

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**PLATAFORMA COMPUTACIONAL DE CAPTURA Y
REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO EN 3D PARA APOYO
A LA REHABILITACIÓN DE LA MARCHA**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Informático**, que presenta el bachiller:

Rodolfo Javier Galvez Meza

ASESOR: César Armando Beltrán Castañón

Lima, noviembre de 2015

RESUMEN

El movimiento humano es un elemento importante en el estudio de la biología humana debido a ser una propiedad básica de la vida. Este resulta aún más importante en aspectos colectivos como el deporte, la salud, la educación física, la danza, la rehabilitación, entre otros. Especial atención requiere la rehabilitación donde, a través del análisis de marcha, el fisiatra observa y estudia el desempeño de los pacientes a lo largo de diversas sesiones que realizan, con el fin de ver la evolución de los mismos. Sin embargo, capturar y realizar seguimiento al movimiento humano de manera computacional es una tarea compleja con alternativas costosas. Asimismo, los centros de rehabilitación de Lima no cuentan con la tecnología apropiada y existe, por parte de las personas, una negación al cambio que complica la inclusión de la misma. Debido a esto, el presente proyecto presenta una herramienta de bajo costo que permite registrar y representar el movimiento humano en 3D para apoyar a las terapias de rehabilitación de la marcha. El registro puede ser almacenado de forma permanente con el fin de mantener un histórico y realizar nuevos análisis en el tiempo. El dispositivo usado (Kinect) se mostró adecuado para la captura de la información útil con un margen de error aceptable que, dependiendo del entorno de captura, éste puede ser controlado. En el trabajo se consiguió detectar el patrón de marcha de los ángulos de flexión de la rodilla, lo cual permitió comparar diferentes situaciones de caminata y calcular medidas como distancia de paso, velocidad del movimiento de la persona, porcentaje de datos dentro del rango de referencia de una caminata normal (medidas de los ángulos de flexión), de esta manera se consigue determinar el nivel de normalidad de un ciclo de paso. Finalmente se desarrolló un prototipo de visualización 3D que permite manipular el entorno y tener diferentes vistas del movimiento del paciente. Este puede ser reutilizado para crear un ambiente más completo de análisis que comprenda otros tipos de movimientos (además de la rodilla), soportar un mayor número de fuentes de diferentes ángulos (múltiples Kinect), Kinect en movimiento que permita realizar un seguimiento de la marcha en un mayor espacio, entre otros. Todo lo anterior mencionado serviría de base para la constitución de un laboratorio de rehabilitación basado en realidad virtual.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de fin de carrera a mis padres Ymelda y Rodolfo que, con amor, siempre me apoyaron, brindaron oportunidades e impulsaron a luchar por cumplir mis metas y a crecer más como persona.

Asimismo, también dedico esto a mis familiares por todo el apoyo y cariño incondicional ofrecido a lo largo de mi vida.



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer muy especialmente al Dr. César Beltrán por su gran apoyo y asesoría brindado durante y después de todo el proyecto. Al Lic. Alejandro Bello por su apoyo, enseñanzas y amistad brindados a lo largo de mi carrera. Asimismo, agradezco, desde lo más profundo de mi ser, a mis mejores amistades Antonia, Jandir, Juan, Bonnie y Erasmo por haberme acompañado siempre y porque me mostraron el valor de una verdadera amistad. Finalmente, agradezco a aquellas personas que en algún momento me acompañaron y partieron, y, especialmente, a aquellas que volvieron a mi vida.

INDICE

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 PROBLEMÁTICA	1
1.2 OBJETIVO GENERAL	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4 RESULTADOS ESPERADOS.....	2
1.5 HERRAMIENTAS, MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	2
1.6 ALCANCE.....	7
1.7 JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD.....	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 MARCO CONCEPTUAL	11
2.2 ESTADO DEL ARTE	15
CAPÍTULO 3: CAPTURA DE MOVIMIENTO CON KINECT.....	19
3.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1: IMPLEMENTAR EL PROTOTIPO DE CAPTURA DE PUNTOS 3D A TRAVÉS DEL EQUIPO DE CAPTURA DE MOVIMIENTO KINECT.....	19
3.2 RESULTADO ESPERADO 1: PROTOTIPO DE CAPTURA DE PUNTOS 3D A TRAVÉS DEL EQUIPO DE CAPTURA DE MOVIMIENTO KINECT.	19
CAPÍTULO 4: VISUALIZACIÓN 3D	24
4.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 2: IMPLEMENTAR UN CONJUNTO DE CLASES Y MÉTODOS QUE PERMITAN LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA EN 3D DE LOS PUNTOS CAPTURADOS POR KINECT.	24
4.2 RESULTADO ESPERADO 2: PROTOTIPO DE UN VISUALIZADOR 3D QUE MUESTRA EL ESQUELETO CAPTURADO. .	24
CAPÍTULO 5: INTEGRACIÓN DE CAPTURA DE PUNTOS CON VISUALIZADOR 3D	26
5.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 3: DESARROLLAR EL FRAMEWORK DE VISUALIZACIÓN 3D DE LOS PUNTOS CAPTURADOS POR KINECT.....	26
5.2 RESULTADO ESPERADO 3: EDITOR GRÁFICO QUE PERMITA MANEJAR Y CONFIGURAR LOS PROCESOS DE CAPTURA DE MOVIMIENTO Y REPRESENTACIÓN 3D.....	26
CAPÍTULO 6: COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE EJECUCIONES DE MOVIMIENTOS	31
6.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 4: VALIDAR EL FRAMEWORK DE VISUALIZACIÓN 3D MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE GRABACIONES DE LAS EJECUCIONES DE MOVIMIENTO.	31
6.2 RESULTADO ESPERADO 4: REPORTE ESTADÍSTICO DE LA COMPARACIÓN CUANTITATIVA DE LAS DIFERENCIAS EN LAS EJECUCIONES DE MOVIMIENTO, QUE PERMITA DETERMINAR LAS VARIACIONES.	31
CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
7.1 DISCUSIÓN	48
7.2 CONCLUSIONES FINALES	48
7.3 RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: HERRAMIENTAS A UTILIZAR	2
TABLA 2: RIESGOS IDENTIFICADOS.....	8
TABLA 3: COMPARACIÓN DE TRABAJOS PARA LA CAPTURA DE DATOS	17
TABLA 4: RESUMEN DE ESCENARIOS DE PRUEBA.....	46



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: OPTICAL MOTION CAPTURE SYSTEM.....	13
FIGURA 2.2: ELECTROMECHANIC SUIT.....	14
FIGURA 3.1: CAMPO DE VISIÓN DE KINECT.....	20
FIGURA 3.2: ESQUELETO DE 20 NODOS	21
FIGURA 3.3: SISTEMA DE COORDENADAS DE KINECT.....	21
FIGURA 3.4: PRUEBA 1 DE DISTANCIA CON KINECT.....	22
FIGURA 3.5: PRUEBA 2 DE DISTANCIA CON KINECT.....	22
FIGURA 3.6: PRUEBA 3 DE DISTANCIA CON KINECT Y LOS 20 NODOS DEL ESQUELETO	22
FIGURA 4.1: VISUALIZADOR 3D.....	25
FIGURA 4.2: VISUALIZADOR 2D.....	25
FIGURA 5.1: PROTOTIPO DE LA INTERFAZ DE GRABACIÓN	29
FIGURA 5.2: PROTOTIPO DE LA INTERFAZ DE REPRODUCCIÓN	30
FIGURA 6.1: RANGO REFERENCIA DE VALORES NORMALES.....	31
FIGURA 6.2: EJEMPLO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ÁNGULOS DE FLEXIÓN	33
FIGURA 6.3: VECTORES UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE LOS ÁNGULOS DE FLEXIÓN	34
FIGURA 6.4: ESCENARIO A: INFORMACIÓN GENERAL.....	36
FIGURA 6.5: ESCENARIO A: PATRÓN DE MARCHA.....	36
FIGURA 6.6: ESCENARIO A: INFORMACIÓN DEL PATRÓN DE MARCHA.....	37
FIGURA 6.7: ESCENARIO A: COMPARACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE FLEXIÓN	37
FIGURA 6.8: ESCENARIO B: INFORMACIÓN GENERAL.....	36
FIGURA 6.9: ESCENARIO B: PATRÓN DE MARCHA.....	36
FIGURA 6.10: ESCENARIO B: INFORMACIÓN DEL PATRÓN DE MARCHA.....	37
FIGURA 6.11: ESCENARIO B: COMPARACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE FLEXIÓN.....	37
FIGURA 6.12: ESCENARIO C: INFORMACIÓN GENERAL.....	36
FIGURA 6.13: ESCENARIO C: PATRÓN DE MARCHA	36
FIGURA 6.14: ESCENARIO C: INFORMACIÓN DEL PATRÓN DE MARCHA	37
FIGURA 6.15: ESCENARIO C: COMPARACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE FLEXIÓN.....	37
FIGURA 6.16: ESCENARIO D: INFORMACIÓN GENERAL.....	36
FIGURA 6.17: ESCENARIO D: PATRÓN DE MARCHA.....	36
FIGURA 6.18: ESCENARIO D: INFORMACIÓN DEL PATRÓN DE MARCHA.....	37
FIGURA 6.19: ESCENARIO D: COMPARACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE FLEXIÓN	37
FIGURA 6.20: ESCENARIO E: INFORMACIÓN GENERAL	36
FIGURA 6.21: ESCENARIO E: PATRÓN DE MARCHA	36
FIGURA 6.22: ESCENARIO E: INFORMACIÓN DEL PATRÓN DE MARCHA	37
FIGURA 6.23: ESCENARIO E: COMPARACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE FLEXIÓN.....	37

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 Problemática

Los movimientos humanos son diversos en número y la cantidad de interpretaciones que se les pueden dar a los mismos es aún más extensa. Sin embargo, no siempre es necesario interpretar los mismos, sino más bien sólo basta representarlos. Tal es el caso de las terapias de rehabilitación de la marcha, en las cuales los fisiatras observan los movimientos del paciente independientemente de lo que éstos puedan significar. Pues, su objetivo es conocer los movimientos que éste realice y la evolución de los mismos en un periodo de tiempo. Es por ello que una de las primeras tareas que requieren realizar consiste en registrar los movimientos del paciente.

El registro del movimiento humano es una tarea en sumo laboriosa y compleja, más aún cuando se limita a un ámbito bidimensional, tal como lo percibiría la vista humana. La dificultad de este tipo de registro del movimiento se encuentra en la distorsión de las dimensiones del cuerpo de la persona, según la perspectiva utilizada. Es por esto que se requiere de un registro tridimensional, el cual tiene mejor fidelidad en las proporciones del cuerpo.

Para el registro tridimensional de los movimientos hay un mecanismo sofisticado que consiste en el uso de múltiples cámaras que trabajan en conjunto en el proceso de captura del movimiento y permiten realizar el análisis desde distintos planos para una posterior integración de los mismos. Sin embargo, las herramientas necesarias para este mecanismo presentan un costo elevado que se incrementa más aún cuando se desea mejorar la precisión de la captura porque es necesario incrementar el número de cámaras y otros dispositivos adicionales requeridos [YOSHIDA, et al 2010]. Por lo tanto, la utilización de este mecanismo presenta un problema de gran impacto, pues, la adquisición de los equipos necesarios es limitada debido al elevado presupuesto requerido y a la oposición al cambio por parte de los centros de salud.

Por lo tanto, se identifica la ausencia de un método simple y de bajo presupuesto que permita registrar y representar el movimiento de los pacientes de las terapias de rehabilitación de la marcha. Es por ello que el presente proyecto de fin de carrera propone una herramienta económica que permita capturar y representar el movimiento humano en 3D para dar soporte a este tipo de rehabilitación.

1.2 Objetivo general

Implementar un framework de visualización de posturas humanas a partir de puntos 3D adquiridos con un dispositivo de captura de movimiento Kinect para apoyar el análisis del proceso de rehabilitación de la marcha.

1.3 Objetivos específicos

1. Implementar el prototipo de captura de puntos 3D a través del equipo de captura de movimiento Kinect.
2. Implementar un conjunto de clases y métodos que permitan la representación gráfica en 3D de los puntos capturados por Kinect.
3. Desarrollar el framework de visualización 3D de los puntos capturados por Kinect.
4. Validar el framework de visualización 3D mediante la comparación de grabaciones de las ejecuciones de movimiento.

1.4 Resultados esperados

- Prototipo de captura de puntos 3D a través del equipo de captura de movimiento Kinect.
- Prototipo de un visualizador 3D que muestra el esqueleto capturado.
- Editor gráfico que permita manejar y configurar los procesos de captura de movimiento y representación 3D.
- Reporte estadístico de la comparación cuantitativa de las diferencias en las ejecuciones de movimiento, que permita determinar las variaciones.

1.5 Herramientas, métodos y procedimientos

Las herramientas a utilizar, para cada uno de los resultados esperados, se presentan en la Tabla 1.

1.5.1 Mapeo

Tabla 1.

Resultados esperado	Herramientas a usarse
RE1: Prototipo de captura de puntos 3D a través del equipo de captura de movimiento Kinect.	Kinect for Windows SDK es un kit de desarrollo que brinda herramientas para manipular el dispositivo Kinect y permite obtener los esqueletos y nodos de las personas dentro de su rango de visión recomendado.

RE1: Prototipo de captura de puntos 3D a través del equipo de captura de movimiento Kinect.	Microsoft Visual Studio 2010 es un entorno de desarrollo sobre el cual se desarrolla aplicaciones para Kinect.
RE2: Prototipo de un visualizador 3D que muestra el esqueleto capturado.	Helix 3D Toolkit es una librería gráfica 3D cuya base está integrada con el código de interfaz nativo que brinda Visual Studio.
RE3: Editor gráfico que permita manejar y configurar los procesos de captura de movimiento y representación 3D.	Microsoft Visual Studio 2010 es un ambiente de desarrollo en el cual se desarrolla aplicaciones para Kinect.
RE4: Reporte de las validaciones realizadas por los especialistas.	Reportes estadísticos que permitan comparar las variaciones en las ejecuciones de movimiento.

1.5.2 Herramientas a utilizar

- **Kinect for Windows SDK**

Es un kit de desarrollo que permite crear aplicaciones o librerías que soporten el reconocimiento de gestos o de voz utilizando el sensor de Kinect para Windows [MICROSOFT - A, 2013].

Esta herramienta es fundamental debido a que es la que va a permitir controlar el dispositivo Kinect para poder realizar el reconocimiento y la captura de información del movimiento de la persona.

- **Microsoft Visual Studio 2012**

Es un entorno de desarrollo integrado que permite crear aplicaciones para diversas plataformas de Microsoft [MICROSOFT - B, 2013]. Para este caso particular, brinda algunas de las herramientas necesarias para poder desarrollar aplicaciones o librerías para dispositivos Kinect.

- **Metodología para la gestión del proyecto: Scrum**

La metodología a emplear para la gestión del proyecto es Scrum [SUTHERLAND, 2007] debido, principalmente, a que permite ver cómo se encuentra el avance o estado del producto para cada determinado tiempo (en inglés: *sprint*) gracias a las entregas parciales y regulares del producto final. Esto es importante porque es el producto el que, finalmente, genera valor al

presente proyecto. Asimismo, otro motivo de la elección de Scrum es porque sugiere documentar, solamente, aquello que agregue valor al proyecto actual y apoyarse de otras metodologías para suplir los aspectos que Scrum no cubre. Finalmente, Scrum define roles y actividades las cuales se procederá a detallar a continuación.

- **Roles**

En Scrum hay tres roles primarios: *Product Owner*, *Team Members* y *Scrum Master*.

- ***Product Owner***

Es el responsable de definir las funcionalidades del producto en base a la información recopilada. Asimismo, se mantiene en constante comunicación con el equipo de desarrollo y decide qué funcionalidades se debe presentar en cada *sprint*. Para este proyecto, este rol lo ocupa el asesor debido a que es el que orienta y sugiere al asesorado acerca de qué características se debe priorizar; además, de esta forma el asesor estará mejor informado acerca del producto y los avances realizados.

- ***Team Members***

Son los encargados de construir el producto que el cliente va a utilizar. Cabe mencionar que como este proyecto pretende cubrir la ausencia de una herramienta tecnológica, no existe cliente alguno. Asimismo, el equipo está formado por una persona que es el asesorado.

- ***Scrum Master***

Es el encargado de hacer lo necesario para ayudar que el equipo sea productivo, mediante la correcta aplicación de Scrum en el proyecto y facilitando el trabajo del equipo. Asimismo, no se recomienda que el *Scrum Master* y el *Product Owner* sea la misma persona, por lo que, para efectos de este proyecto, el encargado de tomar este rol será el asesorado.

- **Actividades**

En Scrum hay varias actividades definidas y a continuación se procede a describir aquellas que se aplicarán en este proyecto.

- **Starting Scrum**

El primer paso en Scrum consiste en elaborar el *Product Backlog* que está formado por una lista de ítems que indican los requeridos y ordenados de mayor a menor prioridad. Este se acordará entre el *Product Owner* y los *Team Members*, señalando las funcionalidades de la herramienta propuesta.

- **Spring Planning Meeting**

En esta actividad, el *Product Owner* y los *Team Members* revisan el *Product Backlog* y definen qué requisitos se deben presentar en la siguiente iteración así como también las tareas que se debe realizar para cumplir lo acordado

- **Daily Standup Meeting**

En esta actividad, los *Team Members* deben reportar y analizar los avances realizados y los obstáculos encontrados. De esta forma se mantiene un flujo continuo de comunicación entre todos los involucrados; sin embargo, como el presente proyecto está formado por una persona en el rol de *Team Members*, no es necesario realizar reuniones tan frecuentes. Aun así, es necesario que se actualice, diariamente, el estado de las tareas que se han realizado y el tiempo necesario para terminar con lo acordado en el *sprint*.

- **Sprint Review**

En esta actividad, se reúnen el *Product Owner*, los *Team Members* y el *Scrum Master* para revisar las funcionalidades implementadas en el *sprint*. Cabe resaltar que, en este proyecto, esta reunión se da entre el asesor y el asesorado.

- **Sprint Retrospective**

En esta actividad, se analiza qué funciona y qué no; asimismo, también se define y se realiza un acuerdo sobre qué se debe mejorar o corregir para el siguiente *sprint*.

- **Starting the Next Sprint**

Esta actividad consiste en actualizar el *Product Backlog* incorporando nuevas funcionalidades y prioridades que surgieron durante el *sprint*.

- **Metodología para el producto**

La metodología a emplear para el producto es Extreme Programming debido a que se está formada por un conjunto de buenas prácticas cuyo objetivo consiste en aumentar la productividad y ello es ideal para un grupo de pocos desarrolladores como es el caso del presente proyecto.

Esta metodología propone las siguientes fases del ciclo de vida de software [BECK, 1999]:

- **Exploration**

Esta fase inicial, el cliente plantea las historias de las cuales se identifica qué es lo que es importante para una herramienta de captura de movimiento y representación en 3D. Asimismo, el equipo de desarrollo se familiariza con las herramientas y tecnologías que se van a utilizar a lo largo del proyecto.

- **Planning**

En esta fase se llega a un acuerdo entre el cliente y el desarrollador acerca de la fecha de entrega de la primera iteración, así como también se define qué historias serán entregadas en la iteración.

- **Iterations for First Release**

En esta fase se presenta el avance de las funcionalidades acordadas en la fase anterior.

- **Productionizing**

Esta fase se debe realizar las pruebas para comprobar el correcto funcionamiento antes de ser entregado al cliente. Cabe mencionar que aún se puede encontrar cambios necesarios y de acuerdo a ello decidir si se incluyen o no en la entrega actual.

- **Maintenance**

En esta fase, simultáneamente, se continúa desarrollando al mismo tiempo que se mantiene corriendo al sistema existente. Asimismo, también permite incorporar nuevas funcionalidades a la versión anterior del producto.

- **Death**

En esta fase ya no hay más historias por parte del usuario, por lo que ya no se agrega nuevas funcionalidades al producto y sólo se procede a generar la documentación final del mismo.

1.6 Alcance

El presente proyecto pertenece al área de ciencias de la computación y está relacionado con herramientas de captura de movimiento y con herramientas de representación en 3D; específicamente, la integración y mejora de éstas es necesaria para poder aportar con una solución a un problema en específico que consiste en la ausencia de una herramienta de bajo costo que permita capturar el movimiento de pacientes de rehabilitación de la marcha, así como también representar en 3D dichos movimientos para facilitar el análisis que deben realizar los especialistas en ese tipo de rehabilitación.

En primer lugar, la herramienta se apoyará del SDK de Kinect para el proceso de detección del esqueleto humano. En segundo lugar, el registro del movimiento generará un archivo que contenga las posiciones en el tiempo de los nodos del esqueleto. Finalmente, se utilizará los archivos generados para poder volver a visualizar el movimiento capturado y poder utilizar esa información para la validación.

1.6.1 Limitaciones

Durante el desarrollo del proyecto se encontró limitada información disponible en nuestro contexto acerca de la captura de movimiento, las técnicas y herramientas existentes. Asimismo, inicialmente, hubo dificultad en encontrar información acerca de cómo representar los datos en 3D a partir de lo capturado por Kinect.

Otra limitación está referida a la etapa de validación mediante la aplicación al proceso de rehabilitación, para el presente trabajo se definirá un solo ejercicio, como prueba de concepto, donde se realizarán pruebas de forma repetida con diferentes ejecuciones de un determinado ejercicio

1.6.2 Riesgos

A continuación se muestra en la Tabla 2 los principales riesgos identificados de este proyecto de tesis, así como su impacto y las medidas que se tomarán para mitigarlos.

Tabla 2.

Riesgo identificado	Impacto en el proyecto	Medidas correctivas para mitigar
Poca información acerca de las técnicas de captura de movimiento	Alto	<ul style="list-style-type: none"> - Buscar en fuentes internacionales y de grupos de investigación. - Revisar el estado del arte y las fuentes de las publicaciones encontradas.
No conseguir un dispositivo Kinect en los medios locales	Alto	-Importar el dispositivo del extranjero.
Pérdida o alteración no deseada del código fuente y documentación del producto	Alto	-Utilizar un repositorio que permita llevar el control de las versiones del código fuente y documentación del producto.
Realizar inversión económica no planificada	Bajo	- Realizar la inversión y revisar si hay que realizar alguna otra posible inversión no contemplada previamente.
Retraso en la presentación de los entregables	Medio	<ul style="list-style-type: none"> - Gestionar diariamente los tiempos asignados para las diversas tareas a cumplir, así como también, el estado de las mismas. - En caso sea necesario, realizar una re planificación de las tareas para poder cumplir con el plazo de entrega.

1.7 Justificación y viabilidad

1.7.1 Justificativa del proyecto de tesis

Esta herramienta es útil porque permitirá facilitar la captura de la posición del cuerpo humano y modelarlo en 3D para un posterior registro del movimiento de los pacientes y así colaborar con el estudio del desempeño de los mismos mediante la representación virtual de lo capturado durante el tiempo que ellos realicen la terapia. De esta forma, se da un impulso al uso de la tecnología que es más

accesible económicamente y facilita una tarea que, actualmente, se realiza de forma rudimentaria.

Los beneficiados con esta herramienta serían los centros de salud donde se realicen terapias de rehabilitación de la marcha mediante el registro del movimiento en el historial del paciente y la posible visualización en cualquier momento del mismo, a un costo más económico.

Por el trabajo con un dispositivo casero, de bajo costo, los pacientes pueden utilizar nuestra aplicación con el fin de realizar un autocontrol de la ejecución de movimientos y así conocer la evolución temporal de su terapia en su propia casa.

Finalmente, en cuanto al valor teórico, este producto puede servir como una base para otras situaciones en las cuales el movimiento humano es el objeto de estudio, como por ejemplo el análisis del desempeño de atletas. Asimismo, también puede ser una fuente de entrada al momento de elaborar animaciones cuyos personajes sean personas o se desee simular el movimiento de éstas.

1.7.2 Análisis de viabilidad del proyecto de tesis

Se procede a analizar la viabilidad del proyecto desde tres perspectivas: Técnica, temporal y económica.

- **Viabilidad técnica**

El producto requiere soportar la captura de movimiento en 3D y esto es técnicamente viable debido a que el dispositivo Kinect tiene, entre sus componentes, sensores de profundidad 3D. Asimismo, también requiere soporte de gráficos en 3D y para ello se utilizará las herramientas gráficas del sistema.

Debido a que las herramientas para ambos casos forman parte de un mismo ecosistema general, Microsoft, se dispone de facilidades para la integración de ambas funcionalidades del producto

- **Viabilidad temporal**

El presente proyecto de fin de carrera cuenta con 4 meses para el desarrollo aproximadamente. Para cumplir este plazo, es necesario realizar la

importación del equipo Kinect con 1 ó 2 meses de anticipación para evitar retraso alguno por si se presenta algún problema en el envío de éste.

- **Viabilidad económica**

En lo que respecta a equipamiento necesario, se necesita realizar una inversión para la compra e importación del equipo Kinect que es una herramienta fundamental para la parte de la captura del movimiento. Por otro lado, se dispone de una computadora portátil y otra de escritorio para los cuales no se requiere inversión alguna.

Finalmente, las principales herramientas de software, tales como el IDE Visual Studio y el SDK de Kinect, no requieren inversión económica; la primera porque su disponibilidad es gratuita para estudiantes universitarios y la segunda porque su disponibilidad está abierta a cualquier usuario de modo gratuito. Cabe mencionar que tampoco se requiere licencia alguna para desarrollar para la plataforma de Kinect.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En el campo de la captura de movimiento, existen varios conceptos de los cuales se va a definir, en el presente capítulo, aquellos que son, necesariamente, fundamentales y usados frecuentemente para la comprensión de esta tecnología y de la propuesta de solución. Asimismo, también se definirá conceptos relacionados a la problemática para una mejor contextualización de la misma.

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Captura de movimiento

La captura de movimiento, según Menache (2011), es el procedimiento que consiste en grabar un evento, y trasladarlo a términos matemáticos utilizables; esto se realiza mediante el rastreo de puntos clave del espacio en el tiempo y la combinación de los mismos para obtener una representación tridimensional del proceso. En resumen, es el proceso de trasladar un evento real en un evento digital.

Los tipos de captura de movimiento los podemos dividir de dos formas: De acuerdo a la posición de los sensores y de acuerdo a la tecnología.

- **De acuerdo a la posición de los sensores**

Los sistemas de captura de movimiento en humanos están clasificados como *outside-in*, *inside-out* y *inside-in*. Estos nombres indican el lugar en el que las fuentes y sensores se ubican.

- **Outside-in:** Este sistema hace uso de sensores externos para recopilar datos de las fuentes ubicadas en el cuerpo. Un sistema de este tipo es por ejemplo aquel que rastrea mediante cámaras -las cuales son los sensores- y los “marcadores” (*markers*) son las fuentes.
- **Inside-out:** Este sistema tiene sensores ubicados alrededor del cuerpo, los cuales recopilan datos de fuentes externas. Un ejemplo de este tipo son los sistemas electromagnéticos, cuyos sensores se mueven en un campo artificial externo.
- **Inside-in:** Este sistema utiliza sensores y fuentes ubicados en el cuerpo. Un tipo común de este sistema son los trajes electromecánicos, en donde los

potenciómetros son sensores y las fuentes son las articulaciones del cuerpo.

- **De acuerdo a la tecnología**

Las principales tecnologías usadas en la actualidad que representan estas categorías son las ópticas, electromagnéticas e *inertial human tracking systems*. Se describe algunas de estas a continuación:

- ***Optical motion capture systems***

Es un sistema *mocap* del tipo *outside-in* que se basa en el uso de varias cámaras CCD (*Charge-Coupled Device*), generalmente de 4 a 32. Estas cámaras son dispositivos sensibles a la luz que utilizan un arreglo de píxeles que capturan la luz y miden la intensidad de ésta para crear a su vez una representación digital de la imagen.

Estos sistemas ópticos pueden llegar a ser muy precisos dependiendo de la resolución y velocidad de muestreo de la cámara. Una cámara típica puede ofrecer una resolución de 16 MP (megapíxeles) a una velocidad de 120 cuadros por segundo; si bien esta velocidad de muestreo es más que suficiente para eventos de transición lenta, sería necesario disminuir la cantidad de MP a capturar para incrementar la velocidad de muestreo en eventos de alta variabilidad (por ejemplo, los movimientos de un jugador durante un partido de fútbol). Cabe mencionar que este sistema solo captura la posición espacial de los marcadores y ninguna medida rotacional, por lo cual es necesario desarrollar un post-procesado de datos. En la Figura 2.1 se muestra cómo este sistema puede ser llevado para la animación 3D.

Ventajas:

- Permite utilizar un gran número de marcadores y estos son personalizables.
- No requiere que las personas, cuyos movimientos se van a capturar, estén conectados a cables.
- Permite la captura de un área de ejecución más amplio, comparado con otros sistemas actuales.
- Se puede alcanzar una gran tasa de muestreo, permitiendo un mayor número de cálculos por segundo.

Desventajas:

- El costo de los equipos necesarios es elevado (más de \$50 000).
- Requiere de un ambiente cuya iluminación y reflejos estén controlados.
- Los sensores se pueden obstruir por el cuerpo del objeto de estudio, generando una interrupción en el flujo de datos.
- Requiere post-procesamiento para la obtención de la rotación.

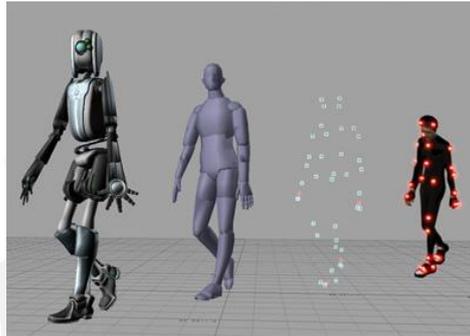


Figura 2.1. (Fuente:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6d/Activemarker2.PNG>)

- ***Electromagnetic trackers***

Es un sistema *mocap* que consiste en un arreglo de receptores los cuales miden y correlacionan su posición espacial, para luego enviar la información a un receptor cercano. Estos receptores o sensores se posicionan alrededor del cuerpo y se conectan a una unidad de control electrónica; en la mayoría de casos mediante cables independientes.

Ventajas:

- Permite obtener información en tiempo real.
- Permite la captura de varios sujetos interactuando entre sí en un sinnúmero de escenarios.
- La orientación y posición están disponibles sin necesidad de post-procesamiento.
- Los sensores nunca se obstruyen.

Desventajas:

- Los sensores utilizados son susceptibles a interferencia por metales y esto puede causar que los datos sean irregulares.
- Los movimientos se pueden ver limitados por la presencia de cables.

- La frecuencia de muestreo puede ser mucho más baja que en un sistema óptico.
 - Es difícil la reconfiguración de los marcadores en caliente.
- **Electromechanic suits**
- Un traje electromecánico es un sistema *mocap* del tipo *inside-in* que se basa en un grupo de estructuras conectadas mediante el uso de potenciómetros, giroscopios u otros instrumentos de medida angular similares; los cuales se ubican en las principales articulaciones humanas. El propósito de esta distribución es medir el grado de rotación de las extremidades humanas; sin embargo, una gran desventaja es la incapacidad de medir traslaciones globales. Esto se observa pues en los movimientos no estándar de los huesos cúbito y radio, con los que se puede realizar no solo movimientos de pivote, sino a su vez movimientos de rotación con respecto al húmero. En la Figura 2.2, se muestra el equipo usado por el producto MVN de Xsens [ROETENBERG, 2013].

Ventajas:

- El rango de captura es muy amplio.
- Son menos costosos que los del tipo electromagnético u óptico.
- Es portátil.
- Recopilación de datos en tiempo real es posible.
- Los sensores nunca se obstruyen.
- Permite la captura de varios sujetos interactuando entre sí en un sinnúmero de escenarios.

Desventajas:

- La velocidad de muestreo es baja.
- Puede ser obstructivo por la cantidad de hardware.
- Limita el movimiento de las articulaciones y extremidades.
- No siempre se puede calcular traslaciones globales.
- La configuración de los sensores es única.



Figura 2.2. (Fuente: ROETENBERG, 2013)

2.1.2 Markers/Marcadores

En la captura de movimiento, el sujeto de estudio puede ser cualquier cosa que exista en el mundo real y posea movimiento. Los markers son aquellas áreas que representan de mejor manera el movimiento de las diversas partes del sujeto de estudio. Por ejemplo, en los humanos, se utilizan las articulaciones, pues éstas, funcionan como puntos de pivote y conexión para los huesos [MENACHE, 2011].

2.1.3 Kinect

Kinect es una tecnología de control de juego introducida por Microsoft en noviembre del 2010 y resultado de una patente [FREEDMAN et. al, 2012], que permite rastrear los movimientos, voces e, incluso, identificar rostros. Kinect interpreta escenas tridimensionales a partir de una estructura infrarroja de proyección continua. Está compuesto por una cámara RGB, un sensor de profundidad y un arreglo múltiple de micrófonos; de esta forma, brinda una captura tridimensional del movimiento del cuerpo entero.

El sensor de profundidad está formado por un proyector láser infrarrojo que se combina con un sensor monocromo CMOS, esto le permite al sensor de Kinect que procese escenas tridimensionales en cualquier condición de luz ambiental. El sistema de coordenadas que se utiliza, sitúa al Kinect en el origen y al eje Z extendiéndose en dirección a la que el dispositivo está apuntando.

2.2 Estado del arte

En esta sección se presentan trabajos publicados como alternativas de solución al reconocimiento y representación de posturas en 3D.

2.2.1 Captura de datos

A continuación se presenta algunos trabajos enfocados en la captura de datos. El resumen comparativo se puede visualizar en la Tabla 3.

a. Using Kinect for hand tracking and rendering in wearable haptics

Este trabajo tuvo como objetivo principal el desarrollo de un dispositivo háptico que permita la animación de la mano de un avatar en realidad virtual. En primer lugar, se utilizó principalmente la tecnología Kinect para la captura del movimiento de la mano, usando como marcador al mismo dispositivo háptico que a su vez proporcionó la información la data referente a la fuerza utilizada durante el movimiento. El principal limitante es que para el adecuado funcionamiento del algoritmo de reconocimiento se requiere que la parte más larga de la mano sea visible [FRATI, 2011].

b. 3D Human Postures Recognition Using Kinect

Esta investigación propone un método de reconocimiento de posturas humanas, en 3D y tiempo real, que se basa en diferenciar a la persona del fondo mediante un algoritmo que utilice como base al color y profundidad asociados a cada pixel detectado por el sensor Kinect. Esta propuesta es útil para la captura del movimiento en 3D, sin embargo, requiere de una mejor representación de la información obtenida porque la propuesta realizada consiste en usar un cubo LED para reflejar los puntos capturados [ZHENG, 2012].

c. Modeling of Human Postures Using Stereo Camera

Este trabajo presenta una técnica de modelado de la postura humana mediante el uso de un sistema de cámara estéreo el cual luego de obtener la representación tridimensional de la persona sobrepone a esta un esqueleto virtual mediante el cual se adquiere la postura de la persona [YOSHIDA, 2010]. Sin embargo, el costo elevado de los equipos necesarios y la alta capacidad de procesamiento requerido [FRATI, 2011] son factores que no permiten satisfacer el propósito de este documento.

d. Kinect for Rehabilitation

Esta investigación presenta una propuesta de bajo costo de un asistente automatizado para ayudar a los pacientes a realizar una terapia de rehabilitación en casa con el objetivo de disminuir la necesidad de asistir a las sesiones con los terapeutas que resultan ser caras. El elemento principal en este sistema es la cámara de Kinect que permite realizar un seguimiento del cuerpo humano de manera completa en tiempo real. Cuenta con un propio algoritmo que permite realizar de manera más precisa el proceso de captura de los nodos del cuerpo.

Finalmente, se enfoca en brindar al paciente instrucciones de cómo realizar determinados ejercicios y las posturas que debería estar realizando para cumplirlos.

Tabla 3.

	Costo económico	Costo computacional	Aplicado a	Limitaciones
a	Bajo	Bajo o mediano	Manos	Requiere que la parte más larga de la mano esté visible para un funcionamiento adecuado. Además, sólo está limitado a una parte del cuerpo humano
b	Bajo	Bajo o mediano	Cuerpo completo	La representación del movimiento en 3D se realiza en un cubo LED el cual no se presta para la situación expuesta en la que se requiere una representación virtual en 3D.
c	Mediano o elevado	Elevado	Parte superior del cuerpo humano	Los costos económicos y computacionales son elevados y requiere de varias cámaras para mejorar la precisión.
d	Bajo	Bajo o mediano	Cuerpo completo	No se detalla el tipo de análisis que se realiza y su enfoque está en brindar instrucciones de cómo realizar determinados ejercicios predefinidos.

2.2.2 Representación del movimiento en 3D

KinectFusion es una técnica de representación 3D que utiliza la cámara de Kinect como dispositivo de entrada para la reconstrucción de escenas en campos cerrados con una precisión cercana al centímetro [MICROSOFT – C, 2013]. Esta precisión depende del lugar a reconstruir, mientras el espacio sea más amplio, la precisión disminuye debido a factores numéricos ligados al sensor de Kinect. El objetivo de la tecnología KinectFusion es ser lo suficientemente rápida y fácil de manejar para permitir el desarrollo de sistemas de realidad aumentada o escenarios interactivos

[JAHRMANN, 2013]. Sin embargo, la limitante que existe es la necesidad de contar con una tarjeta de video compatible con DirectX 11.

2.2.3 Conclusiones sobre el estado del arte

Lo que se observa es que en la actualidad los sistemas de captura de movimiento o bien tienen un costo elevado o un propósito en específico, lo cual limita a aquellos investigadores con presupuestos limitados. El mecanismo que utiliza un sistema de cámara estéreo presenta un grado de detección elevado, pero el algoritmo utilizado no es del todo eficiente. Esto se comprueba al observar la cantidad de procesamiento requerida para su ejecución. Por otro lado, los dos mecanismos que hacen uso de Kinect, tienen objetivos basados en la postura, pero no en la posición ni la forma del objeto a estudiar.

Por lo tanto, esta propuesta pretende proveer de un sistema mocap que aproveche el bajo costo económico y computacional mediante el uso de Kinect como sensor de captura del movimiento del objeto; por otro lado, debido a que no se cuenta con una tarjeta gráfica compatible con DirectX 11, no será posible utilizar Kinect Fusion para la representación 3D y, por ello, se utilizará librerías gráficas básicas del sistema. De este modo, el uso de esta herramienta sólo se podrá ver limitado por los usuarios y no por el equipo.

CAPÍTULO 3: CAPTURA DE MOVIMIENTO CON KINECT

3.1 Objetivo específico 1: Implementar el prototipo de captura de puntos 3D a través del equipo de captura de movimiento Kinect.

El primer paso para poder contar con los movimientos del usuario consiste en capturarlos. Dicha captura requiere de un equipo que permita obtener imágenes de las cuales se pueda reconstruir el esqueleto humano.

El equipo Kinect cuenta con un sensor infrarrojo y una cámara de profundidad que, al trabajar en conjunto, permiten identificar la silueta de una persona y la distancia de cada punto de la misma con respecto al sensor.

Lo que se espera con la implementación de este objetivo es el poder obtener el esqueleto de la persona para su posterior uso.

3.2 Resultado esperado 1: Prototipo de captura de puntos 3D a través del equipo de captura de movimiento Kinect.

Esta herramienta podrá obtener nodos que permitan construir el esqueleto de una persona en un periodo de tiempo, acomodándolos a una estructura que luego pueda ser almacenada a modo de registro.

3.2.1 Pre-requisitos

Para un mejor funcionamiento, es aconsejable que no haya algún objeto o bulto que interfiera entre la persona y el Kinect ya que sino la precisión se verá afectada negativamente y los puntos obtenidos serán distorsionados. Asimismo, cabe mencionar que debido a que se utilizará el sensor infrarrojo y la cámara de profundidad, la luz del ambiente no es un factor que impacte mucho en este proceso.

3.2.2 Funcionamiento

El usuario debe ubicarse dentro del rango de visión óptimo del Kinect. Este rango es de un campo de visión horizontal de 58° y campo de visión vertical de 48° aproximadamente. Asimismo, la distancia recomendada es desde los 0.80m hasta los 4.00m. Esta información se puede visualizar en la Figura 3.1.

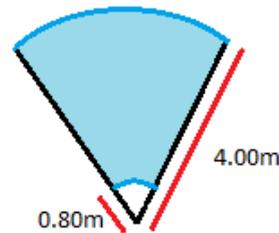


Figura 3.1. (Fuente: elaboración propia)

Mediante el SDK, se debe inicializar el sensor configurando el tipo de información que se desea recibir. En este caso, se indica que se quiere recibir datos de la cámara de profundidad y de los esqueletos que logre identificar. Asimismo, se utiliza el modo por defecto que consiste en captura del cuerpo completo y no solo la parte superior del cuerpo. Una vez configurado el sensor, éste procede a lanzar avisos cada vez que cuente con nuevos datos de las imágenes de profundidad y de los esqueletos reconocidos.

En la Figura 3.2 se puede visualizar que el esqueleto cuenta con 20 nodos los cuales son:

- Head (cabeza)
- Shoulder – Center (Pecho)
- Shoulder – Right (Hombro derecho)
- Elbow – Right (Codo derecho)
- Wrist – Right (Muñeca derecha)
- Hand – Right (Mano derecha)
- Shoulder – Left (Hombro izquierda)
- Elbow – Left (Codo izquierdo)
- Wrist – Left (Muñeca izquierda)
- Hand – Left (Mano izquierda)
- Spine (Columna vertebral)
- Hip – Right (Cadera – parte derecha)
- Hip – Left (Cadera – parte izquierda)
- Knee – Right (Rodrilla derecha)
- Knee – Left (Rodilla izquierda)
- Ankle – Right (Tobillo derecho)
- Ankle – Left (Tobillo izquierdo)
- Foot – Right (Pie derecho)
- Foot – Left (Pie izquierdo)

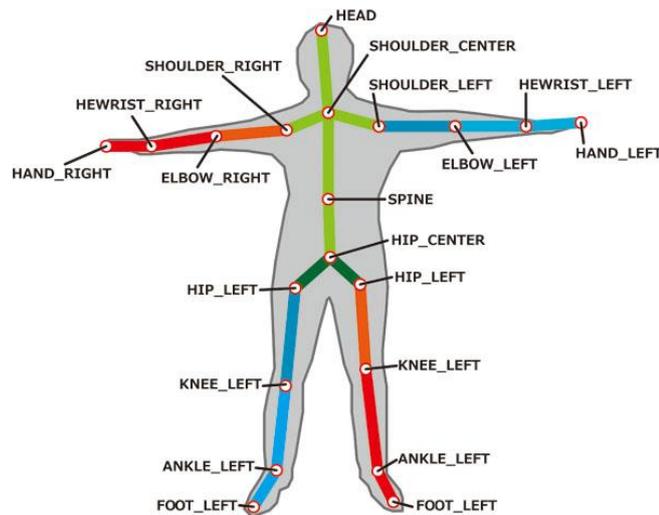


Figura 3.2. (Fuente: http://www.kosaka-lab.com/tips/img/kinectSDK_24.jpg)

De cada nodo, para el presente proyecto, se utiliza los siguientes datos:

- *JointType*: Indica cuál de los 20 nodos del cuerpo es.
- *Position*: La posición X, Y, Z en metros, donde el eje Z positivo va en la dirección a la que el Kinect está apuntando y el plano del piso es paralelo al plano XZ. Esto se puede visualizar en la Figura 3.3.

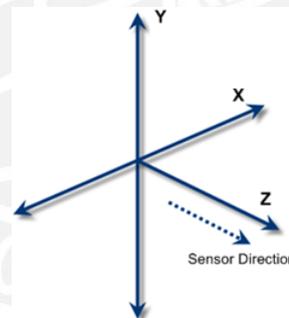


Figura 3.3. (Fuente: <https://i-msdn.sec.s-msft.com/dynimg/IC534689.png>)

El esqueleto cuenta con datos adicionales, tales como el modo de captura o el *timespan*, pero éstos no son utilizados en este trabajo.

Recapitulando, la información con la que se va a trabajar y guardar posteriormente es:

- Esqueleto
 - Lista de 20 nodos. Cada nodo contiene:
 - Posición X, Y, Z.
 - Tipo de nodo

3.2.3 Mecanismo de prueba

Se sitúa a una persona a una distancia definida del Kinect. En la Figura 3.4, se puede ver una prueba a una distancia aproximada de 1.50m y se indicó que el rango de 0.80m a 2.00m pinte la silueta del usuario de color verde. En caso supere los 2.00m de distancia, se indicó que lo coloree de color amarillo tal como se muestra en la Figura 3.5.



Figura 3.4. (Fuente: elaboración propia)

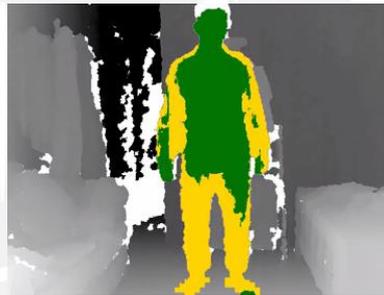


Figura 3.5. (Fuente: elaboración propia)

Finalmente, en la Figura 3.6 se muestra el esqueleto de 20 nodos sobre la silueta identificada.



Figura 3.6. (Fuente: elaboración propia)

Cabe mencionar que el esqueleto construido presenta imprecisión en la identificación de los nodos de los brazos y de los pies. Se puede ver en la imagen de profundidad que el codo derecho se colorea de amarillo indicando que se encuentra más lejos de la cámara de profundidad que el codo izquierdo. Sin

embargo, el esqueleto pintado no permite visualizar tal información debido a la distorsión del plano 2D.

3.2.4 Conclusiones finales

El esqueleto obtenido por los 20 nodos identificados presenta cierto grado de imprecisión y no toda la información que devuelve el SDK será utilizada. Finalmente, la visualización actual no permite distinguir que hay partes del cuerpo que se encuentran más lejos o cerca de la cámara; para ello es necesario un visualizador tridimensional el cual será tratado en el siguiente capítulo.



CAPÍTULO 4: VISUALIZACIÓN 3D

4.1 Objetivo específico 2: Implementar un conjunto de clases y métodos que permitan la representación gráfica en 3D de los puntos capturados por Kinect.

Una vez obtenidos los puntos en el espacio, se necesita poder visualizarlos con un visualizador adecuado a la dimensión a la que éstos pertenecen. Es por ello que se utiliza la librería gráfica Helix 3D Toolkit (Bjorke, 2012) que permite dibujar y manipular objetos en 3D.

4.2 Resultado esperado 2: Prototipo de un visualizador 3D que muestra el esqueleto capturado.

Esta herramienta permitirá visualizar, en un entorno 3D, el esqueleto capturado directamente desde Kinect en tiempo real o mediante la reproducción de un archivo con la captura previamente registrada.

4.2.1 Funcionamiento

La librería brinda un entorno en el cual es posible crear objetos en 3D, desplazarse dentro del espacio y cambiar la dirección en la que se observan estos objetos. Estos cambios en la cámara se realizan con el mouse directamente.

Por otro lado, se implementa un método de pintado que reciba un esqueleto y lo dibuje dentro de este entorno, donde cada nodo es un objeto Point3D y cada unión entre nodos es un cilindro. Una vez definidos los cilindros, se procede a agruparlos y se los agrega al entorno. De esta forma, se logra representar, mediante esta librería, el esqueleto recibido como parámetro.

Finalmente, a este método de dibujado se le va a llamar desde los siguientes escenarios:

- Notificación por parte del Kinect que indica que se obtuvo nuevos datos: En el prototipo de captura, se utilizará este visualizador para que se pueda mostrar en tiempo real el esqueleto que se está capturando actualmente.
- Reproducción a partir de un archivo guardado: En el editor gráfico, se cuenta con la opción de visualizar las grabaciones realizadas previamente y se recibirá un aviso de actualizar el pintado del visualizador de acuerdo a la frecuencia de reproducción seleccionada.

4.2.2 Mecanismo de prueba

Para probar el visualizador, se usará el primer escenario descrito. Cada vez que se obtenga un esqueleto, se notifica que se dibuje tal como se puede apreciar en la Figura 4.1. Asimismo, para contar con otra perspectiva, en la Figura 4.2 se muestra las imágenes de la cámara de profundidad con el esqueleto en el plano 2D.

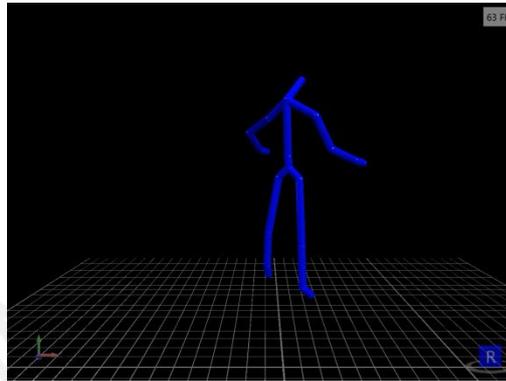


Figura 4.1. (Fuente: elaboración propia)

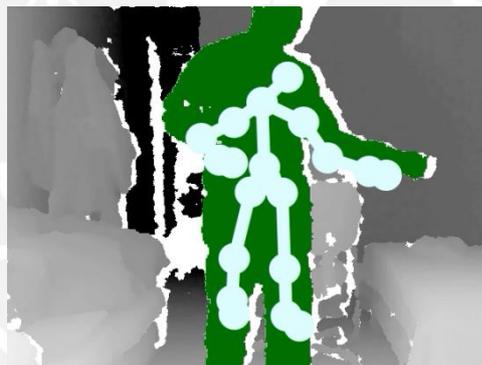


Figura 4.2. (Fuente: elaboración propia)

4.2.3 Conclusiones finales

El visualizador utilizado cumple con las necesidades planteadas y es funcional en ambos escenarios descritos. Permite desplazarse en el entorno, así como también rotar la cámara y hacer zoom.

CAPÍTULO 5: INTEGRACIÓN DE CAPTURA DE PUNTOS CON VISUALIZADOR 3D

5.1 Objetivo específico 3: Desarrollar el framework de visualización 3D de los puntos capturados por Kinect.

Una vez que se puede capturar los movimientos del individuo y se cuenta con un visualizador 3D adecuado para representarlos visualmente, se procede a realizar una integración de estas herramientas. Asimismo, es necesario realizar el registro de los movimientos capturados en el tiempo así como también poder reproducirlos a partir de una grabación previa.

Lo que se pretende lograr con la implementación de este objetivo es poder contar el registro en un archivo de los movimientos capturados y la lectura del mismo para una reproducción posterior. Asimismo, se busca también contar con una interfaz adecuada que permita realizar las funcionalidades descritas.

5.2 Resultado esperado 3: Editor gráfico que permita manejar y configurar los procesos de captura de movimiento y representación 3D.

Esta herramienta permitirá realizar el registro de los movimientos capturados en un archivo y, luego, permitirá realizar la carga del mismo para poder visualizar la grabación realizada.

5.2.1 Funcionamiento

Debido a que existen dos escenarios principales los cuales son la grabación y la reproducción de los movimientos capturas, se procede a explicar cada escenario por separado.

Asimismo, para ambos procesos, se buscó información acerca de una forma adecuada y no muy compleja de almacenar la posición de todos los nodos de la persona en el transcurso del tiempo y de cómo realizar su respectiva lectura a modo de simular una reproducción de video. De esta búsqueda, se logró encontrar una librería llamada *Kinect.Replay* que cuenta con el funcionamiento básico para guardar y reproducir a partir de un archivo creado.

Cabe mencionar que esta librería también cuenta con algunas opciones adicionales que no se van a utilizar en este proyecto tal como la grabación de audio a partir de

los micrófonos del Kinect. Por otro lado, también carece de algunas características como lo es el control del flujo de la reproducción del archivo.

Es debido a esto que se toma como base a esta librería cuyo código está disponible en un repositorio en Github y a partir de ésta se realiza las modificaciones necesarias para poder cumplir con las necesidades del presente resultado esperado.

a. Grabación del movimiento capturado

En primer lugar, se configura en las opciones de la librería que sólo se desea guardar la información recibida por las cámaras y no por el micrófono, pues, estas opciones son las primeras en registrarse en el archivo a crear.

A continuación, se establece que de toda la información que se recibe de la cámara, sólo se va a registrar la de los esqueletos y no las imágenes de color ni profundidad. Una vez hecho esto, se instancia un grabador de la librería llamado *SkeletonRecorder* que establece la fecha y hora actual como primera referencia de tiempo que luego permitirá calcular la longitud de tiempo entre cada esqueleto guardado en el archivo.

A esta clase se le va a enviar los datos de cada esqueleto recibido por el sensor Kinect para que lo procese y almacene en un archivo de grabación. La información principal que se guarda en cada recepción es:

- *Timespan*: representa la longitud de tiempo entre la última grabación y la hora actual, se calcula de la siguiente manera:

$$timeSpan = \text{ÚltimoTiempoRegistrado} - \text{HoraActual}$$

- *TrackingMode*: indica el modo de captura que se utilizó para la obtención del esqueleto. Esta configuración se hereda de lo indicado en el resultado esperado 1, el cual consiste en la captura completa del cuerpo.
- Esqueletos: son los esqueletos capturados por Kinect y su información es la que se debe agregar al archivo de grabación. La estructura de los mismos fue descrita en el resultado esperado 1.

Luego de guardar la nueva información recibida, se procede a entrar a un estado de espera hasta nuevo aviso o hasta que se indique que se desea terminar la grabación.

Recapitulando, la estructura del archivo de grabación con la información principal sería:

- Opciones de grabación (no audio)
- Lista de secuencias a partir de cada aviso recibido por Kinect. Cada secuencia contiene:
 - Timespan
 - TrackingMode
 - Lista de esqueletos. Cada esqueleto contiene:
 - Lista de 20 nodos. Cada nodo contiene:
 - Posición X, Y, Z.
 - Tipo de nodo.

b. Reproducción del movimiento capturado

Para la reproducción del movimiento capturado, se procede primero a cargar el archivo seleccionado y se reconstruye en memoria la estructura descrita previamente en la parte de grabación.

Finalizada la carga, se permite recién al usuario que inicie la reproducción. Esta reproducción consiste en iniciar un bucle que recorra la lista de secuencias y se apoya del *timespan* para controlar la velocidad de reproducción. El algoritmo empleado es el siguiente:

1. *Para cada secuencia en la lista de secuencias, hacer:*
 - 1.1. *Mientras (está en pausa la reproducción), hacer:*
 - 1.1.1. *Dormir(500 ms)*
 - 1.2. *Fin Mientras*
 - 1.3. *timeSpan = secuencia.timeSpan * factor*
 - 1.4. *Dormir(timeSpan)*
 - 1.5. *Notificar que se debe pintar(secuencia.listaEsqueletos)*
2. *Fin Para*
3. *Estado de reproducción = Finalizado*

De esto, también se tiene que para controlar la velocidad de reproducción se calcula un tiempo de espera basado en la alteración del *timespan* de la secuencia mediante la multiplicación de un factor.

Para este proyecto, los valores que puede tener el factor son 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 y 4.0 que permiten velocidades de reproducción de 4X, 2X, 1X, 0.5X y 0.25X respectivamente.

5.2.2 Mecanismo de prueba

Las pruebas realizadas consistieron en grabar movimientos aleatorios dentro del ángulo de visión de las cámaras del Kinect. El prototipo de la interfaz de grabación se puede apreciar en la Figura 5.1.

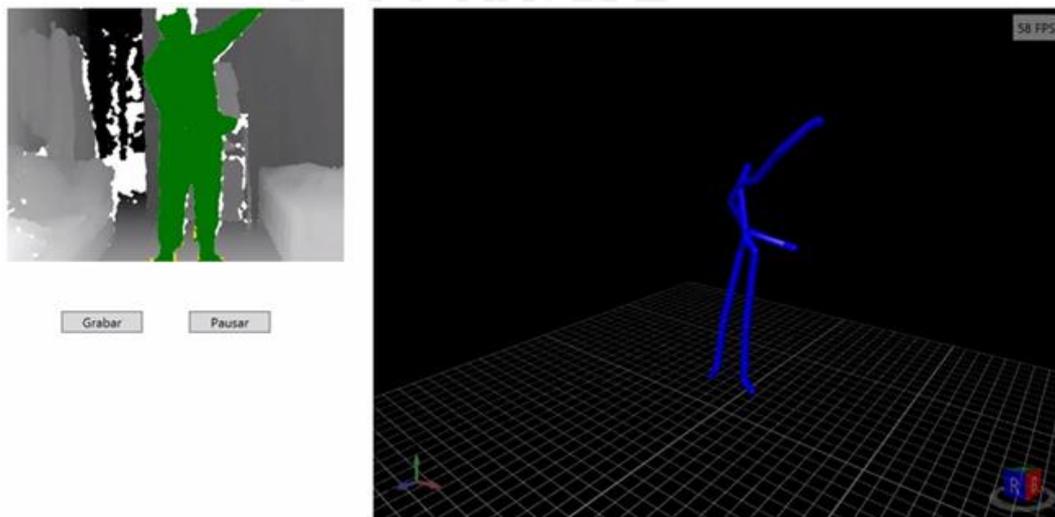


Figura 5.1. (Fuente: elaboración propia)

Para corroborar que la grabación fue un éxito, se compara los movimientos que se vieron en el visualizador al momento de grabar con los mostrados en la vista de reproducción a partir de un archivo.

Asimismo, a modo de pruebas, en la interfaz de reproducción mostrada en la Figura 5.2, se agregó una lista que muestra las relaciones entre los nodos y se calcula el ángulo formado por dichas relaciones conforme se va reproduciendo el archivo.

Head - ShoulderCenter - ShoulderLeft	94.19 degrees
Head - ShoulderCenter - ShoulderRight	130.00 degrees
Head - ShoulderCenter - Spine	127.76 degrees
ShoulderCenter - ShoulderLeft - ElbowLeft	137.95 degrees
ShoulderCenter - ShoulderRight - ElbowRight	142.30 degrees
ShoulderCenter - Spine - HipCenter	170.47 degrees
ShoulderLeft - ElbowLeft - WristLeft	104.15 degrees
ShoulderRight - ElbowRight - WristRight	128.79 degrees
ElbowLeft - WristLeft - HandLeft	124.81 degrees
ElbowRight - WristRight - HandRight	168.63 degrees
Spine - HipCenter - HipLeft	133.74 degrees
Spine - HipCenter - HipRight	134.26 degrees
HipCenter - HipLeft - KneeLeft	126.69 degrees
HipCenter - HipRight - KneeRight	135.41 degrees
HipLeft - KneeLeft - AnkleLeft	78.61 degrees
HipRight - KneeRight - AnkleRight	174.56 degrees
KneeLeft - AnkleLeft - FootLeft	129.02 degrees
KneeRight - AnkleRight - FootRight	116.84 degrees

Frecuencia: 1x

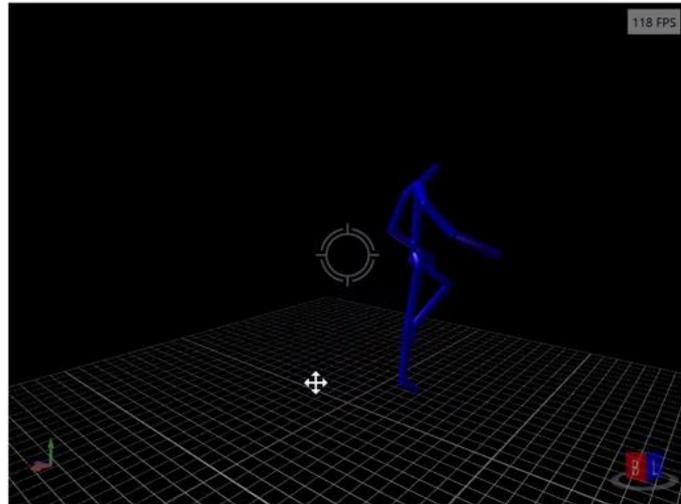


Figura 5.2. (Fuente: elaboración propia)

5.2.3 Conclusiones finales

Se encontró una librería que tenía el funcionamiento básico para poder realizar la grabación y reproducción de la captura del movimiento. Esta librería se tuvo que adaptar para que la información a guardar sean las posturas del esqueleto de la persona y no las imágenes obtenidas por las cámaras de color y profundidad. Asimismo, se tuvo que realizar modificaciones con el fin de poder contar con las funcionalidades para el manejo del flujo de la reproducción.

Una vez finalizadas las modificaciones, se puso a prueba este editor y se realizaron algunas grabaciones que no presentaron problema alguno durante su realización. Del mismo modo, luego se pasó a cargar y reproducir los archivos de grabación creados y los resultados fueron satisfactorios.

Finalmente, se puede afirmar que se logró alcanzar el resultado esperado propuesto y que este editor será muy útil para la realización del siguiente capítulo.

CAPÍTULO 6: COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE EJECUCIONES DE MOVIMIENTOS

6.1 Objetivo específico 4: Validar el framework de visualización 3D mediante la comparación de grabaciones de las ejecuciones de movimiento.

Para el desarrollo del presente objetivo, se definió como ejercicio a ejecutar el caminar en línea recta unos 3 metros aproximadamente. Asimismo, se implementa una vista que permite visualizar la variación de los ángulos de flexión de las rodillas, la velocidad de desplazamiento de la persona y la distancia recorrida durante la realización de dicho ejercicio. Finalmente, se realiza comparaciones de estos valores mencionados con respecto a los valores normales definidos para una marcha normal.

6.2 Resultado esperado 4: Reporte estadístico de la comparación cuantitativa de las diferencias en las ejecuciones de movimiento, que permita determinar las variaciones.

Este resultado brindará información que permita conocer el desarrollo y progreso de la persona que ejecute el ejercicio a partir de los archivos de registro guardados.

6.2.1 Pre-requisitos

Se construye una curva similar a los datos de referencia mostrados en la Figura 6.1 que describen el comportamiento normal de los ángulos de flexión de la rodilla para un ciclo de marcha. La franja ploma representa los rangos de valores para una caminata normal.

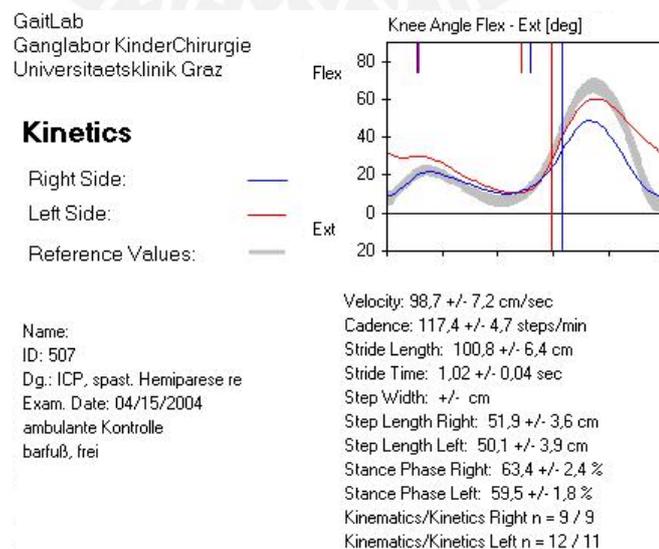


Figura 6.1. (Fuente: <http://www.clinicalgaitanalysis.com/archives/7-1-04/kinem.JPG>)

Sea:

- x : porcentaje de desarrollo del ciclo de paso
- $f(x)$: ángulo de flexión

Debido a que no se logró obtener los valores exactos de la curva, se optó por realizar una reconstrucción a partir de 4 rectas cuyos valores se aproximan a los de referencia:

- Recta 1:

$$1 \leq x < 18$$

$$f(1) = 1.9$$

$$f(18) = 18.8$$

$$m = \frac{18.8 - 1.9}{18 - 1} = 0.9941176471$$

$$b = f(1) - m * 1 = 0.9058823529$$

- Recta 2:

$$18 \leq x < 43$$

$$f(18) = 18.8$$

$$f(43) = 0$$

$$m = \frac{0 - 18.8}{43 - 18} = -0.752$$

$$b = f(18) - m * 18 = 32.336$$

- Recta 3:

$$43 \leq x < 76$$

$$f(43) = 0$$

$$f(76) = 62$$

$$m = \frac{62 - 0}{76 - 43} = 1.8787878788$$

$$b = f(43) - m * 43 = -80.787878788$$

- Recta 4:

$$76 \leq x \leq 100$$

$$f(76) = 62$$

$$f(100) = 0$$

$$m = \frac{0 - 62}{100 - 76} = -2.5833333333$$

$$b = f(76) - m * 76 = 258.33333333$$

Resumiendo:

$$f(x) = \begin{cases} 0.9941176471 * x + 0.9058823529, & 1 \leq x < 18 \\ -0.752 * x + 32.336, & 18 \leq x < 43 \\ 1.8787878788 * x - 80.787878788, & 43 \leq x < 76 \\ -2.5833333333 * x + 258.33333333, & 76 \leq x \leq 100 \end{cases}$$

En la gráfica de referencia también se puede apreciar que el rango aproximado de la franja es de 10°, por lo que a partir de la función definida anteriormente se construye 2 funciones llamadas límite superior y límite inferior.

$$f_{\text{límite superior}}(x) = f(x) + 5^\circ$$

$$f_{\text{límite inferior}}(x) = f(x) - 5^\circ$$

Asimismo, como no se cuenta con un reconocimiento automático para detectar qué parte de toda la curva de los ángulos de flexión de la grabación es la que se debe comparar, se permite que el usuario indique desde qué punto hasta qué punto se debe considerar como un ciclo de paso tal como se muestra en la Figura 6.2.

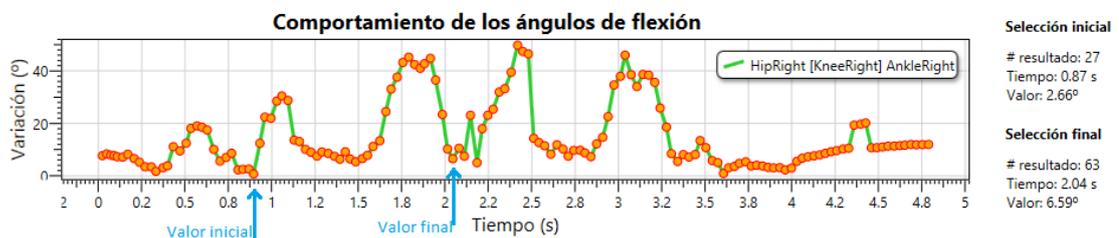


Figura 6.2. (Fuente: elaboración propia)

6.2.2 Funcionamiento

A partir de un archivo de registro de movimiento, se procede a obtener la variación de los ángulos de la rodilla, la velocidad de desplazamiento de la persona y la distancia recorrida.

Para el cálculo del ángulo de la rodilla en cada instante del tiempo, se realiza lo siguiente:

- Se define 2 vectores a partir de la información de la posición de la cadera, rodilla y tobillo (Figura 6.3):

$$KneeHip = (Hip.X - Knee.X; Hip.Y - Knee.Y; Hip.Z - Knee.Z)$$

$$KneeAnkle = (Ankle.X - Knee.X; Ankle.Y - Knee.Y; Ankle.Z - Knee.Z)$$

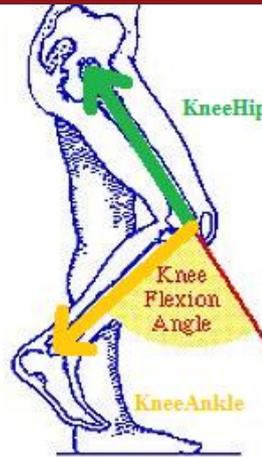


Figura 6.3. (Fuente:

<http://img.medscape.com/fullsize/migrated/440/148/mos3140.fig2.jpeg>)

- El ángulo de las rodillas se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Ángulo de rodilla} = \cos \frac{\text{Hip-Knee}}{\text{Hip-Ankle}}$$

- Finalmente, el ángulo de flexión de la rodilla se obtiene así:

El cálculo de la distancia se realiza a partir de los cambios de posición del centro de la columna vertebral de la persona en cada secuencia que conforma a la lista de secuencias. Para esto, no se considera el eje Y debido a que éste representa la altura.

Sea:

- *SpineT2*: Nodo del centro de la columna vertebral en el instante de tiempo t .
- *SpineT1*: Nodo del centro de la columna vertebral en el instante de tiempo $t-1$.

$$\sqrt{(Sp_t - Sp_{t-1})^2 + (X_t - X_{t-1})^2 + (Z_t - Z_{t-1})^2}$$

Asimismo, a partir de la distancia calculada, se procede a obtener la velocidad en cada secuencia:

6.2.3 *Mecanismo de prueba*

Se ha definido cinco escenarios de prueba para los cuales se carga una grabación diferente:

- Escenario A: Grabación de una persona que realiza una caminata normal. La grabación comienza justo cuando la persona inicia la caminata y finaliza cuando la persona se detiene.
- Escenario B: Grabación de una persona que realiza una caminata normal. La persona se encuentra en movimiento cuando se comienza y termina de grabar.
- Escenario C: Grabación de una persona que realiza una caminata lenta. La persona se encuentra en movimiento cuando se comienza y termina de grabar.
- Escenario D: Grabación de una persona que realiza una caminata rápida. La persona se encuentra en movimiento cuando se comienza y termina de grabar.
- Escenario E: Grabación de una persona que presenta dificultad para caminar en la pierna derecha debido a una dificultad para flexionar la rodilla.

Se obtuvo los siguientes resultados:

➤ **Escenario A**

En la Figura 6.4, se puede visualizar las gráficas de los ángulos de flexión de la rodilla derecha, distancia recorrida y velocidad de desplazamiento para el escenario A.

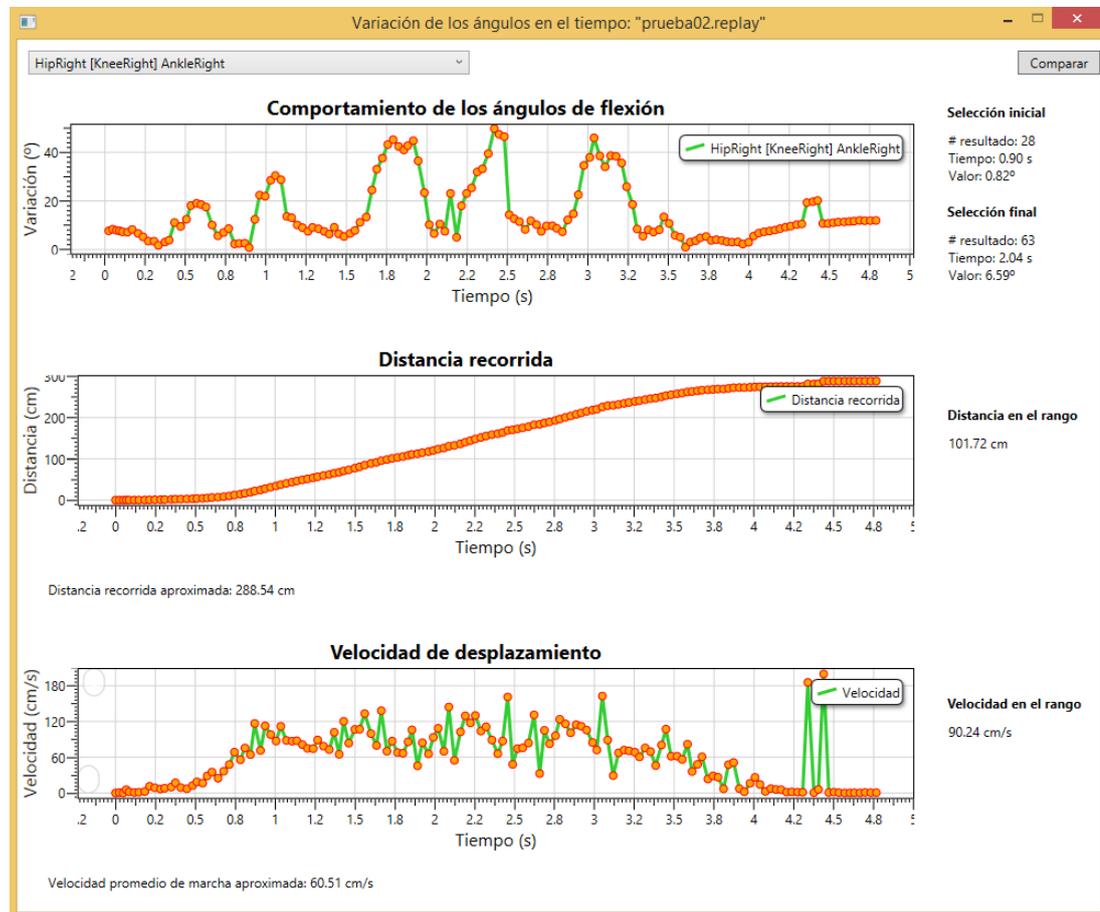


Figura 6.4. (Fuente: elaboración propia)

De la anterior gráfica, en la Figura 6.5 se resalta que se puede identificar un patrón de marcha:

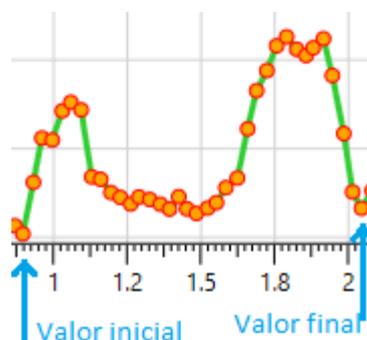


Figura 6.5. (Fuente: elaboración propia)

En la Figura 6.6 se puede observar la información obtenida al seleccionar un rango válido: Tiempo inicial, tiempo final, distancia y velocidad.

Selección inicial	Selección final
# resultado: 28	# resultado: 63
Tiempo: 0.90 s	Tiempo: 2.04 s
Valor: 0.82°	Valor: 6.59°
Distancia en el rango	Velocidad en el rango
101.72 cm	90.24 cm/s

Figura 6.6. (Fuente: elaboración propia)

Una vez seleccionado los rangos del ciclo de marcha identificado, en la vista de comparación (Figura 6.7) se puede ver la distribución de los puntos dentro y fuera del rango de referencia.

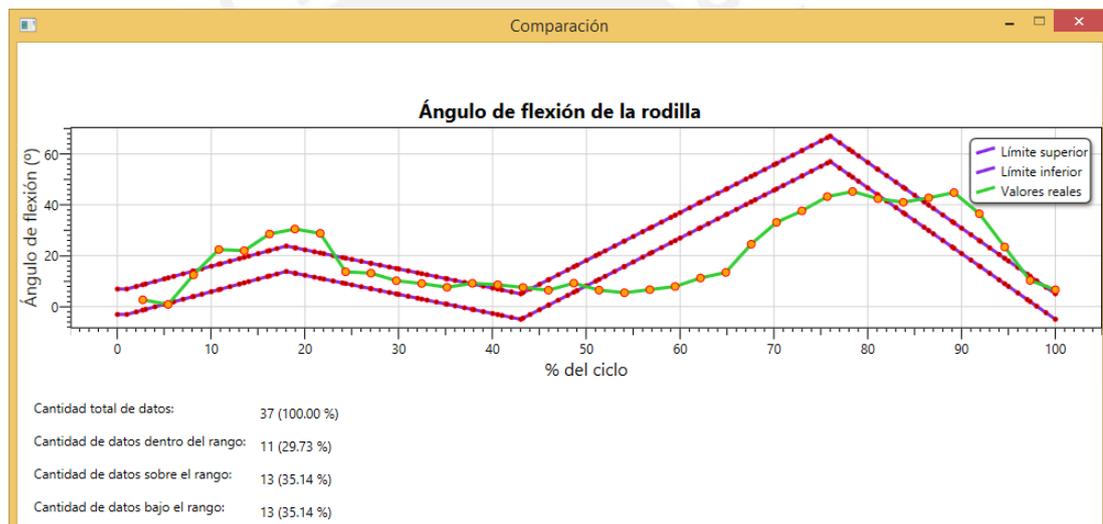


Figura 6.7. (Fuente: elaboración propia)

Resumiendo:

- La distancia total recorrida aproximada es de 288.54 cm.
- La distancia para el ciclo de paso aproximada es de 101.72 cm., similar al valor de referencia de 100.8 cm.
- La velocidad promedio de toda la ejecución es de 60.51 cm/s.
- La velocidad promedio para el ciclo de paso seleccionado es de 90.24 cm/s, la cual es menor al de la figura de referencia (98.7 cm/s), pero cercano a éste.

➤ **Escenario B**

En la Figura 6.8, se puede visualizar las gráficas de los ángulos de flexión de la rodilla derecha, distancia recorrida y velocidad de desplazamiento para el escenario B.

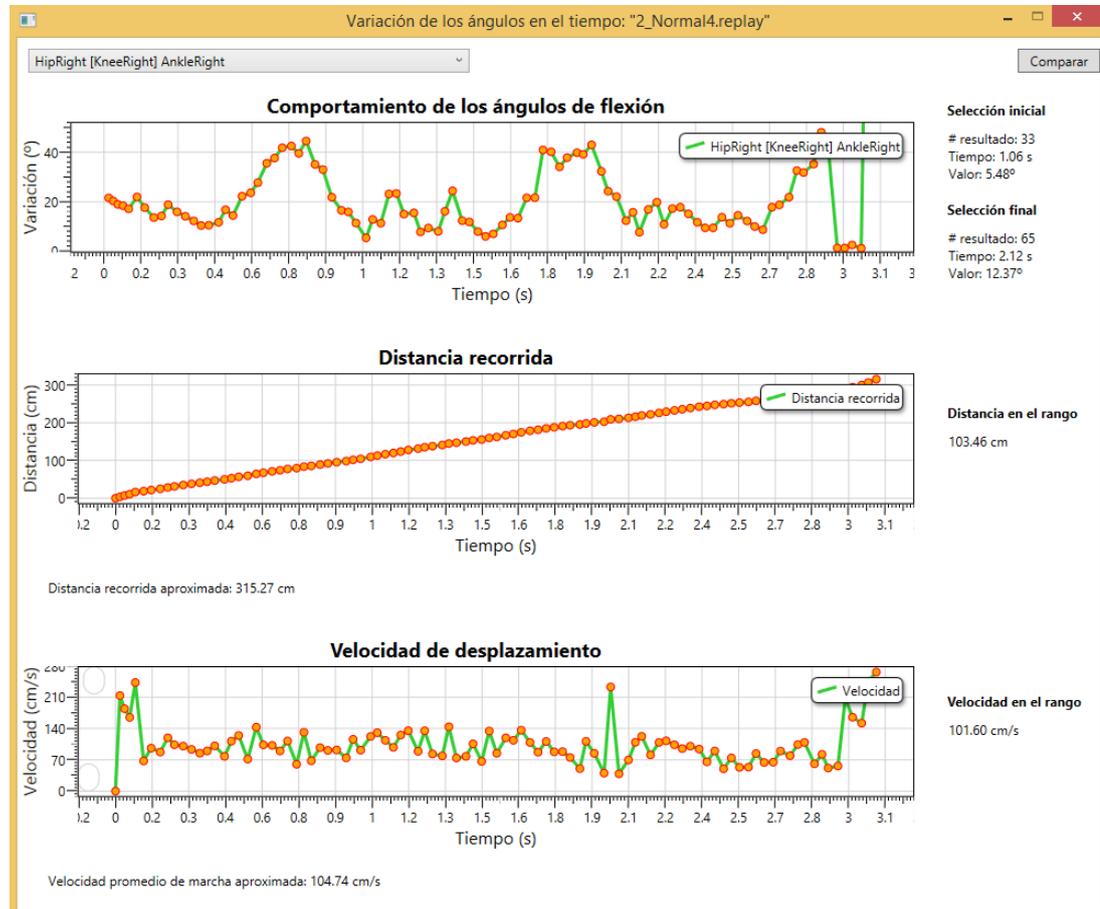


Figura 6.8. (Fuente: elaboración propia)

De la anterior gráfica, en la Figura 6.9 se resalta que se puede identificar un patrón de marcha:



Figura 6.9. (Fuente: elaboración propia)

En la Figura 6.10 se puede observar la información obtenida al seleccionar un rango válido: Tiempo inicial, tiempo final, distancia y velocidad.

Selección inicial	Selección final
# resultado: 33	# resultado: 65
Tiempo: 1.06 s	Tiempo: 2.12 s
Valor: 5.48°	Valor: 12.37°
Distancia en el rango	Velocidad en el rango
103.46 cm	101.60 cm/s

Figura 6.10. (Fuente: elaboración propia)

Una vez seleccionado los rangos del ciclo de marcha identificado, en la vista de comparación (Figura 6.11) se puede ver la distribución de los puntos dentro y fuera del rango de referencia.

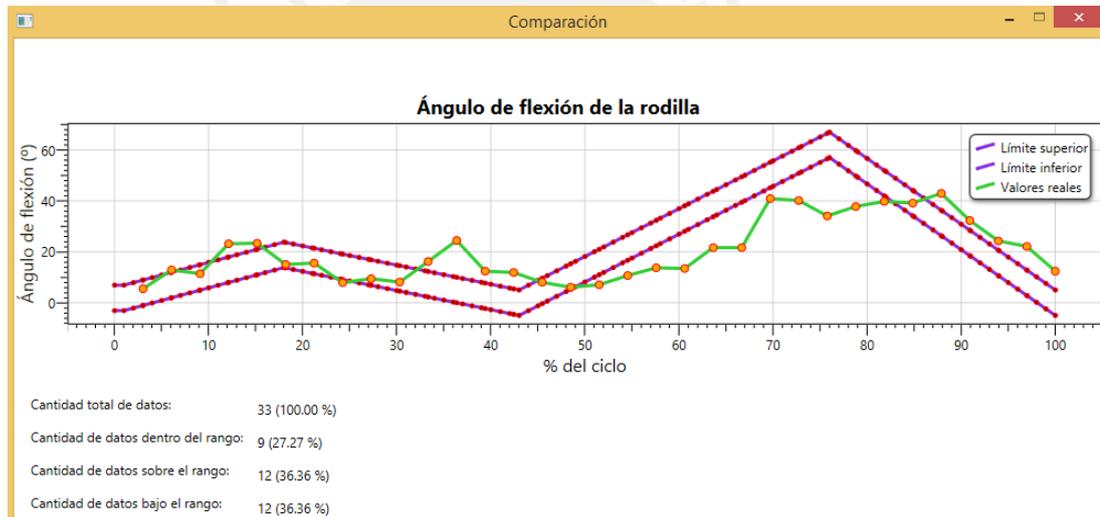


Figura 6.11. (Fuente: elaboración propia)

Resumiendo:

- La distancia total recorrida aproximada es de 315.27 cm.
- La distancia para el ciclo de paso aproximada es de 103.46 cm., similar al valor de referencia de 100.8 cm.
- La velocidad promedio de toda la ejecución es de 104.74 cm/s.
- La velocidad promedio para el ciclo de paso seleccionado es de 101.60 cm/s, la cual es muy cercana al valor de referencia (98.7 cm/s).

➤ **Escenario C**

En la Figura 6.12, se puede visualizar las gráficas de los ángulos de flexión de la rodilla derecha, distancia recorrida y velocidad de desplazamiento para el escenario C.

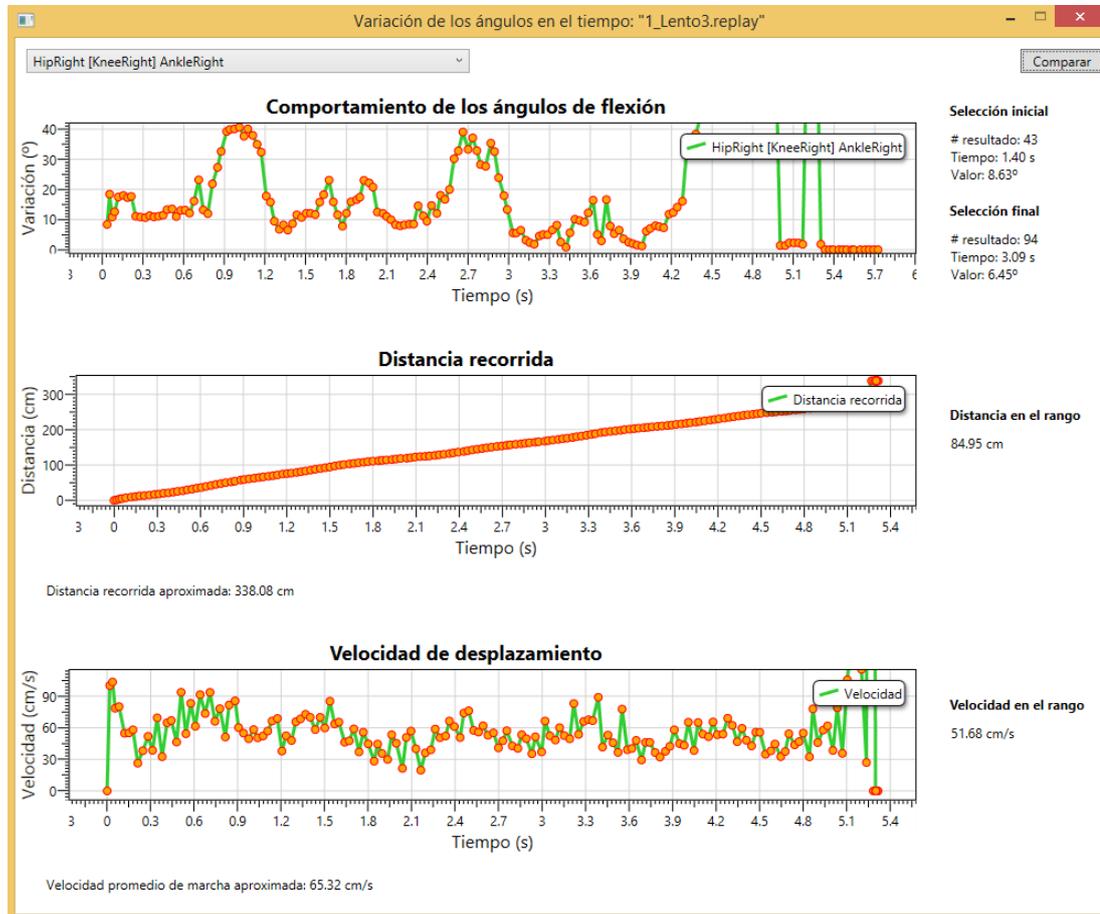


Figura 6.12. (Fuente: elaboración propia)

De la anterior gráfica, en la Figura 6.13 se resalta que se puede identificar un patrón de marcha:

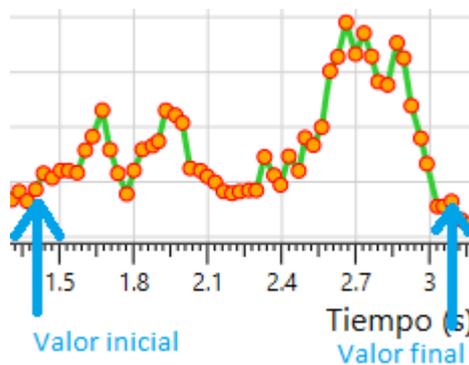


Figura 6.13. (Fuente: elaboración propia)

En la Figura 6.14 se puede observar la información obtenida al seleccionar un rango válido: Tiempo inicial, tiempo final, distancia y velocidad.

Selección inicial	Selección final
# resultado: 43	# resultado: 94
Tiempo: 1.40 s	Tiempo: 3.09 s
Valor: 8.63°	Valor: 6.45°
Distancia en el rango	Velocidad en el rango
84.95 cm	51.68 cm/s

Figura 6.14. (Fuente: elaboración propia)

Una vez seleccionado los rangos del ciclo de marcha identificado, en la vista de comparación (Figura 6.15) se puede ver la distribución de los puntos dentro y fuera del rango de referencia.

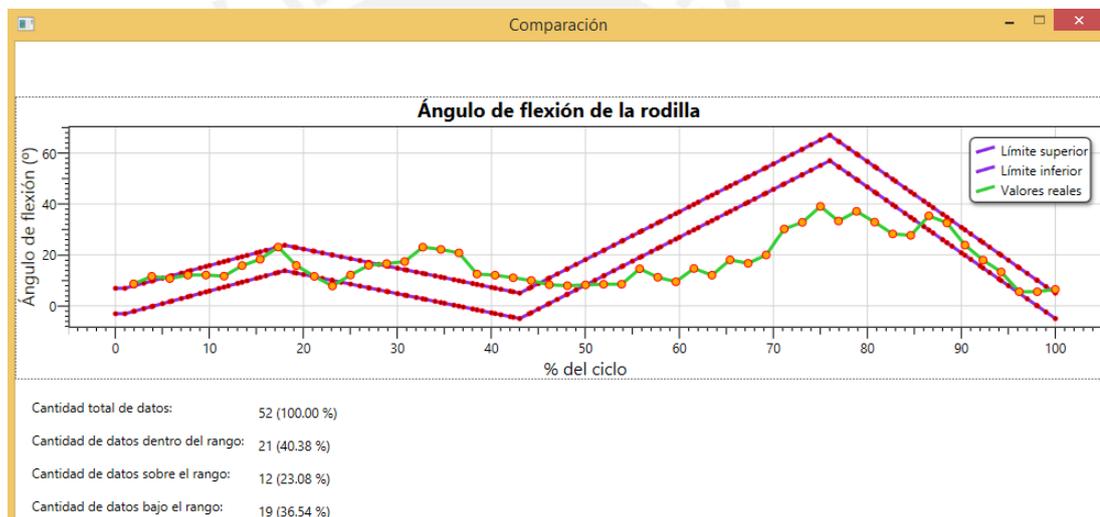


Figura 6.15. (Fuente: elaboración propia)

Resumiendo:

- La distancia total recorrida aproximada es de 338.08 cm.
- La distancia para el ciclo de paso aproximada es de 84.95 cm., menor al valor de referencia de 100.8 cm.
- La velocidad promedio de toda la ejecución es de 65.32 cm/s.
- La velocidad promedio para el ciclo de paso seleccionado es de 51.68 cm/s, la cual es menor al valor de referencia (98.7 cm/s).

➤ **Escenario D**

En la Figura 6.16, se puede visualizar las gráficas de los ángulos de flexión de la rodilla derecha, distancia recorrida y velocidad de desplazamiento para el escenario D.

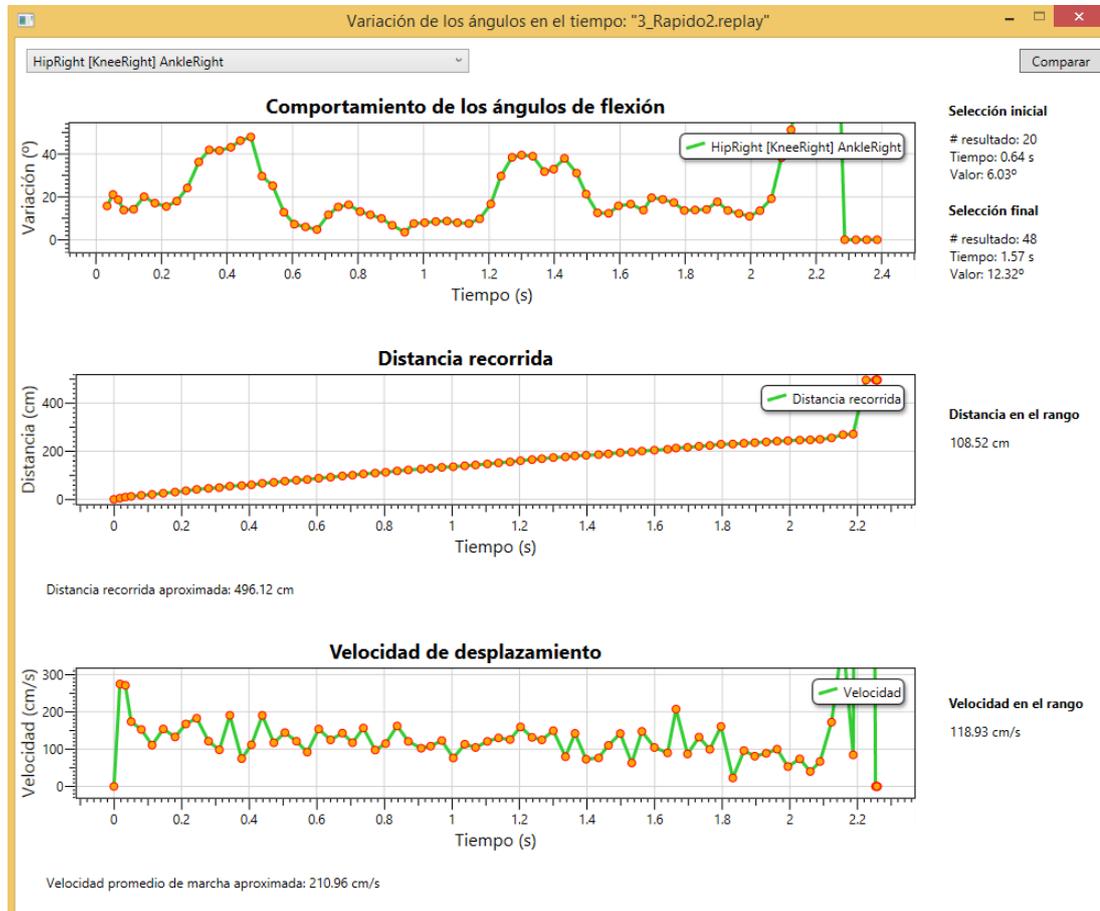


Figura 6.16. (Fuente: elaboración propia)

De la anterior gráfica, en la Figura 6.17 se resalta que se puede identificar un patrón de marcha:



Figura 6.17. (Fuente: elaboración propia)

En la Figura 6.18 se puede observar la información obtenida al seleccionar un rango válido: Tiempo inicial, tiempo final, distancia y velocidad.

Selección inicial	Selección final
# resultado: 20	# resultado: 48
Tiempo: 0.64 s	Tiempo: 1.57 s
Valor: 6.03°	Valor: 12.32°
Distancia en el rango	Velocidad en el rango
108.52 cm	118.93 cm/s

Figura 6.18. (Fuente: elaboración propia)

Una vez seleccionado los rangos del ciclo de marcha identificado, en la vista de comparación (Figura 6.19) se puede ver la distribución de los puntos dentro y fuera del rango de referencia.

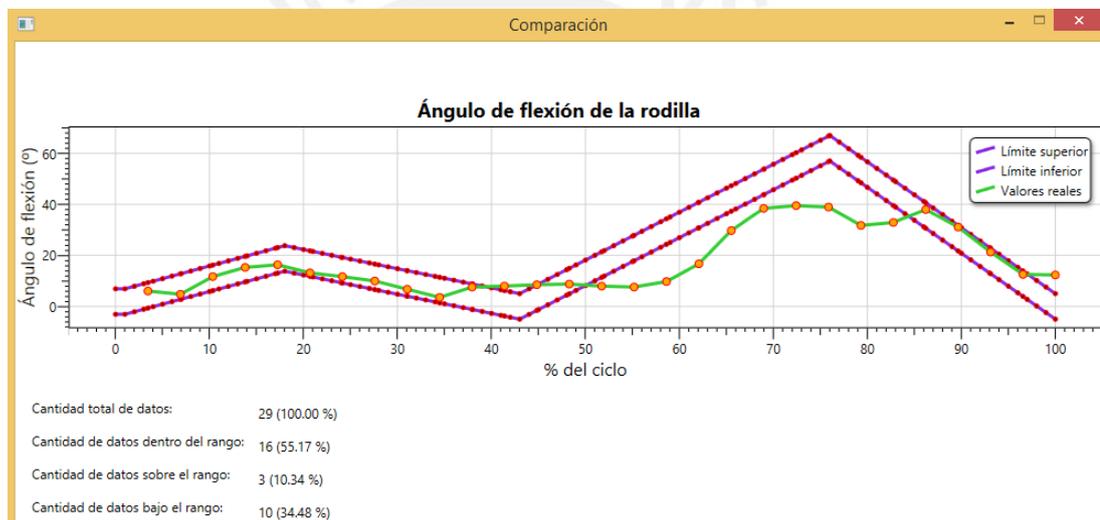


Figura 6.19. (Fuente: elaboración propia)

Resumiendo:

- La distancia total recorrida aproximada es de 496.12 cm.
- La velocidad promedio de toda la ejecución es de 210.96 cm/s.
- Posiblemente la información de distancia total y promedio de velocidad total esté algo alterada debido a que los últimos valores no son los adecuados ya que la persona salió del rango de Kinect en ese momento.
- La distancia para el ciclo de paso aproximada es de 108.52 cm., mayor al valor de referencia de 100.8 cm.
- La velocidad promedio para el ciclo de paso seleccionado es de 118.93 cm/s, la cual es mucho mayor al valor de referencia (98.7 cm/s).

➤ **Escenario E**

En la Figura 6.16, se puede visualizar las gráficas de los ángulos de flexión de la rodilla derecha, distancia recorrida y velocidad de desplazamiento para el escenario E.

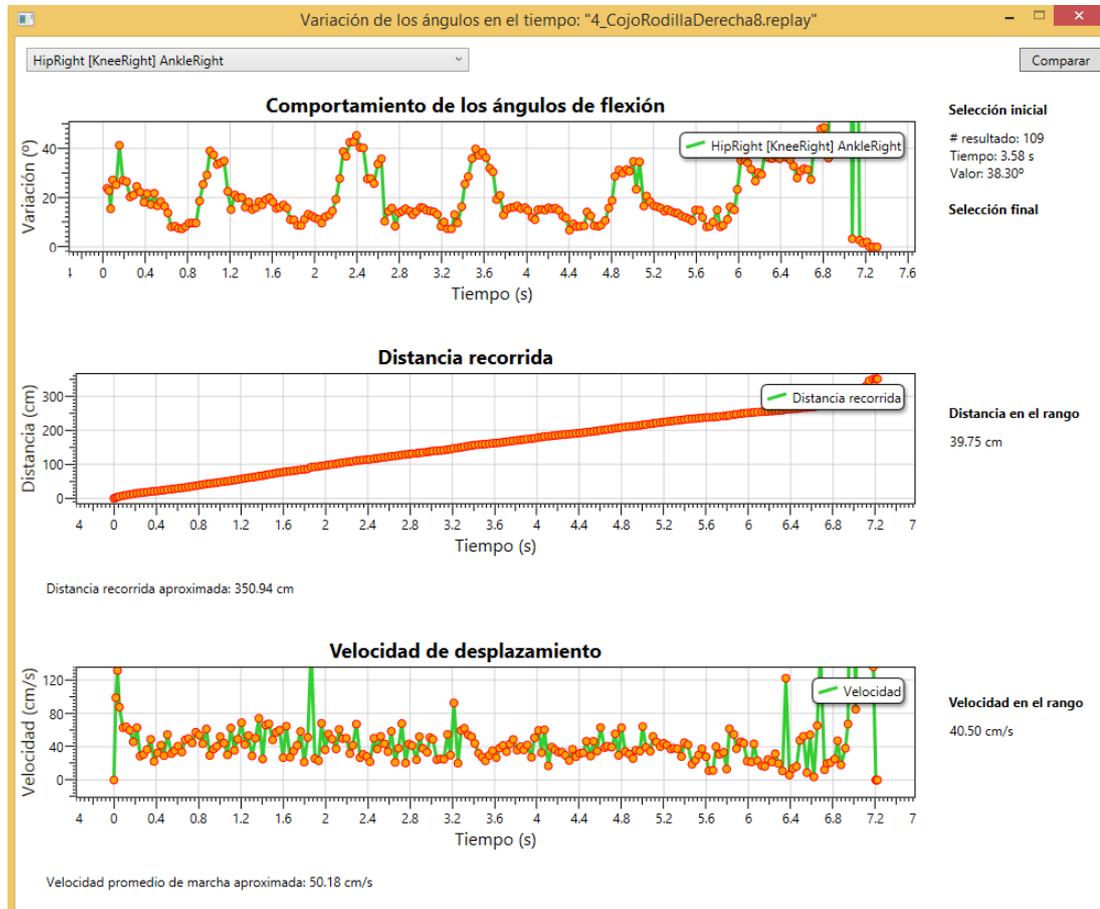


Figura 6.20. (Fuente: elaboración propia)

De la anterior gráfica, es más complicado identificar el patrón de marcha debido a que la persona presenta dificultad para flexionar la rodilla. Al realizar zoom, se puede apreciar una similitud con el patrón de referencia (Figura 6.21):

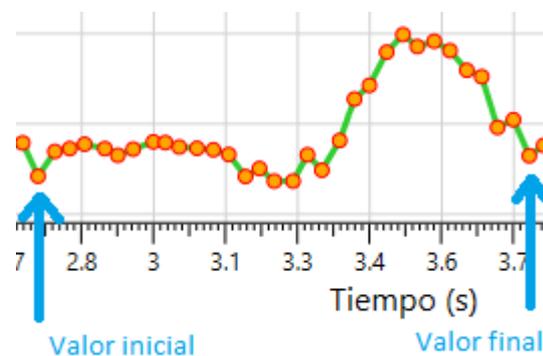


Figura 6.21. (Fuente: elaboración propia)

En la Figura 6.22 se puede observar la información obtenida al seleccionar un rango válido: Tiempo inicial, tiempo final, distancia y velocidad.

Selección inicial	Selección final
# resultado: 84	# resultado: 115
Tiempo: 2.76 s	Tiempo: 3.78 s
Valor: 8.39°	Valor: 12.92°
Distancia en el rango	Velocidad en el rango
39.75 cm	40.50 cm/s

Figura 6.22. (Fuente: elaboración propia)

Una vez seleccionado los rangos del ciclo de marcha identificado, en la vista de comparación (Figura 6.23) se puede ver la distribución de los puntos dentro y fuera del rango de referencia.

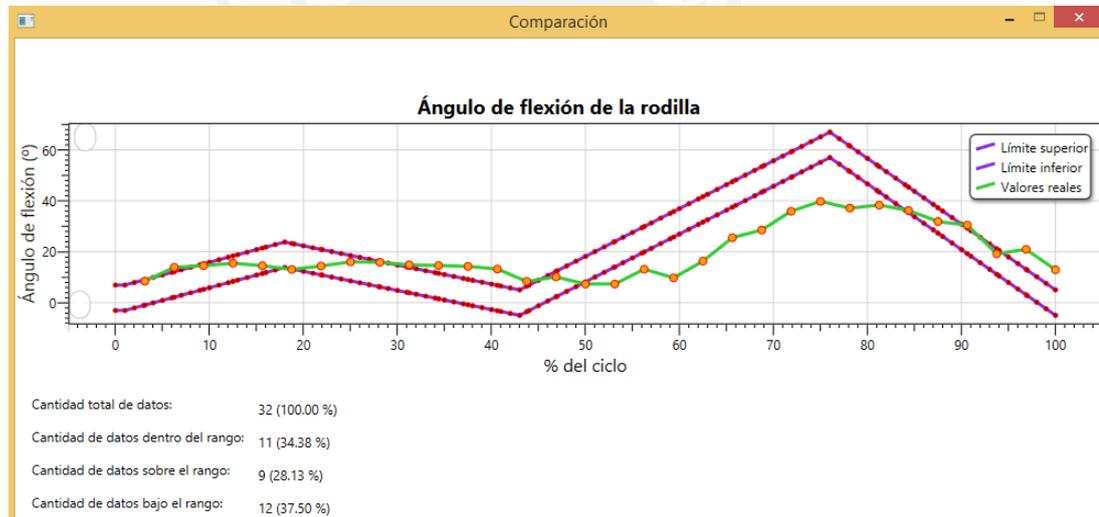


Figura 6.23. (Fuente: elaboración propia)

Resumiendo:

- La distancia total recorrida aproximada es de 350.94 cm.
- La velocidad promedio de toda la ejecución es de 50.18 cm/s.
- La distancia para el ciclo de paso aproximada es de 39.75 cm., mucho menor al valor de referencia de 100.8 cm.
- La velocidad promedio para el ciclo de paso seleccionado es de 40.50 cm/s, la cual es mucho menor al valor de referencia (98.7 cm/s).

6.2.4 Conclusiones

Los resultados que se han obtenido se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.

	A (normal)	B (normal)	C (lento)	D (rápido)	E (dificultad)
Distancia de paso	101.72 cm	103.46 cm	84.95 cm	108.52 cm	39.75 cm
Velocidad	90.24 cm/s	101.60 cm/s	51.68 cm/s	118.93 cm/s	40.50 cm/s
% de datos dentro del rango de referencia	29.73%	27.27%	40.38%	55.17%	34.38%

La información registrada permite en algunos casos identificar visualmente el patrón de marcha para los ángulos de flexión de la rodilla. Sin embargo, es más complicado realizar dicha identificación en situaciones donde el paciente tiene dificultad con la flexión de la rodilla y para ello el terapeuta se puede apoyar del visor 3D.

También se puede calcular la distancia aproximada recorrida en cada ciclo de paso, así como también la velocidad promedio del usuario en todo instante del tiempo tomando como referencia a su columna vertebral debido a que ésta está aproximadamente a la misma altura del pie cuando se inicia y finaliza un ciclo de paso.

Por otro lado, cabe resaltar que es muy importante conocer la distancia por paso realizado porque ello es un factor más que le permite al terapeuta identificar el progreso de la marcha del paciente.

Finalmente, en la vista de comparación se puede visualizar que hay un gran porcentaje de puntos que no están dentro de los rangos normales y ello puede ser debido a algunos de los siguientes factores:

- Imprecisión del sensor Kinect debido a limitaciones del hardware.

- En el escenario A, el pantalón que llevaba la persona al grabar era medio suelto, por lo que ello perjudica la precisión del reconocimiento realizado por Kinect. En el resto de escenarios se utilizó un pantalón corto.
- Los valores de los límites inferior y superior son aproximaciones con rectas a los rangos normales, por lo que puede ser posible que algunos puntos, que exceden por muy poco, sí estén dentro de los valores normales.
- El rango de valores es seleccionado manualmente por el usuario y éste puede estar no incluyendo valores que forman parte del ciclo paso o, por el contrario, puede estar incluyendo valores que no pertenecen.



CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 DISCUSIÓN

Con el desarrollo del presente proyecto se demostró que es posible construir una herramienta económica, a diferencia de los grandes laboratorios de control de marcha que utilizan sistemas de múltiples cámaras y marcadores que deben ser colocados en el cuerpo.

El producto obtenido, al igual que los otros trabajos, cuenta con un capturador de movimiento y, a diferencia de la mayoría, ha optado por utilizar un visualizador tridimensional para brindarle al terapeuta mayor control de lo que ve cuando el paciente realiza el ejercicio.

Por otro lado, a diferencia de los otros trabajos que realizan el análisis de la información en tiempo real, se optó por el registro permanente de los movimientos del paciente en el tiempo para poder contar una fuente de información, posterior a la ejecución del ejercicio, sobre la cual se pueda realizar diferentes estudios.

Finalmente, se enfoca en un ejercicio en particular para el cual se lleva a cabo un análisis de las ejecuciones realizadas y se compara con algunos valores de referencia. Este análisis se logra a partir de la información obtenida de los archivos de registro creados en cada una de las ejecuciones del ejercicio.

7.2 CONCLUSIONES FINALES

El presente proyecto ha logrado modificar y unificar diversas herramientas para poder lograr la captura del movimiento humano y registrarla en un archivo a modo de creación de historial de terapias que ejecuten los pacientes. Asimismo, también permite la representación de estos movimientos en un visualizador tridimensional en el cual se puede manipular la cámara de visión y el flujo de reproducción para poder permitir al terapeuta revisar, cuantas veces necesite, la ejecución de un ejercicio determinado realizado por un paciente. Finalmente, gracias al historial construido, se puede realizar una comparación cuantitativa del progreso del paciente y, de esto, se permite obtener un análisis estadístico que permita realizar otros tipos de estudios al terapeuta acerca de la evolución del progreso del paciente.

7.3 RECOMENDACIONES

Algunas recomendaciones que se plantean debido a este trabajo son:

- La definición del esqueleto utilizado se tomó como base a partir de la información que brinda Kinect; sin embargo, si se reemplaza el prototipo de captura por otro método de captura, se recomienda mantener los mismos nodos para que el visualizador y editor gráfico no necesiten ser reconfigurados.
- Si se necesita una estructura de esqueleto diferente, se debe realizar algunos ajustes en el visualizador para que éste sepa cómo representar la nueva estructura del esqueleto. Asimismo, también se debe modificar esta información en el visor de análisis estadístico y en el editor de grabación y reproducción.
- Se recomienda que la persona a quien se va a grabar no se encuentre vestida con prendas sueltas porque ello impactan negativamente en la precisión de la captura.
- Es posible reconfigurar el editor de grabación para poder realizar un registro de video a partir de las cámaras de color y de profundidad. Para este caso, se recomienda realizar el guardado en archivos diferentes al del registro del movimiento del paciente a modo de evitar que éste último crezca demasiado en tamaño debido a que la nueva información requiere de mucho mayor almacenamiento.
- El análisis estadístico ha sido definido para la ejecución de un determinado ejercicio porque el terapeuta realiza un estudio diferente para cada caso. Debido a ello, si se desea realizar el análisis de otro tipo de ejercicio, sólo se necesita reajustar el producto obtenido en el resultado esperado 4 de acuerdo a lo necesitado.
- Los valores de referencia utilizados para el ejercicio seleccionado deben ser más precisos y no una reconstrucción a partir de rectas. Con esto, se puede dar información más fiable al terapeuta.
- Finalmente, el conjunto de los resultados esperados 1, 2 y 3 permite realizar otro tipo de trabajos basados en *motion capture* o en el estudio del movimiento humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECK, Kent

2011 Extreme Programming Explained. Primera edición.
USA.

BJORKE, Oystein

2012 Helix 3D Toolkit
Consulta: 02 de octubre del 2014.
<<http://helixtoolkit.codeplex.com/>>.

FREEDMAN, B., Shpunt, A., Machline, M., & Arieli, Y.

2012 *U.S. Patent No. 8,150,142*. Washington, DC: U.S. Patent and
Trademark Office.

FRATI, Valentino

2011 “Using Kinect for hand tracking and rendering in wearable haptics”.
Ponencia presentada en la World Haptics Conference (WHC). Italia.

IntraMed

s/a “Háptica: la tecnología táctil interactiva”.
Consulta: 16 de abril del 2013.
<<http://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoID=79879>>

JAHRMANN, Klemens

2013 “3D Reconstruction with the Kinect-Camera”.
Consulta: 14 de abril del 2013.
<http://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2013/jahrmann_klemens_KFR/jahrmann_klemens_KFR-Thesis.pdf>

MENACHE, Alberto

2011 Understanding motion capture for computer animation. Segunda
edición. USA: Elsevier, Inc.

MICROSOFT - A

s/a “New Features | Microsoft Kinect for Windows”.
Consulta: 31 de mayo del 2013.

< <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop/new.aspx>>

MICROSOFT - B

s/a "Microsoft Visual Studio Ultimate 2012 | Microsoft Visual Studio".
Consulta: 31 de mayo del 2013.
<<http://www.microsoft.com/visualstudio/esn/products/visual-studio-ultimate-2012>>

MICROSOFT - C

s/a "Kinect Fusion".
Consulta: 31 de mayo del 2013.
< <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn188670.aspx>>

NI, Bingbing; PEI, Yong; WINKLER, Stefan; MOULIN, Pierre
2012 "Kinect for Rehabilitation". Presentación para la i-CREATE 2012
conference. Singapur.

ROETENBERG, D., Luinge, H., & Slycke, P.
2013 Xsens MVN: full 6DOF human motion tracking using miniature inertial
sensors. *Xsens Motion Technologies BV, Tech. Rep.*
< https://www.xsens.com/wp-content/uploads/2013/12/MVN_white_paper1.pdf >

SEHGAL, Latish

2013 Kinect.Replay
Consulta 02 de octubre del 2014
<<https://github.com/latish/Kinect.Replay/>>

SUTHERLAND, Jeff; SCHWABER, Ken

2007 "The Scrum Papers".
Consulta: 03 de junio del 2013.
<<http://assets.scrumfoundation.com/downloads/2/scrumpapers.pdf>>

YOSHIDA, Shigeo; Joo Kooi Tan; Hyoungseop Kim; ISHIKAWA, Seiji

2010 "Modeling of Human Postures Using Stereo Camera". Ponencia
presentada en la International Conference on Control, Automation
and Systems 2010. Korea.

WIKIPEDIA

s/a "Precisión y exhaustividad".
Consulta: 10 de junio del 2013.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Precisi%C3%B3n_y_exhaustividad>

ZHENG, Xiao; FU, Mengyin; YANG, Yi; LV, Ningyi
2012 "3D Human Postures Recognition Using Kinect". Ponencia
presentada en la 4th International Conference on Intelligent Human-
Machine Systems and Cybernetics. China.

