de evaluación

Las áreas donde se evaluó el sistema fueron: las instalaciones del gimnasio de Casa Hogar, que es donde asisten los adultos mayores a recibir sus terapias físicas, además que el lugar facilita la instalación del equipo a utilizar y tener un mejor control de las actividades a realizar, en la Figura 41 podemos observar las instalaciones del gimnasio y el lugar donde fueron acomodados los instrumentos utilizados en la evaluación.



Figura 41. Acomodo del lugar del experimento.

Por otra parte, se usaron las instalaciones de Desarrollo Social del municipio (Figura 42), a las cuales asisten los adultos mayores para realizar las actividades de recreación que allí se les ofrecen.

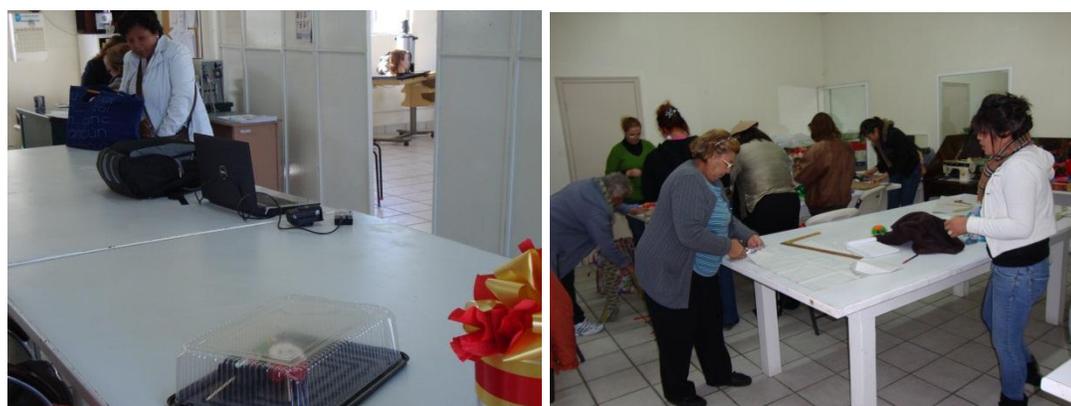


Figura 42. Instalaciones de Desarrollo Social.

Se utilizó una computadora personal la cual contaba con el sistema funcionando, además de los sensores de aceleración que se necesitan para monitoreo de los adultos mayores.

IV.3.1.4 Actividades realizadas

Las actividades realizadas consistieron principalmente en tres etapas: una etapa de introducción, donde se presentó el objetivo del trabajo a los participantes, además se les explicó el propósito de la evaluación; otra etapa de descripción de las actividades que llevaron a cabo, y por último la etapa de preguntas, donde se aplicó un cuestionario. En la Figura 43 se presentan las actividades que se llevaron a cabo con cada uno de los participantes, las cuales se describen a continuación:



Figura 43. Actividades de la evaluación de funcionalidad.

La primera actividad que realizaba cada paciente, fue la de registrarse, en la que era interrogado para introducir cada uno de los datos necesarios al sistema.

Una vez registrado cada paciente, era necesario calibrar el sistema. Aquí era necesario colocar el sensor en la persona. Para después seguir las instrucciones mostradas en la pantalla de calibración descrita en la sección III.4.6.1.

Realizada la calibración del sistema, enseguida era necesario verificar si efectivamente el sistema se calibraba de manera correcta para cada paciente. Para ello se realizaba un análisis de marcha, donde se comparaba las medidas del sistema con medidas reales, tomadas con cinta métrica y cronometro.

Al final del análisis, se le realizaba un breve cuestionario a cada participante (adulto mayor) este lo podemos observar en el Apéndice C, para

recabar información acerca de su percepción con respecto al uso del sistema y los beneficios que pudiera tener.

IV.3.1.5 Resultados

En base a las actividades realizadas con cada uno de los participantes, se probó el funcionamiento del sistema.

Las primeras funcionalidades que se probaron era si realmente creaba un registro para cada paciente por separado con los datos ingresados en el sistema. Lo cual realizaba de manera satisfactoria, esto se comprobó con cada una de las pruebas realizadas donde nos mostraba el registro creado para varios pacientes. Además todos los datos eran los ingresados para cada paciente.

En la Tabla V se muestran los resultados recabados en las pruebas de funcionalidad que se llevaron a cabo en Casa Hogar. Como se había mencionado anteriormente en el método de calibración se estableció una pista de 5 metros, esta misma pista se utilizó para comparar los resultados brindados por el sistema y resultados obtenidos de forma manual. Del total de pasos para todos los participantes de Casa Hogar, a través del sistema se detecta el 93% de los pasos. Aquí se pudo apreciar que el sistema tenía problemas para detectar los pasos al inicio del movimiento de marcha de algunas personas, estas tenían mayores problemas en su habilidad para caminar, por lo que su movimiento de marcha al inicio no era el adecuado, y solo hasta que la persona tomaba su ritmo de marcha normal el sistema detectaba los pasos de manera continua.

En cuanto a los resultados de distancia, lo que se hizo fue comparar la distancia total recorrida real (5 m.) y la brindada por el sistema. Por otra parte, para la velocidad se tomó la velocidad promedio presentada por la persona tanto de forma real como con el sistema en la totalidad del recorrido que hacían. En cuanto a distancia recorrida se encontró que el sistema tiene un error promedio de +/- 7% con respecto a la medida real, y con una desviación estándar de 8.75% m. Por otro lado en velocidad se encontró un error promedio de +/- 1.42% además de una desviación estándar de 4.53% m/s.

Tabla V. Resultados de funcionalidad en Casa Hogar.

Paciente	Pasos Manuales	Pasos Sistema	Distancia Manual (m)	Distancia Sistema (m)	Velocidad Manual (m/s)	Velocidad Sistema (m/s)
1	10	10	5	4.92	0.4699	0.4781
2	10	10	5	5.09	0.5065	0.5239
3	10	8	5	3.88	0.5524	0.5127
4	10	9	5	4.6	0.4935	0.471
5	10	10	5	4.94	0.5112	0.5315
6	10	10	5	5.05	0.4849	0.4768
7	10	9	5	4.44	0.5399	0.5126
8	10	9	5	4.53	0.5096	0.5193
9	10	8	5	3.91	0.4748	0.4292
10	10	10	5	5.1	0.5197	0.5341

Por otro lado en la Tabla VI podemos apreciar los resultados obtenidos en Desarrollo Social. Para tener una referencia con que comparar los resultados como se mencionó anteriormente se utilizó la pista de calibración de 5 metros. Del total de pasos a través del sistema se detectó el 96% de los pasos. Para la distancia podemos ver que se tiene un error promedio de +/- 3.3% con una desviación estándar de 5.36%. Mientras que en velocidad se tiene un error promedio de +/- 0.37% con una desviación estándar de 2.36%. Aquí se tuvo el mismo problema que se mencionó anteriormente, pero disminuyó esto porque las

personas no tenían problemas tan fuertes para desplazarse como los de Casa Hogar.

Tabla VI. Resultados de funcionalidad de Desarrollo Social.

Paciente	Pasos Manuales	Pasos Sistema	Distancia Manual (m)	Distancia Sistema (m)	Velocidad Manual (m/s)	Velocidad Sistema (m/s)
1	10	10	5	5.02	0.7911	0.7623
2	10	9	5	4.57	0.6468	0.6375
3	10	9	5	4.51	0.6075	0.615
4	10	10	5	5.12	0.7022	0.7205
5	10	10	5	5.05	0.6402	0.6467
6	10	9	5	4.48	0.7163	0.7046
7	10	10	5	4.94	0.7429	0.738
8	10	10	5	5.08	0.6313	0.6519
9	10	9	5	4.49	0.6218	0.6479
10	10	10	5	5.09	0.6257	0.6183

En la Tabla VII, podemos ver los resultados del porcentaje de pasos detectados por el sistema, así como el error promedio y desviación estándar de los valores reales y valores del sistema en distancia y velocidad. Haciendo un análisis en general del sistema podemos decir que se detectó el 94% de los pasos. Además para distancia se encontró que en promedio se tiene un error de

5.19% metros con respecto a la medida real con una desviación estándar de 7.49% metros. Por otra parte para la velocidad se encontró un error promedio de 0.52% con una desviación estándar de 3.78%.

Tabla VII. Resultados de error y desviación estandar del sistema.

	Pasos detectados (%)	Error promedio en distancia (DS)(%)	Error promedio en velocidad (DS)(%)
Casa hogar	93	7 (8.75)	1.42 (4.53)
Desarrollo social	96	3.3 (5.36)	0.37 (2.36)
Resultado general	94	5.19 (7.49)	0.52 (3.78)

*DS = desviación estándar.

A partir de estos resultados se puede decir que los mejores resultados se dieron en Desarrollo Social. Estas personas tenían menos problemas para poder desempeñar la marcha con lo cual se presentaron menos problemas o errores en las medidas del sistema. A partir de los resultados encontrados podemos concluir que la calibración automática del sistema se realizaba de manera exitosa. Solo habrá que ajustar el sistema para que detecte en su totalidad los pasos, esto podría realizarse, haciendo más pruebas con adultos mayores y verificar el comportamiento de la señal de aceleración, con lo cual podríamos verificar la diferencia que existe entre un adulto mayor con problemas serios para caminar y uno solo con desgaste debido a la edad.

IV.3.1.6 Percepción de utilidad del adulto mayor

El probar la funcionalidad del sistema en los adultos mayores también nos dió la oportunidad de entrevistarlos, esto para saber su percepción de utilidad con respecto al uso del sistema.

Para conocer los resultados encontrados a través de las entrevistas se realizó un análisis cualitativo de la información. Este tipo de análisis permite identificar aspectos que son importantes para un determinado estudio, además de establecer relaciones entre estos aspectos que permiten generar modelos a partir de la información que permiten una interpretación sobre la información estudiada. La estrategia seguida para realizarlo fue la teoría fundamentada, (Wilson y Howell, 2008).

Esta consta de algunos pasos a realizar, lo primero es llevar a cabo la transcripción total de la información recopilada. Al finalizar esto es necesario establecer conceptos en el texto, estos deben estar enfocados en la pregunta de investigación de la evaluación. Una vez establecidos los conceptos, se pasa a verificarlos para ver cuales tienen alguna relación, y en base a eso se van juntando, creando categorías. Después a cada categoría se le van asignando un conjunto de propiedades las cuales son características importantes de cada una y por último se establecen las dimensiones de cada propiedad, que son los datos o información relevante encontrada en las entrevistas. En la Tabla VIII podemos observar un ejemplo de cómo se realiza este proceso.

Un dato interesante encontrado, es que de los 20 adultos mayores en los que se probó el sistema tanto de Casa Hogar como de Desarrollo Social, solamente uno respondió que no estaría dispuesto a usarlo, esto porque le molestaría al caminar y no le gusta traer nada molesto al caminar, con esto podemos ver que en su mayoría estarían dispuestos a usar el sensor, lo que permitiría estarlos monitoreando en cualquier momento. Además de acuerdo al análisis realizado con la teoría fundamentada, se obtuvo como resultado la información mostrada en la Tabla IX.

Tabla VIII. Ejemplo de teoría fundamentada.

Participante	Respuesta	Conceptos
M3	Ayudaría a monitorear y checar los pequeños detalles de la rehabilitación [usos del sistema]	<ul style="list-style-type: none"> • Usos del sistema • Oportunidades para mejorar el sistema • Beneficios del uso del sistema
M4	Con aparatos de fuerza y movimiento [oportunidades para mejorar el sistema] como el CON-TREX y hacerlo con una función más	
M5	Los complementarí ya que se podría tener un registro más específico acerca de lo que se puede corregir o trabajar más [beneficios del uso del sistema]	
M6	Como asistente para llevar un control de la actividad en casa y tener una retroalimentación de esta [usos del sistema]	

En esta podemos ver que se obtuvo una sola categoría que es el uso del sistema por parte de los adultos mayores, esta categoría se dividió en 3 propiedades las cuales son beneficios que tendrían al usar el sistema, problemas que podrían tener y cambios que sugieren para mejorarlo y facilitar su uso.

Tabla IX. Resultados de la teoría fundamentada en adultos mayores.

Categoría	Propiedades	Dimensiones
Uso del sistema	Beneficios al usarlo	Mejor atención por parte del médico
	Problemas al usarlo	Grande
		Pesado
		Podría caerse
		Olvidar ponérselo
	Cambios que lo mejorarían	Poner el sensor en un cinto
		Más pequeño
		Menos pesado

En cuanto a los beneficios, mencionaron que le ayudaría al médico que los atiende a saber si están sufriendo algún problema de salud como dolores en su cuerpo, además con él les podría brindar una mejor y más rápida atención de salud. A continuación se muestran algunos comentarios recibidos:

P4: *“Si es por el bien de nosotros, detectaríamos mejor si padecemos alguna enfermedad”*

P3: *“Podría decirme si camino bien, con mi equilibrio”*

Otra propiedad que se encontró fue que problemas podría tener al usar el sensor. Aunque la mayoría contestó que no tendría problema en usarlo, los que mencionaron que si tendrían problemas nos mencionaron que el sensor utilizado es grande y pesado lo cual les incomoda al caminar, además que podría en algún momento caérseles, además algo que mencionaron que podría ser un factor importante es que podría olvidárseles colocarse el sensor. A continuación se muestran algunos comentarios:

P1: *“Si tendría un problema, que se me olvidara ponérmelo”*

P11: *“Pues sí, que se me cayera y también como le haría al ir al baño”*

P18: *“Si, me molestaría y me estorbaría”*

La última de las propiedades que se encontraron es que cambios le harían al sensor para facilitar su uso, aquí se observó un comentario que hacían la mayoría y es que si el sensor estuviera montado en un cinturón sería más cómodo, además se mencionó que si fuera un poco más chico y menos pesado, pasaría más desapercibido. A continuación se muestran unos comentarios al respecto:

P6: *“Más chico que lo haga más cómodo”*

P4: *“Colocarlo en un cinto lo haría más accesible, no molesta pero estaría mejor”*

IV.3.2 Evaluación con médicos/terapeutas

El objetivo de la evaluación cualitativa fue recabar información acerca de la percepción de utilidad y beneficios del sistema para monitorear la marcha, por parte de médicos y profesionistas especializados (médicos y terapeutas en rehabilitación) en el monitoreo del rendimiento físico de adultos mayores con experiencia en su cuidado diario.

IV.3.2.1 Planteamiento del problema

El conocer los parámetros de la marcha de adultos mayores ayuda a los médicos a detectar situaciones adversas que podrían causar algún mal funcionamiento del organismo de las personas, y más importante sería conocer estos parámetros de manera rápida y en cualquier momento. Es por eso que en esta sección se presenta el diseño de un protocolo de evaluación del sistema para conocer la percepción de utilidad y beneficios que pudiera tener este sistema para médicos y terapeutas².

² Terapeuta, se refiere al profesional de las ciencias de la salud, caracterizada por buscar el desarrollo adecuado de las funciones que producen los sistemas del cuerpo, donde su buen o mal funcionamiento, repercute en la cinética o movimiento corporal humano.

IV.3.2.2 Diseño del experimento de evaluación

En esta sección se presenta al diseño del experimento para llevar a cabo la evaluación cualitativa del sistema. Primeramente se plantean las preguntas de investigación, el equipo a utilizar, el lugar y participantes, por último se describen las actividades realizadas, incluyendo los cuestionarios a contestar.

Preguntas de investigación

- ¿Cuál es la percepción de utilidad y beneficios del sistema para el médico/terapeuta?

Factores a evaluar

Las variables que se desean medir a través de la evaluación son las siguientes:

- Percepción de utilidad y beneficios del sistema por parte del médico o terapeuta

Descripción de los participantes

Para analizar la percepción de utilidad y beneficios del sistema en médicos/terapeutas, primero se realizó la evaluación, en la Casa Hogar del anciano con el médico y terapeutas. Se tomó en cuenta a estas personas, ya que son los encargados de monitorear el estado físico de todos los adultos que se encuentran en La Casa Hogar del Anciano, para monitorear si sufren algún padecimiento físico. En la Tabla X se describen las características de estas personas.

Por otra parte, se evaluó la utilidad y beneficios del sistema con médicos/terapeutas de CRI Ensenada (Centro de Rehabilitación Integral de Ensenada), los cuales son especialistas en rehabilitación física que incluye, monitoreo de la marcha de personas de todas las edades, incluyendo adultos mayores, y les brindan ayuda terapéutica, para mejorar su estado de salud. En la Tabla XI se describen las características de estas personas.

IV.3.2.3 Características del escenario de evaluación

Las áreas donde se evaluó el sistema son: el área donde labora cada uno de los participantes, en las instalaciones de la Casa Hogar del Anciano, que son área del gimnasio y consultorio.

Tabla X. Descripción de los participantes de Casa Hogar.

Participante	Sexo	Edad (años)	Años de experiencia	Profesión	Trabajo actual
A	Femenino	41-60	5-10	Terapista física	Fisioterapia y rehabilitación
B	Femenino	21-40	2-5	Terapista física	Rehabilitación
C	Masculino	41-60	5-10	Médico general	Médico general

Para consultar a los especialistas de CRI, se acudió al centro de trabajo de cada uno, para mostrarles el funcionamiento del sistema y evaluarlo.

Se utilizó una computadora personal en la cual se encontraba el sistema funcionando, además de los sensores de aceleración que se necesitan para monitorear a los adultos mayores.

IV.3.2.4 Actividades realizadas

Las actividades realizadas consistieron principalmente en tres etapas: una etapa de introducción, donde se presentó el objetivo del trabajo a los participantes, además se les explicó el propósito de la evaluación, otra etapa de descripción de las actividades que llevarían a cabo, y por último la etapa de preguntas, donde se aplicó un cuestionario a cada uno. En la Figura 44 se presentan las actividades que se llevaron a cabo con cada uno de los participantes, las cuales se describen a continuación:

Tabla XI. Participantes CRI Ensenada.

Participantes	Sexo	Edad	Años de experiencia	Profesión	Trabajo actual
A	Masculino	21-40	0-2	Pasante en terapia física	Servicio social en terapia física y rehabilitación
B	Masculino	21-40	2-5	Licenciado en terapia física	Terapia física y rehabilitación
C	Femenino	21-40	0-2	Pasante en terapia física	Servicio social en terapia física y rehabilitación
D	Masculino	21-40	0-2	Pasante en terapia física	Servicio social en terapia física y rehabilitación
E	Masculino	21-40	5-10	Licenciado en terapia física	Terapia Física y rehabilitación

En la introducción, se brindó una explicación del propósito del trabajo desarrollado, y los objetivos del mismo.

Después de la introducción, se aplicó un cuestionario inicial (Apéndice C), a través del cual se obtuvo información de la experiencia de los participantes en brindar atención a adultos mayores. También se obtuvo información acerca de cómo realizaban actualmente una evaluación del rendimiento físico de sus pacientes, las formas en las que registran esa información, si existía algún registro para cada persona, o en caso de no hacerlo preguntar por qué no lo

llevaban a cabo. Esta información ayudó a reafirmar la percepción de utilidad y beneficios de los médicos/terapeutas con respecto al uso del sistema.



Figura 44. Actividades de la evaluación cualitativa.

Aplicado el cuestionario inicial, se pasó a presentar el sistema. Para ello se hizo una demostración del funcionamiento del sistema, accedendo a cada una de las opciones con las que cuenta, para que se familiarizaran un poco con el mismo.

Después, se le pidió a cada uno de los participantes, que realizara un análisis de la marcha a un paciente. Para que verificaran mejor el funcionamiento del sistema, se les pidió que realizaran el análisis a través de dos formas, una de forma manual y la otra con el sistema, esto les brindó una mejor perspectiva de las ventajas y desventajas del sistema. Para el análisis manual se les brindó una hoja en la cual podían registrar cada uno de los parámetros de la marcha, la cual podemos encontrar en el apéndice B. Las actividades realizadas se mencionan a continuación:

Método tradicional o manual:

- El médico/terapeuta le pidió a un adulto mayor que realizara la actividad de la marcha por una pista, para su análisis.
- Enseguida calculó los parámetros de monitoreo de la marcha (velocidad, longitud de paso y zancada, cadencia). Esto por el método que ellos siguen (si es que lo tienen) o el método que se les proporcionó (Apéndice B).

Sistema:

- El médico/terapeuta registró los datos de un nuevo paciente.
- Calibró el sistema para este paciente. En esta opción, se colocó el sensor a un adulto mayor y se siguió el proceso para calibrar que aparece en la pantalla del sistema.
- Una vez hecha la calibración, se realizó un análisis de la marcha de la misma persona, de acuerdo a las instrucciones del sistema.
- Al final se eliminó un registro de un paciente.

Al concluir las actividades anteriores, a cada participante se le brindó un cuestionario de salida (Apéndice C), esto para recabar información acerca de la percepción que tienen con respecto al uso y beneficios que les pudiera brindar el sistema. El cuestionario estaba compuesto de 9 preguntas basadas en el modelo TAM (por sus siglas en inglés, Technology Acceptance Model) propuesto por (Davis, 1989). Las preguntas fueron medidas utilizando una escala *Likert* de 5 niveles (Figura 45). Estas fueron complementadas con 8 preguntas abiertas, para conocer la opinión en general de cada participante sobre el sistema.

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

Figura 45. Escala de Likert utilizada.

IV.3.2.5 Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a través de las actividades realizadas y los cuestionarios de evaluación aplicados a cada participante.

IV.3.2.5.1 Resultados cuestionario de entrada

Con información recabada en el cuestionario de entrada se pudo saber los métodos que utilizan actualmente los médicos/terapeutas para llevar a cabo el

monitoreo de sus pacientes, principalmente adultos mayores. Además de conocer si llevaban a cabo un registro de la información de los diferentes análisis de sus pacientes y que tipo de información era la que almacenaban en caso de hacerlo.

Para analizar la información de igual manera se utilizó la teoría fundamentada mencionada anteriormente, que aunque las preguntas realizadas son muy pocas, de igual manera nos permitieron recabar información de acuerdo al objetivo para el que fueron realizados, los resultados los podemos observar en la Tabla XII.

Aquí se obtuvo como resultado una sola categoría la cual se denominó monitoreo de pacientes. En esta categoría se establecieron 4 propiedades importantes.

La primera de las categorías es los métodos usados para llevar a cabo un monitoreo del rendimiento físico de sus pacientes. Aquí se encontró que dependiendo del tipo de problema que esté afectando al paciente, se establecen un conjunto de ejercicios, estas las van monitoreando de manera visual día con día para ver si el paciente va mejorando en su habilidad para realizarlas, además les van checando sus signos vitales como presión arterial, frecuencia cardiaca y respiratoria antes de realizar los ejercicios. De esta manera evitan fatigas y problemas de hipertensión.

Por otra parte en la segunda propiedad es motivos por los que ellos realizan un monitoreo, encontramos que el principal es que lo hacen para monitorear a sus pacientes en cada uno de los movimientos que realizan en los ejercicios establecidos, con esto van revisando su evolución con respecto al problema que los aqueja, y con esto ya ellos deciden si la rutina de ejercicios establecida es la adecuada o no.

La tercera de las propiedades encontradas fue la información que registran en cada uno de los análisis, aquí nos mencionaron que en los expedientes que manejan solo registran los signos vitales presentados por el paciente tanto al inicio como al final de sus ejercicios, además del progreso que van observando que tiene el paciente y por último registran los problemas que presentaron los

pacientes en sus ejercicios, tales como cansancio, mareos o cualquier tipo de problema.

Tabla XII. Resultados del cuestionario de entrada.

Categoría	Propiedades	Dimensiones
Monitoreo de pacientes	Métodos usados	Se establecen un conjunto de ejercicios dependiendo del problema presentado
		Medición de signos vitales
		Observación del desempeño del paciente
	Motivos para realizarlo	Monitorear a los pacientes en sus movimientos
		Ver la evolución en sus problemas
		Verificar si las rutinas aplicadas son las adecuadas
	Información registrada	Signos vitales
		Progreso del paciente
		Problemas que se presentan
	Uso de la información recopilada	Verificar estado de los músculos, para evitar lesiones o fatiga
Verificar la eficacia del tratamiento		

Por último se encontró la propiedad del uso que le dan a la información registrada en cada evaluación, aquí nos mencionaron que la utilizan para verificar el estado de los músculos del paciente con lo cual evitarían lesiones o fatiga, además de que la utilizan para verificar si la rutina establecida fue la adecuada y

ya deciden si la cambian o no en base a los resultados del paciente en cada una de las evaluaciones.

IV.3.2.5.2 Resultados del cuestionario y entrevista de salida

En la Tabla XIII podemos ver los resultados obtenidos en el cuestionario de salida, con estos se puede decir que el sistema en general es de utilidad para los médicos/terapeutas y que además estarían dispuestos a usarlo.

Esto lo podemos decir de acuerdo a las tendencias de los resultados numéricos, que aunque estadísticamente no son significativos porque el número de participantes utilizados en el experimento de evaluación son muy pocos, con ellos podemos obtener información relevante que puede ser utilizada para otros estudios, y además esto lo podemos complementar de acuerdo a las opiniones de cada participante y los resultados de las entrevistas que se presentarán más adelante. Por ejemplo algunos participantes nos comentaron lo siguiente:

***M6:** “La idea del proyecto es muy buena, siento que el sistema podría ser aún más específico, además me agrada el control que se tiene de la información, las gráficas y el llevar un registro de esta”*

***M3:** “Es una buena idea, muy práctico y de fácil uso, y lo más destacado ayuda a la rápida recuperación del paciente”.*

***M4:** “Es interesante y perfectible”.*

Estos resultados podemos validarlos de acuerdo a las entrevistas realizadas a cada uno de los participantes en las cuales se les pidió una opinión más abierta, con ello se encontraron características importantes que podrían ayudar a mejorar el sistema para que tenga una mejor funcionalidad para los médicos/terapeutas. La información relevante se analizó de igual manera a través de la teoría fundamentada de acuerdo a las preguntas de investigación planteadas para la evaluación y los resultados los podemos observar en la Tabla XIV.

Tabla XIII. Resultados de la evaluación cualitativa.

Pregunta	Promedio
Considero que en mi ambiente de trabajo es de utilidad este tipo de sistemas.	4.875
Considero útil tener un registro de cada una de las evaluaciones físicas que le realizo a cada uno de los adultos mayores.	5
Utilizaría el sistema en caso de tenerlo a mi disposición para realizar mi trabajo.	4.75
Considero que en mi ambiente de trabajo no es de utilidad este tipo de sistemas.	1.25
El uso del sistema me facilitaría mi trabajo.	4.25
El sistema me permitiría tener un mejor control de la información de análisis realizados a cada adulto mayor.	4.625
Me es fácil interpretar la información brindada por el sistema.	4.25
El uso del sistema no me facilitaría mi trabajo.	1.25
Me es difícil interpretar la información brindada por el sistema.	1.25

Aquí se identificó una categoría la cual se denominó uso del sistema por parte de médicos/terapeutas. A esta se le establecieron 4 propiedades principales, la primera son los usos que le darían al sistema, en donde nos mencionaron que lo usarían para checar el progreso de los pacientes en las terapias, además les ayudaría a cuantificar ese progreso, además podrían ver si

el paciente realiza bien sus movimientos, verificarían o mejorarían el tratamiento aplicado, también podría servirles a prevenir caídas, y por último uno de los más importantes para el objetivo del trabajo, es que les apoyaría a monitorear la actividad que realizan en casa cada uno de sus pacientes, esto ya que crearían una especie de programa de actividades en casa para cada paciente y a través del sensor sabrían si lo realizaron o no, claro está dichas actividades deberán ser de marcha, de lo contrario no serviría para ello.

M2: *“Podría crearse un especie de programa de ejercicios en casa para cada paciente, y con el sensor se verificaría la actividad que tienen”*

M3: *“Se podría checar el avance en determinado tipo de patologías que afectan a los adultos mayores, medir el progreso de la rehabilitación”.*

M6: *“Podría usarse como un asistente para llevar un control de la actividad en casa y tener una retroalimentación de esta”*

La segunda categoría son los beneficios que le brindaría el sistema donde uno de los más mencionados es que tendrían un registro de cada paciente el cual podrían analizar y comparar con otros cuando lo desearan. Además tendrían mayor orden y control de la información con lo que tendrían una fácil y rápida consulta de la misma. Además todo esto les ayudaría a brindar una mejor atención al paciente, les facilitaría su uso en cualquier lugar porque es muy portable y además permite graficar las mediciones encontradas.

M5: *“Podríamos verificar las fases de la marcha, ya que se podría mejorar el tratamiento aplicado”.*

M6: *“La idea del proyecto es muy buena, siento que el sistema podría ser aún más específico, además me agrada el control que se tiene de la información, las gráficas y el llevar un registro de estas”*

Tabla XIV. Resultados entrevista de salida.

Categoría	Propiedades	Dimensiones
Uso del sistema	Usos que se le darían	Checar progreso en las terapias
		Cuantificar el progreso
		Verificar como se realizan los movimientos del paciente
		Mejorar el tratamiento aplicado
		Prevenir caídas
		Apoyo para monitoreo de la actividad en casa
	Beneficios	Tener un registro para su posterior análisis y comparación
		Orden y control de la información
		Fácil y rápida consulta de la información
		Brindar mejor atención al paciente
		Muy portable
		Permite graficar las mediciones
	Problemas que presentaría	Incómodo para los pacientes porque es grande y pesado
		Falta de capacitación para usarlo, con lo que podría descomponer el equipo
		No saber usar el programa de la computadora
		Rechazo por parte de los pacientes
	Cambios para mejorarlo	Sensor más chico y menos pesado
		Colocarlo en un cinto que permita un mejor manejo
		Agregar más sensores en rodilla y tobillo, lo que permitiría mediciones por articulación más específicas
		Agregar aparatos de fuerza

La tercera de las propiedades es los problemas que presentarían al usar el sistema con lo que se encontró que el sensor podría ser molesto o incómodo para los pacientes, esto por su peso y tamaño, además que podrían en algún momento llegar a descomponer el equipo o no sabrían cómo usar el programa de la computadora, esto debido a falta de capacitación para usarlo. Aquí también se mencionó un aspecto importante, esto es que podría ser que los pacientes rechazaran el usar el sensor debido a su incomodidad.

***M1:** “Me daría miedo descomponer el equipo....además no saber usar el programa de la computadora”*

Por último está la propiedad de los cambios que sugieren para una mayor utilidad del sistema, donde nos mencionaron que el sensor usado debía ser más chico y menos pesado, además si estuviera colocado en una especie de cinturón facilitaría aún más su uso y sería más cómodo. Otras cosas que nos mencionaron es que podría agregársele más sensores al sistema, estos ayudarían a monitorear cada una de las articulaciones como son rodillas y tobillos, con lo cual podrían tener más medidas y ser más específicas para cada movimiento. Por último se encontró que también agregarían algún aparato para medir fuerza de los músculos lo cual complementaría las mediciones del sistema, esto ya que de tener medidas tanto de fuerza como de los movimientos de la persona ayudaría aún más a monitorear la recuperación de la persona en una rehabilitación.

***M6:** “Sería interesante el poder tener una retroalimentación del movimiento por articulaciones (rodilla y tobillo)”*

IV.4 Resumen

Se llevó a cabo una evaluación del sistema en Casa Hogar del anciano, Desarrollo Social del municipio y CRI Ensenada.

Se evaluó tanto la funcionalidad del sistema como la percepción de utilidad y beneficios que pudiera traer a médicos/terapeutas y los propios adultos mayores.

La información recabada a través de las distintas actividades de la evaluación nos brindó resultados positivos, al mostrarnos que sería un sistema de utilidad y que además podría traer beneficios tanto para el médico/terapeuta como los propios adultos mayores. Además pudimos encontrar información importante que ayudaría a brindar una mejor funcionalidad esto para futuros trabajos.

De acuerdo a los resultados encontrados, en el siguiente capítulo se mostrarán las conclusiones, las aportaciones que se tuvieron y el trabajo a futuro para poder mejorar este tipo de sistemas.

Capítulo V

Conclusiones, aportaciones y trabajo futuro

V.1 Conclusiones

Con la creciente población de adultos mayores en los últimos años, los países del mundo se han empezado a preocupar por brindarles la mejor atención, en todos los ámbitos, salud y social como los más importantes.

Por ello una gran cantidad de investigaciones y trabajos, se han estado enfocando a crear aplicaciones o sistemas y herramientas de alta tecnología, que permitan brindar algún servicio a esta parte de la población. Uno de los problemas que más se puede notar en una persona conforme envejece, es la disminución de sus capacidades físicas, entre las que destacan baja velocidad al desplazarse, así como las distancias que recorren. Por esta razón diversas investigaciones han estado enfocadas a monitorear la marcha de las personas.

Hasta ahora los sistemas desarrollados cuentan con algunos problemas, lo cual no los hace factibles para poder monitorear a las personas, tanto en una clínica como sus hogares, por ejemplo tienen altos costos, no pueden usarse para monitoreo ambulatorio y los que son, solo han sido probados en laboratorios y no en ambientes de la vida diaria, y no tienen las mejores condiciones para ser usados por adultos mayores.

Debido a esto, este trabajo se enfocó a desarrollar un sistema que permita el monitoreo de la marcha de adultos mayores, pero que esto no solo pueda ser llevado a cabo en un consultorio, sino en cualquier lugar que se desee, como en el hogar de la persona de manera ambulatoria.

Para su realización se estudiaron las diferentes causas por las que un adulto mayor puede disminuir su desempeño físico diario principalmente al desempeñar la marcha, donde se encontró que el índice de fragilidad es un padecimiento por el que tarde o temprano pasamos todas las personas con el

paso de los años y este afecta directamente a la marcha a través de sus diferentes síntomas, que conllevan a otras enfermedades que pueden tener mayores complicaciones. También se estudiaron los diferentes métodos que existen actualmente para monitoreo de la marcha y de esta forma poder conocer las áreas de oportunidad que existen. En base a esto se identificaron las características principales para que un sistema pudiera brindar información útil a un médico/terapeuta para la evaluación de la marcha de un adulto mayor de forma ambulatoria.

Se diseñó e implementó el sistema para monitoreo de la marcha de adultos mayores, el cual permite un análisis no obstructivo y de manera continua para su uso fuera de una clínica. Este cuenta con una interfaz que permite al médico/terapeuta realizar con facilidad un análisis de marcha de un paciente y registrar datos que para él son relevantes. Además permite consultar un historial de análisis para futuras comparaciones, así como verificar el comportamiento del rendimiento físico de la persona en un tiempo determinado. El diseño del sistema se basó en las áreas de oportunidad y características más importantes encontradas en el estudio de la bibliografía.

Se llevó a cabo una evaluación de funcionalidad y una evaluación de percepción de utilidad y beneficios del sistema, tanto en médicos/terapeutas, como en adultos mayores. A través de la evaluación de funcionalidad se pudo observar el comportamiento del sistema, además ayudó a conocer la opinión de los adultos mayores sobre el sistema. Por otra parte la evaluación con médicos/terapeutas, permitió conocer la percepción de utilidad y beneficios del sistema en los médicos y terapeutas.

Para llevar a cabo cada una de las evaluaciones se diseñó un protocolo de evaluación, el cual contaba con ciertas actividades a realizar tanto para médicos y cuidadores, como para adultos mayores. Además contaba con cuestionarios y entrevistas, los cuales nos permitieron tener un mejor control de las impresiones y opiniones de cada uno de los participantes. En cada una de las sesiones de evaluación se dió una breve explicación de los objetivos del trabajo y de la evaluación que se realizaría.

A partir de las sesiones de evaluación, y los resultados cualitativos encontrados en las entrevistas y cuestionarios, se puede concluir que el sistema sería fácil de adaptar a cada uno de los lugares donde se llevó a cabo la evaluación, además que ellos estarían dispuestos a utilizarlo, lo cual les permitiría realizar de una manera más controlada sus sesiones con los pacientes. También se recibieron comentarios que decían que además de ayudar en sus lugares de trabajo, el sistema podría ser utilizado para verificar que realmente una persona realiza sus sesiones de ejercicios de terapia en sus hogares.

Con todo esto podemos decir que se desarrolló un sistema ambulatorio de monitoreo de la marcha, el cual recopila datos en tiempo real y que además calcula de forma automática los principales parámetros que se le relacionan, como son número de pasos, velocidad de movimiento, distancia de paso y zancada, y cadencia.

Aunque actualmente existen diferentes métodos enfocados a analizar la marcha de las personas como pruebas de observación (test), aparatos de última tecnología y trabajos de investigación, hoy en día, uno de los métodos que ha surgido con mayor importancia para realizar este procedimiento, ha sido el uso de sensores de aceleración, con los que se han creado sistemas que son capaces de monitorear a las personas en su rendimiento físico no solo cuando están frente a un médico o especialista, sino también cuando se encuentran en sus hogares que es donde pasan la mayor parte del tiempo los adultos mayores. Las evaluaciones realizadas hasta el momento con este tipo de sistemas han demostrado que pueden brindar resultados bastante confiables para los médicos al realizar un análisis de la marcha. Aun cuando estos sistemas cuentan con algunas limitantes que impiden su uso de manera cotidiana, como los altos costos e incomodidad de los sensores y sistemas que se desarrollan, con los avances en la tecnología estos sistemas serán cada vez mejores, con sensores más pequeños y adecuados para cada aplicación, y disminuirán de manera considerable sus costos, lo cual los hará más accesibles, y sobretodo más cómodos para las personas que incluso podrán llevar los sensores incrustados en alguna prenda de uso cotidiano sin que puedan notarlos. Por lo que es importante

continuar con el desarrollo de estos sistemas, que ayuden a brindar una mejor calidad de vida, sobre todo a los adultos mayores, que la mayoría de las veces son personas que son abandonadas por sus hijos o familiares y no tienen alguien que esté pendiente de su salud día con día.

Por último podemos decir que para que estos sistemas tengan una mejor aceptación se deben tomar en cuenta las necesidades reales de los usuarios finales, así como las características de los diferentes escenarios en los que se pueden llegar a utilizar, para contrarrestar los distintos problemas que se pudieran presentar. Además de poder agregar la lectura de parámetros como fuerzas y ángulos de las diferentes partes del cuerpo, con lo cual se tendrían sistemas más completos y con mayor utilidad al momento de analizar un paciente.

VI.2 Limitaciones del trabajo

Una de las principales limitantes es que el hardware utilizado para realizar las pruebas no es el ideal para el desarrollo de aplicaciones en el monitoreo de personas, esto por su tamaño principalmente.

Para poder probar el funcionamiento real de un sistema de monitoreo de la marcha de las personas, de acuerdo a la literatura, este debería realizarse por un largo periodo de tiempo, esto para observar a la persona afectada durante la recuperación de su enfermedad. Debido a las limitantes de tiempo que se tienen para desarrollar el trabajo, la evaluación solo se probó una vez en cada persona, solo para corroborar su funcionamiento, utilidad y posible aceptación.

La evaluación solo se limitó a obtener resultados cualitativos y no tanto cuantitativos, esto porque el número de participantes eran muy pocos. Los resultados cuantitativos habrían ayudado a tener una mayor perspectiva del usuario con respecto al uso del sistema.

Aún y con estas limitantes podemos decir que se cumplió con los objetivos planteados al inicio del trabajo, que era diseñar, implementar y evaluar un sistema de monitoreo de la marcha en adultos mayores de manera ambulatoria, para

brindar una herramienta más a médicos/terapeutas que ayude en la realización de sus labores diarias.

VI.3 Aportaciones

El desarrollo de este trabajo de investigación, deja las siguientes aportaciones:

- Un prototipo funcional de un sistema capaz de monitorear la marcha de adultos mayores, calculando de manera automática parámetros relacionados como velocidad de la persona en el movimiento, distancia de paso y zancada, número de pasos y cadencia.
- Una herramienta de apoyo a médicos/terapeutas para mantener un registro ordenado de cada paciente que facilita su posterior consulta.
- Una interfaz de comunicación entre los sensores utilizados para las pruebas y la computadora, para una lectura en tiempo real de los datos de aceleración que provienen del nodo de sensado.
- Resultados de una evaluación funcional que permite ver la funcionalidad del sistema, además de una evaluación cualitativa donde se ven la utilidad y beneficios que podría traer el sistema en un ambiente real para médicos/terapeutas y los propios pacientes.

VI.4 Trabajo a futuro

Como se ha mencionada a lo largo del trabajo, el monitoreo ambulatorio de las personas es un reto aun para los investigadores, por lo que para poder mejorar este tipo de sistemas se proponen algunas ideas para trabajar a futuro:

- Realizar los cambios necesarios al sistema para corregir la detección de los pasos al inicio de la marcha en todas las personas.
- Realizar una correlación real entre los parámetros de la marcha y el índice de fragilidad, que ayude en la rápida detección de adultos frágiles y brindarles la atención adecuada.

- Probar el sistema con sensores adecuados o especializados para el monitoreo de personas. Entre las características importantes a tener destaca la de que cuenten con memorias y microprocesadores, que tengan la suficiente capacidad para almacenar datos y llevar a cabo su procesamiento en el mismo sensor, lo que llevaría a un ahorro de energía, esto ya que el estar enviando datos de manera constante a otro nodo receptor implica un gasto extra de energía. Además un nodo base que pueda recibir datos de varios nodos de sensado a la vez y no solo de uno, o que de igual manera la comunicación pueda ser directamente con una computadora. Además de que los sensores tengan tamaño y peso adecuados para la aplicación donde serán usados.
- Agregar un módulo al sistema que permita consultar los datos a través de internet, con lo que un médico/terapeuta pueda estar monitoreando sus pacientes en tiempo real no solo cuando estos acuden a su consultorio, sino también cuando estos se encuentren en sus hogares.
- Realizar una evaluación en ambientes reales durante un tiempo determinado, que permita conocer realmente el impacto de estos sistemas en la vida de las personas. Además de saber si realmente funcionaría para poder ser utilizado durante la rehabilitación de la marcha durante largos periodos de tiempo.
- Agregar medidas de ángulos del cuerpo y articulaciones de las piernas de las personas al caminar, para brindar medidas más específicas a los médicos/terapeutas.
- Agregar un módulo que permita conocer la ubicación de la persona, además de otros parámetros ambientales y con ello poder predecir la actividad que está realizando para monitorear solamente la marcha y no actividades que se le parezcan.

Referencias

- Agudelo E., Ayala M., Ríos M., (2007). Caracterización de la movilidad de ancianos, según Índice de Katz, en el Centro de Bienestar del Anciano San José de Pereira. Colombia. Disponible en:
<http://revistainvestigaciones.funandi.edu.co/archivosEditor/File/Revista%20No.%2018%20Vol.%2011/Eliana%20Agudelo%20G%20y%20otros.pdf>. Consultado: Octubre de 2010.
- Alarcón T, González M., (1997) Fragilidad y vejez, compañeros inevitables de camino. *Revista Española Gerontología*. 3(NM1):1-2.
- Andre-Thomas, Autgarden S., (1966). Locomotion from pre to postnatal life. *Clinics in Development Medicine* 24, Spastics Society, Lavenham, Suffolk.
- Auvinet B., Berrut G., Touzard C., Moutel L., Collet N., Chaleil D., Barrey E., (2002). Reference data for normal subjects obtained with an accelerometric device. *Gait & Posture*; 16:124–34.
- Buchner D., Wagner E., (1992). Preventing frail health. *Clinics in Geriatric Medicine*. 8:1-17.
- Chen C. y Pomalaza-Ráez C., (2009). "Design and Evaluation of a Wireless Body Sensor System for Smart Home Health Monitoring," in *Proceedings of IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2009)*, Nov 30 - Dec 4, 2009, Honolulu, Hawaii.
- Clayton, H. and Schamhardt, H., (2001). Measurement techniques for gait analysis. In: Back, W., Clayton, H.M. (Eds.), *Equine Locomotion*. W.B. Saunders Press, USA, pp. 55-76.
- CMV AG., (2010). CON-TREX: Biomechanical test and training systems. Disponible en:
http://www.contrex.ch/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=21&Itemid=88. Consultado: 1 de Noviembre de 2010.
- Collado S., (2002). Análisis de la marcha con plataformas dinamométricas. Influencia del transporte de carga. Tesis doctoral. Madrid: Facultad de Medicina de la Universidad Complutense. 343 p.

- Collado S., (2005). Desarrollo de la marcha. *Biociencias, Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud, Madrid*. 3(1):1-13.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO), (2008), “*La Situación demográfica de México 2008*”, ISBN 970-628-944-5, 150 p. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=269&Itemid=344. Consultado: Junio de 2010.
- Culhane K., O'Connor M., Lyons D., Lyons G., (2005). Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults. *Age and Ageing*, 34(6), 556-560.
- Díaz C., Torres A., Ramírez J., García L. y Álvarez N., (2006). Descripción de un dispositivo destinado al análisis de la marcha en dos dimensiones, CineMED. *Revista EIA*, 5:85-92.
- Doscher J., (2003). Accelerometer design and applications. Micromachining evangelist, Analog device. Disponible en: <http://www.meche.net/MAE%20334/Lab%205/Lab%205%20Report/sensor%20comparisons.pdf>. Consultado: Junio de 2010.
- Doughty K., Lewis R., y McIntosh A., (2008). The design of a practical and reliable fall detector for community and institutional telecare, *Journal of Telemedicine. Telecare* 2000, 6:50-54.
- Fried L.P., Tangen C., Walston J., Newman A., Hirsch C., Gottdiener J., (2001). Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *Journal of Gerontology*; 56(3):146-156.
- Gage J., Deluca P. y Renshaw T., (1995). Gait Analysis: Principles and Applications. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 77:1607-1623.
- Gaona F., Gómez G., (2007). Captura de movimientos, métodos y aplicaciones diversas. Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción Paraguay. Disponible en: <http://www.pol.una.py/qiem/CapturadorMovimiento.pdf>. Consultado: Junio de 2010.
- Gerald C., Wheatley P., (2000). Análisis numérico con aplicaciones. Pearson Prentice Hall. Sexta edición. 768 p.

- González A., (2009). Instrumentos de Evaluación Geriátrica. Red Cubana de Gerontología y Geriatría. Disponible en:
<http://www.sld.cu/sitios/gericuba/temas.php?idv=7056>
- Gutiérrez D., Martínez A., Gómez L., Rodríguez C., (2009). Longevidad Satisfactoria. Etapa de reto actual. *Revista de Salud*.com, 5(17):1-14. Disponible en:
<http://www.Revistaesalud.com/revistaesalud/index.php/revistaesalud/article/viewArticle/235/602>
- Hocoma, (2010). Hocoma, we move you. Disponible en:
<http://www.hocoma.com/en/products/lokomat/>. Consultado en: 1 de Noviembre de 2010.
- Izquierdo M., Martínez-Ramírez A., Larrion J., Irujo-Espinosa M., Gómez M., (2008). Functional capacity evaluation in a clinical and ambulatory setting: new challenges of accelerometry to assessment balance and muscle power in aging population. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. 31 (2) 159-170.
- Kawamura C., de Moraes Filho M., Barreto M., de Paula Asa S., Juliano Y. y Novo N., (2007). Comparison between visual and three-dimensional gait analysis in patients with spastic diplegic cerebral palsy. *Gait & Posture*, 25, 18-24.
- Lewis C., (1993). Balance, Gait Test Proves Simple Yet useful. *P.T.Bulletin*. 2/10:9-40.
- Lorenzo M., (2007). Análisis funcional y reeducación de la capacidad de deambulación, *Tribuna Médica Ibermutuamur*, 56 p.
- McGraw M., (1940). Neuromuscular development of the human infant as exemplified in the achievement of erect locomotion. *Journal of Pediatric*, 17:747-777.
- Mañas R., (2001). Aproximación al desarrollo de un Programa Nacional de Investigación sobre Envejecimiento desde el concepto de fragilidad. *Revista Española Geriatría y Gerontología*. 36 (NM 3):24-35.

- Menz H., Lord S., Fitzpatrick R., (2003). Age-related differences in walking stability. *Age Ageing*; 32: 137–42.
- Nallín F., (2009) Escalas de Valoración Geriátrica. *Geronto-geriatria*, Órgano oficial de la Federación Argentina de Geriatria y Gerontología y de la Asociación Gerontológica Argentina. Disponible en: http://www.gerontogeriatría.org.ar/pdf/ESCALAS_DE_VALORACION_GERiatrica.pdf. Consultado: Noviembre de 2010.
- Paiyaron S., Tungamchit P., Keinprasit R. y Kayasith P., (2009). Activity monitoring system using Dynamic Time Warping for the elderly and disabled people, *International Conference on Computer, Control and Communication*, pp. 1-4.
- Patel S., Lorincz K. , Hughes R., Huggins N., Growdon J., Standaert D., Akay M., Dy J., Welsh M. y Bonato P., (2009). “Monitoring motor fluctuations in patients with Parkinson’s Disease using wearable sensors,” *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 13(6): 864–873.
- Perry J., (1992). *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*. Thorofare, NJ: SLACK Inc.; 1:192–195.
- Podsiadlo D, Richardson S., (1991). The Timed "Up and Go": A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*. 39:142-148.
- Raya C., Angulo C., Torrent M. y Parera J., (2007). Monitorización de movimiento mediante un nodo sensor basado en elementos hardware inteligentes. *II Simposio de Computación Ubicua e Inteligencia Ambiental (UCAmI'2007)*, International Thomson Editores Spain, S.A. p. 229-236.
- Redin J., (2002). Comprehensive geriatric assessment. Evaluation of the geriatric patient and the concept of fragility. *Anales del Sistema de Salud*. SP3:34-49.
- Rockwood k., Hogan C., Macknsght C., (2000). Conceptualization and measurement of frailty in elderly people. *Drugs Aging*, 17(4):295-302.

- Rockwood K., Song X., MacKnight C., Bergman H., Hogan D., McDowell I., (2005). A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people. *CMAJ*. 173(5): 489-95.
- Rupcich M, Bravo R. y Urbano D., (2008). Patrones del movimiento pélvico en pacientes con hemiplejía espástica. *Archivos Venezolanos de Puericultura y Pediatría*, 71(2):48-53.
- Setapen A. y Gutierrez C., (2007). Portable, Inexpensive, and Unobtrusive Accelerometer-based Geriatric Gait Analysis. Creating computer applications for medicine, Universidad de Virginia. Disponible en: <http://www.cs.virginia.edu/~acw/REU/presentations2007.html>. Consultado: 2 de Noviembre de 2010.
- Suay A., Ortega M., Mendo O., Simó M., (2009). Anciano Frágil. Guía de Actualización Clínica en A.P. España. Disponible en: <http://193.145.164.73/docs/dac/guiasap03ancianofragil.pdf>. Consultado: Diciembre de 2010.
- Sutherland D., (2002). "The evolution of clinical gait analysis: Part II Kinematics" *Gait & Posture*. 16: 159-179.
- United Nations (ONU), (2007). Department of Economic and Social Affairs, Population Division, "World Population Ageing 2007". Disponible en: <http://www.un.org/esa/population/unpop.htm>. Consultado: Julio de 2010.
- United Nations (ONU), Population Division (2008), "World Population Prospects: The 2008 Revision", Press Release. Disponible en: http://www.aarpinternational.org/resources/resources_show.htm?doc_id=854210. Consultado. Agosto de 2010.
- Villa A., Gutiérrez E y Pérez J., (2008). Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría, *Revista Ingeniería Biomédica*, 2(3):16-26.
- Weiser M., (1993). Some computer science issues in ubiquitous computing. *Communications of the ACM*, 74-84.
- Weiser M. y Brown J., (1996). The coming age of calm technology. *Ubiquitous Computing*, 1-17. Disponible en:

<http://www.johnseelybrown.com/calmtech.pdf> Consultado: Septiembre de 2010.

- Zijlstra W, Hof AL., (2003). Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking. *Gait & Posture*; 18: 1–10.
- Zuñiga E., García E. (2008). El envejecimiento demográfico en México. Principales tendencias y características. CONAPO Situación demográfica. 93-100. Disponible en:

<http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/sdm/sdm2008/06.pdf>. Consultado: Agosto de 2010.

Apéndice A

Fórmulas de la regresión lineal por el método de mínimos cuadrados

$$\bar{x} = \frac{\sum_i (x_i)}{N} \quad (1)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_i (y_i)}{N} \quad (2)$$

$$S_{xx} = \sum_i [(x_i - \bar{x})^2] = \sum_i [(x_i)^2] - N(\bar{x})^2 \quad (3)$$

$$S_{yy} = \sum_i [(y_i - \bar{y})^2] = \sum_i [(y_i)^2] - N(\bar{y})^2 \quad (4)$$

$$S_{xy} = \sum_i \{[(x_i - \bar{x})][(y_i - \bar{y})]\} = \sum_i [(x_i y_i)] - N(\bar{x}\bar{y}) \quad (5)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{S_{yy} - m^2 S_{xx}}{N - 2}} \quad (6)$$

$$m = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (7)$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} \quad (8)$$

$$R^2 = \frac{(S_{xy})^2}{(S_{xx})(S_{yy})} \quad (9)$$

$$s_m = \frac{s_y}{\sqrt{S_{xx}}} \quad (10)$$

$$s_b = s_y \sqrt{\frac{\sum_i [(x_i)^2]}{NS_{xx}}} \quad (11)$$

$$s_{mb} = -\frac{\bar{x}(s_y)^2}{S_{xx}} \quad (12)$$

Apéndice B

MÉTODO TRADICIONAL

1)

Número de pasos: _____

Distancia Recorrida: _____

Tiempo del recorrido: _____

Velocidad promedio: _____

Cadencia: _____

$$V \left(\text{velocidad} \frac{m.}{seg.} \right) = \frac{d \text{ (distancia - m.)}}{t \text{ (tiempo - seg.)}}$$

2)

Número de pasos: _____

Distancia Recorrida: _____

Tiempo del recorrido: _____

Velocidad promedio: _____

Cadencia: _____

$$V \left(\text{velocidad} \frac{m.}{seg.} \right) = \frac{d \text{ (distancia - m.)}}{t \text{ (tiempo - seg.)}}$$

Apéndice C

Formatos de entrevistas y cuestionarios de evaluación

Cuestionario adulto mayor:

¿Sí en cierto momento tuviera que utilizar el sensor para su monitoreo de manera constante durante algún tiempo, lo usaría?, No ¿Por qué?

¿Cree que el uso del sistema podría traerle algunos beneficios?, Sí ¿Cuáles?, No ¿Por qué?

¿Cree que podría tener algunos problemas al usar el sistema? Si, ¿Cuáles?

¿Sugiere cambios para poder facilitar el uso del sistema? ¿Cuáles?

CUESTIONARIO DE ENTRADA MÉDICOS/TERAPEUTAS**INFORMACIÓN PERSONAL**

NOMBRE: _____ FECHA: _____

Profesión: _____

SEXO: Masculino Femenino

EDAD:

0 a 20 años 21 a 40 años 41 a 60 años Mayor de 60 años

Años de experiencia en brindar atención a adultos mayores:

0 a 2 2 a 5 5 a 10 Mayor de 10

¿A qué se dedica actualmente? ¿Dónde?

¿Realiza actualmente un monitoreo del rendimiento físico de adultos mayores?

En caso de Si,

¿Cómo lo realiza? ¿Para qué?

¿Lleva algún registro de cada evaluación física que le realiza a cada paciente?

En caso de ser positiva la respuesta,

¿Qué tipo de información es la que registra y para qué (como la usa)?

En caso de ser negativa,

¿Por qué no la realiza?

En caso de No,

¿Por qué no lo hace?

¿De qué manera detecta algún deterioro físico, psicológico o de salud de sus pacientes?

CUESTIONARIO DE SALIDA MÉDICOS/TERAPEUTAS

Marque con una X la opción que considere más apropiada

1.- Considero que en mi ambiente de trabajo es de utilidad este tipo de sistemas.

[]	[]	[]	[]	[]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

2.- Considero útil tener un registro de cada una de las evaluaciones físicas que le realizo a cada uno de los adultos mayores.

[]	[]	[]	[]	[]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

3.- Utilizaría el sistema en caso de tenerlo a mi disposición para realizar mi trabajo.

[]	[]	[]	[]	[]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

4.- Considero que en mi ambiente de trabajo no es de utilidad este tipo de sistemas.

[]	[]	[]	[]	[]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

5.- El uso del sistema me facilitaría mi trabajo.

[]	[]	[]	[]	[]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

6.- El sistema me permitiría tener un mejor control de la información, sobre el rendimiento físico de cada uno de los adultos mayores.

[]	[]	[]	[]	[]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

7.- Me es fácil interpretar la información brindada por el sistema.

[]	[]	[]	[]	[]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

8.- El uso del sistema no me facilitaría mi trabajo.

[]	[]	[]	[]	[]
--------	--------	--------	--------	--------

Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo
9.- Me es difícil de interpretar la información brindada por el sistema.				
[]	[]	[]	[]	[]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

Conteste las siguientes preguntas:

¿Cree que le traería algunos beneficios usar el sistema?

En caso de Si,
¿Cuáles?

En caso de No,
¿Por qué?

¿Le haría algunos cambios al sistema?

En caso de Si,
¿Cuáles? ¿Por qué?

¿Le daría otros usos al sistema, aparte del que se le ha mostrado?

En caso de Si,
¿Cuáles?

¿Cree que el sistema podría tener algunos problemas técnicos, si se usara en su ambiente de trabajo?

En caso de Si,
¿Cuáles?

¿Qué fue lo que más le agradó del sistema?

¿Qué fue lo que menos le agradó del sistema?

¿Cuál es su opinión general sobre el sistema?

En base a su experiencia en el monitoreo del rendimiento físico de las personas,
¿Cree que el sistema podría complementar y/o sustituir los métodos utilizados
actualmente, para realizarlo?

En caso de Si,
¿En qué formas lo complementarías y/o sustituirías?

En caso de No,
¿Por qué?
