

**Evaluación mediante herramientas tecnológicas de la habilidad motriz
fina de miembro superior: Caso de Estudio.**



**Erick Francisco Fonseca Semanate
Juan David Guzmán Villamarín**

**Director: M.Sc.(c) Diego Enrique Guzmán
Codirector: M.Sc. Elena Muñoz España**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Programa de Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Cauca
2017**

Agradecimientos

Damos Gracias a Dios por el tiempo y la disposición que proveyó para la realización del presente trabajo de grado.

Gracias a nuestras familias y especialmente a nuestros padres y hermanos, por siempre brindarnos su apoyo constante y sincero, por ser pilares fundamentales en nuestra vida y darnos las fuerzas y ánimo necesarios para alcanzar nuestros sueños.

Un enorme agradecimiento a nuestro director M.Sc(c) Diego Enrique Guzmán, quien en su calidad de ingeniero, nos aportó gran cantidad de su conocimiento, experiencia y paciencia en todo el desarrollo del proyecto.

Igualmente, agradecemos a la ingeniera M.Sc. Elena Muñoz España, quien como co-directora contribuyo con las correcciones e ideas necesarias para obtener un proyecto de calidad.

Un agradecimiento muy especial al fisioterapeuta Jerónimo Londoño, quien nos brindó su apoyo y conocimiento desde el punto de vista de la fisioterapia en cada una de las sesiones de trabajo; la conceptualización del proyecto, asistencia con los usuarios y recomendaciones o consideraciones de la herramienta.

De igual forma, un agradecimiento muy especial al Ingeniero Carlos Felipe Rengifo, quien aportó valioso conocimiento en la ejecución y análisis de los resultados del proyecto.

Gracias a nuestros compañeros y amigos que nos ofrecieron su valiosa amistad, por compartir con nosotros su tiempo y espacio, sus conocimientos, alegrías y tristezas.

Índice General

Introducción.	VIII
1. Selección de la técnica y requisitos.	1
1.1. Revisión de la literatura de técnicas para medición cuantitativa de habilidad motriz fina.	1
1.2. Selección de parámetros y requisitos que debe cumplir la técnica a ser implementada.	9
1.3. Evaluación de técnicas con respecto a parámetros escogidos.	13
1.4. Selección de la técnica que cumpla con los requisitos y parámetros estipulados.	14
2. Diseño y Desarrollo de un entorno de realidad virtual para evaluar la habilidad motriz fina.	16
2.1. Metodología de trabajo escogida.	16
2.2. Selección del software y del hardware.	25
2.3. Diagramas del modelado de la arquitectura software.	37
3. Protocolo de experimentación.	53
3.1. Población objetivo.	53

3.2. Caracterización de las sesiones de evaluación.	54
4. Análisis de los resultado.	58
4.1. Análisis de los resultados.	58
4.2. Observaciones.	67
5. Conclusiones y trabajos futuros.	68
5.1. Conclusiones.	68
5.2. Trabajos futuros.	69

Índice de figuras

2.1. Metodologías ágiles.	18
2.2. Metodología <i>scrum</i>	20
2.3. Dispositivo <i>Leap motion</i>	26
2.4. Partes que componen el <i>Leap Motion</i>	26
2.5. Descripción del microcontrolador del <i>Leap Motion</i>	28
2.6. Controlador USB del <i>Leap Motion</i>	28
2.7. Sistema de envío y recepción de datos del <i>Leap Motion</i>	29
2.8. Zona de cobertura del <i>Leap Motion</i>	29
2.9. Imágenes que llegan al <i>driver</i>	31
2.10. Distorsión generada por los lentes del <i>Leap Motion</i>	32
2.11. Mapa de mallado de puntos de calibrado.	32
2.12. Imagen corregida.	33
2.13. Sistema de disparidad del <i>Leap Motion</i>	34
2.14. Ubicación del punto d.	34
2.15. Lenguajes de programación compatibles con <i>Leap Motion</i>	35
2.16. Diagrama de despliegue de la arquitectura del aplicativo software. . .	41

2.17. Modelo entidad relación de la base de datos	42
2.18. Diagrama de casos de uso del subsistema de gestión de pacientes.	43
2.19. Diagrama de clases del subsistema de gestión de pacientes.	46
2.20. Diagrama de despliegue del caso de uso “Agregar Paciente”	47
2.21. Interfaz Desarrollada en Visual Studio	48
2.22. Diagrama de casos de uso del subsistema de interfaz virtual	49
2.23. Diagrama de flujo del subsistema de interfaz virtual.	50
2.24. Diagrama de secuencia del caso de uso “Ejecutar Prueba”	51
2.25. Interfaz Desarrollada en Unity	52
3.1. Dispositivo para implementar método tradicional	55
3.2. Posicionamiento del paciente.	56
3.3. Posicionamiento del dispositivo.	56
3.4. Interfaz de calibración	57
4.1. Gráfico de Bigotes y Cajas de tiempos promedios generales con la caja.	60
4.2. Gráfico de cajas y bigotes Generales con la herramienta	62
4.3. Gráfico de Correlación Tiempo Vs Edad	63
4.4. Gráfico de Correlación entre los dos métodos.	66
4.5. Gráfico esperado de Correlación entre los métodos.	66

Índice de tablas

1.1. Ponderación de cada una de las técnicas.	14
2.1. Metodologías ágiles Vs Metodologías tradicionales	17
2.2. Historia de Usuario 1.	22
2.3. Historia de Usuario 2.	23
2.4. Historia de Usuario 3.	24
2.5. Caso de uso ingreso.	44
2.6. Caso de uso “Agregar paciente”.	44
2.7. Caso de uso “Buscar paciente”.	44
2.8. Caso de uso “Actualizar paciente”.	44
2.9. caso de uso “Borrar paciente”.	44
2.10. Caso de uso “Agregar sesión”.	44
2.11. Caso de uso “Buscar sesión”.	45
2.12. Caso de uso “Actualizar sesión”.	45
2.13. Caso de uso “Borrar sesión”.	45
2.14. Caso de uso “Ver gráfica paciente”.	45

2.15. Caso de uso “Ejecutar prueba”	49
4.1. Datos Promedios Generales con la caja.	60
4.2. Datos Promedios Generales con la herramienta.	61
4.3. Tiempo requerido por hombres y mujeres para completar la prueba física.	64
4.4. Tiempo requerido por hombres y mujeres para completar la prueba virtual.	64
4.5. Tiempo requerido para completar las pruebas física y virtual con la mano dominante y la no dominante.	65

Introducción.

Las Enfermedad Cerebro Vasculares (ECV) son un “grupo heterogéneo de condiciones patológicas cuya característica común es la disfunción focal del tejido cerebral, por un desequilibrio entre el aporte y los requerimientos de oxígeno y otros substratos”[1], algunos ejemplos de ECV son: El ataque cerebro vascular, el infarto cerebral, el ataque cerebral, el ataque isquémico transitorio, entre otras. Una ECV se enfoca principalmente en el cerebro, se genera como consecuencia un decaimiento en la motricidad y comportamiento del paciente, razón por la cual es necesario llevar a cabo un proceso de rehabilitación fisioterapéutico con el objetivo de disminuir el impacto de dichas consecuencias.[2].

Existen diferentes tipos de procesos de rehabilitación fisioterapéuticos entre los cuales están: los asistidos, en los cuales el fisioterapeuta ayuda al paciente a realizar los movimientos [3], o los de seguimiento, donde el especialista observa la evolución de la ejecución de los movimientos por parte del paciente [4]. Para poder determinar el progreso del paciente durante el proceso de rehabilitación, se recurre a los conocimientos y la experiencia del especialista o fisioterapeuta, este último hace uso de una serie de técnicas que evalúan la funcionalidad de la mano de los pacientes. Entre las cuales están:

- El *Nine-Hole Peg Test*, es un test que permite evaluar la funcionalidad de la mano y se aplica a pacientes con problemas neuronales. Consiste en un tablero con 3 hileras, con 3 orificios en cada una . En los orificios se deben introducir pequeños palillos de metal, utilizando primero la mano dominante y luego la no dominante. Cada tarea es cronometrada [5]. En [6] se llevó a cabo el estudio cinemático de la parte superior del cuerpo (tórax superior, brazos,

codos y manos) en personas con ECV en la ejecución de una variación del *Nine-Hole Peg Test* denominada *Standardized Nine Hole Peg Test*. Dicha variación consiste en mover los palillos de un tablero a otro de una forma específica, en vez de hacerlo en un solo tablero; los datos (trayectorias, tiempo) son tomados mediante un sistema de captura de vídeo. El estudio concluyó que la variación del test mostraba mejor confiabilidad en la repetitibilidad de los datos, así mismo se concluye que el tiempo en la ejecución del test no aporta suficiente información sobre la calidad con la que se realizan los movimientos, y por tanto, es necesario complementarla.

- La prueba de funcionalidad de mano Sollerman, es una prueba estándar que evalúa la funcionalidad de la mano mediante actividades de la vida diaria que requieren de destreza fina (pellizco lateral, el pellizco de trípode, el pellizco de 5 dedos, apretón diagonal, apretón transversal y apretón esférico), enfocado a pacientes tetrapléjicos¹. En [7] se presentan múltiples trabajos que demuestran una buena confiabilidad test-retest. En [8] se analizó la confiabilidad test-retest en pacientes que han sufrido una ECV crónica; se obtuvo que el test de Sollerman es eficaz en el análisis de este tipo de pacientes, sin embargo el estudio recomienda que el especialista evalúe al paciente antes y después del tratamiento.
- Flexión compuesta de los dedos para medir el rango de movimiento (ROM), la tarea consiste en ubicar la punta del dedo en algún punto de la palma de la mano, y registrar los ángulos de las articulaciones [9]. En [10] se llevó a cabo un seguimiento a pacientes con rigidez en la mano causada por algún tipo de trauma, el procedimiento consta de un dispositivo similar a una férula el cual busca mejorar la flexión compuesta de los dedos del paciente, forzando a la mano del mismo a conservar una determinada posición, el desarrollo del dispositivo demuestra un incremento considerable en la capacidad motriz fina del paciente, así como un bajo costo de elaboración, facilitando la labor de rehabilitación de pacientes a los cuales se les dificulte ejercer fuerza y necesiten de un procedimiento de rehabilitación asistida.

¹Pacientes que sufren de forma total o parcial una parálisis en sus brazos y piernas causada por un daño en la médula espinal

- Test de funcionalidad de la mano - Jebsen Taylor, el paciente se somete a realizar tareas diarias como escribir, voltear cartas, tomar objetos pequeños y ligeros o grandes y pesados, el tiempo que toma realizar cada tarea es guardado en segundos [11]. En [12] se realiza una validación de la eficacia y la respuesta que tiene el test de Jebsen-Taylor en cuanto a la funcionalidad de la mano, del estudio realizado se comprobó que a pesar de su relativa facilidad de aplicación, en comparación con otros test como por ejemplo el MHQ, tiene limitaciones cuando se busca identificar el tipo de discapacidad que tiene el paciente.

En síntesis, en los diferentes test se somete al paciente a realizar una serie de actividades cotidianas mientras el especialista mide el tiempo y observa la ejecución de cada una de ellas, de esta manera, es inevitable considerar el factor de subjetividad presente en la apreciación del especialista.

De la misma manera, se ha recurrido al uso de diferentes tecnologías en pro de facilitar los procesos de rehabilitación a pacientes que han sufrido algún tipo de ECV, por tanto, se procede a mencionar algunos trabajos:

- En [13], se realiza el estudio de un procedimiento de tratamiento mediante estimulación eléctrica neuromuscular a pacientes con patologías de mano hemipléjica² tras un ictus. En él, los usuarios mostraron un incremento en la fuerza de agarre en pinza tridigital y una disminución en el ángulo de los dedos cuando estos están en reposo. Aún cuando el estudio obtiene resultados favorables, existen otros, tales como los elaborados en [14] y [15] que informan que el tratamiento no afecta de manera sustancial el rango articular de movimiento.
- En [16] se llevó a cabo un estudio sobre la motricidad fina a un par de pacientes que sufrieron parálisis cerebral, mediante el uso de un programa de detección de posición de los dedos al digitar sobre un teclado convencional. El procedimiento consiste en presionar las teclas 'E', 'S', 'C' o 'P', 'COMILLA SIMPLE', 'TILDE' de forma simultánea y alterna con cada mano, buscando que los participantes

²Trastorno que paraliza la mitad contralateral del cuerpo del paciente.

mejoren sus capacidades en el control de los dedos y en la coordinación de sus cuerpos, el estudio concluye que para la población probada el sistema demuestra una mejora notable en la habilidad motriz fina³ de las personas, dejando abierta la posibilidad de continuar la investigación con una población diferente.

- En [17] se desarrolló la aplicación Dexterity, la cual busca mejorar las habilidades de motricidad fina mediante la ejecución de una variedad de ejercicios terapéuticos. El estudio realizado se enfoca en tareas donde se efectúa el contacto de precisión, lo cual promueve funciones como el uso de los dedos de forma individual, secuenciación y precisión de los mismos, también se enfoca en la tarea de pellizcar, que mejora los patrones de agarre.

En este proyecto se hace uso de un tipo de tecnología específica, la realidad virtual (RV), la cual ha tenido un significado muy dinámico; es así como *Aukstalkanis y Blatner* la definen como: "la realidad virtual es una forma humana de visualizar, manipular e interactuar con ordenadores y datos complejos" [18]. Sin embargo la definición que da Levis en [18], la cual describe la realidad virtual como: "La realidad virtual es una base de datos interactivos capaz de crear una simulación que implique a todos los sentidos, generada por un ordenador, explorable, visualizable y manipulable en tiempo real bajo la forma de imágenes y sonidos digitales, dando la sensación de presencia en el entorno informático". Esta definición es la que será aceptada para este trabajo.

En síntesis, el objetivo principal de la realidad virtual es la inmersión completa de los canales sensomotores humanos en una experiencia vital generada por un ordenador; así mismo, sus herramientas deben contar con algunas características o requerimientos entre los cuales se destacan [18]:

- El ambiente generado por la interfaz debe permitir que el usuario se sienta presente y en el cual pueda interactuar con los objetos que lo componen.
- Los objetos presentes en el ambiente virtual deben poseer propiedades físicas,

³Coordinación de músculos, huesos y nervios para producir movimientos pequeños y precisos.

como la gravedad, además de tener una orientación autónoma independiente del punto de vista del usuario.

- La resolución y la fidelidad de la imagen deben ser lo suficientemente altas para que el usuario se sienta en un ambiente familiar.
- Los objetos presenten en el ambiente virtual deben reaccionar como lo haría un objeto con las mismas características en el mundo real.
- Es importante que el usuario pueda ver en la interfaz virtual una extensión de una de las partes de su cuerpo (brazos, piernas, manos, etc.), las cuales estarán en contacto con los objetos en el entorno virtual.

Con el cumplimiento de estas características, un sistema de realidad virtual busca la inmersión de un usuario en un entorno virtual. Es así como dicha inmersión puede clasificarse en:

- Realidad virtual inmersa: Se consigue una inmersión total mediante periféricos (cascos de realidad virtual, gafas, posicionadores, HDMI, etc).
- Realidad virtual seminmersa: Se interactúa con el mundo virtual, pero sin estar sumergidos en el mismo, por ejemplo a través de un monitor. Este tipo de RV es muy común en vídeo juegos en la actualidad ya que no requiere ningún hardware especial.

Por lo anterior se distinguen 3 tipos diferentes de realidad virtual según el nivel de interactividad que posea el usuario, ellos son [18]:

- Pasivo: Es un entorno virtual en el cual podemos ver y oír y quizás sentir lo que sucede. Además, El entorno puede moverse lo que da sensación de movimiento (tránsito forzado) pero no es posible controlar el movimiento.
- Exploratorio: Son sistemas que permiten desplazarse por un entorno virtual para explorarlo. Un ejemplo son los paseos arquitectónicos y las obras de arte virtuales.

- Interactivo: Un sistema virtual interactivo permite experimentar y explorar el entorno y, además, modificarlo.

Finalmente se presentan algunos de los tipos de realidad virtual más utilizados en la actualidad:

- Sistemas de sobremesa: se trata de sistemas no inmersivos que presentan el entorno digital en la pantalla de un ordenador. El usuario puede interactuar y desplazarse por él. Algunos videojuegos demuestran cómo puede conseguirse una sensación de inmersión psicológica aun cuando no exista inmersión sensorial completa. Son plataformas adecuadas para el diseño industrial y otras aplicaciones que requieran sistemas avanzados de visualización 3D [19].
- Sistemas proyectivos: Se trata de sistemas que intentan proporcionar la sensación de inmersión mediante la proyección de imágenes del mundo virtual en las paredes de un espacio cerrado (o cabina) dentro del cual se encuentra el usuario. El usuario controla sus movimientos en el entorno inmaterial y en algunos casos puede también interactuar con los objetos que encuentra en él, mediante el uso de una interfaz adecuada. Este tipo de sistema se adapta bien a las aplicaciones multiusuario. Muy utilizados en presentaciones de arte virtual, demostraciones comerciales y aplicaciones educativas, estas plataformas se sitúan a medio camino entre los sistemas proyectivos tipo *CAVE* y los equipos de sobremesa [19].
- Sistemas inmersivos: El objetivo es conseguir que el usuario tenga la sensación de encontrarse dentro del entorno generado por el ordenador. Para esto el equipo utilizado debe estar equipado de dispositivos capaces de "engañar" (o estimular) el mayor número de sentidos posibles. Es imprescindible el uso de un casco de visualización estereoscópica para aislar al usuario del entorno real. Este sistema, al que se conoce como realidad aumentada, se puede considerar un híbrido entre la experiencia material y la simulación digital. El uso de la realidad aumentada ofrece perspectivas prometedoras para aplicaciones médicas y para todas aquellas actividades que requieran simultáneamente la manipulación de dispositivos complejos y el acceso a datos e informaciones complementarias [19].

Cabe resaltar que el presente proyecto se cataloga como un sistema de **realidad virtual de sobremesa**; a continuación algunos de los principales usos que se le ha dado a la realidad virtual:

- Entrenamiento de pilotos, astronautas, soldados, etc.
- Medicina educativa, por ejemplo para la simulación de operaciones.
- CAD (diseños asistidos por ordenador). Permite ver e interactuar con objetos antes de ser creados, con el evidente ahorro de costos.
- Creación de entornos virtuales (museos, tiendas, aulas, etc).
- Tratamiento de fobias. (aerofobia, aracnofobia, claustrofobia, etc)
- Juegos, Cine 3D y todo tipo de entretenimiento.

Por último, se presentan algunos estudios encontrados en la literatura donde se muestran las ventajas del uso de la realidad virtual:

- En [20] se realizó un estudio comparativo de la funcionalidad que tiene el uso de sistemas con realidad virtual como terapia complementaria a pacientes con parálisis cerebral infantil. El objetivo del estudio era comparar la funcionalidad del uso de las consolas Wii en procesos de rehabilitación frente a métodos ortodoxos en pacientes de edad infantil, el estudio permite evidenciar que la realidad virtual como terapia complementaria mostró resultados significativos en la independencia funcional.
- En [21] se elaboró un estudio y un análisis de la influencia que tienen las interfaces de realidad virtual en la rehabilitación fisioterapéutica a pacientes con parálisis cerebral obteniendo resultados favorables. La intervención fisioterapéutica emplea la videoconsola Nintendo Wii y el juego Wii-fit con tabla de equilibrio durante 15 sesiones. Se estudió el equilibrio, la distribución de cargas y localización del centro de gravedad, así como la motivación en las sesiones de fisioterapia. Este estudio muestra una evidencia estadísticamente significativa que apoya la mejoría en equilibrio, en satisfacción del paciente y una redistribución más adecuada en la carga de miembros inferiores.

- En [22] se hizo una revisión sistemática con la cual se pretende determinar que tanto aportan las terapias con realidad virtual a pacientes con problemas neurológicos del tipo ictus. La revisión sistemática consultó las bases de datos *Cochrane Original*, *Joanna Briggs Connect*, *Medline/Pubmed*, *Cinahl*, *Scopus*, *Isi Web of Science y Sport-Discus*, se incluyeron artículos publicados en los últimos 5 años, en inglés y/o español, realizados en pacientes con ictus, y que utilicen la RV para mejorar la función motora, finalmente, se seleccionaron 4 revisiones sistemáticas y 21 ensayos clínicos controlados y/o aleatorizados. La revisión arrojó fuertes evidencias científicas de los efectos beneficiosos de la RV en la recuperación motora del miembro superior en pacientes con ictus, sin embargo, se necesitan estudios que profundicen en cuáles son los cambios generados en la reorganización cortical, qué tipo de sistema de RV es mejor utilizar, determinar si los resultados se mantienen a largo plazo, y definir qué frecuencias e intensidades de tratamiento son las más adecuadas
- En [23] se analizaron cuales fueron las repercusiones en el uso de sistemas de realidad virtual en la mejora y adquisición de habilidades funcionales, y se evaluó la evidencia científica existente para determinar el grado de recomendación de dichas intervenciones a pacientes con parálisis cerebral. Para ello se consultaron las bases de datos *Pubmed(Medline)*, *PEDro*, *Embase(OVID-Elsevier)*, *Cochrane Library Plus*, *Medline(OVID)*, *CINHAL*, *ISI web Knowledge*. El estudio arrojó mejoras significativas en en las medidas que evalúan el control postural y el equilibrio, la funcionalidad del miembro superior, el control selectivo articular y la marcha.

Objetivos.

Objetivo General

Desarrollar una plataforma software para cuantificar la habilidad motriz fina de miembro superior.

Objetivo Específicos

- Seleccionar una técnica para medir la habilidad motriz fina de miembro superior basada en la literatura.
- Desarrollar un entorno virtual que permita evaluar la habilidad motriz fina utilizando la técnica seleccionada.
- Comparar los resultados de la cuantificación de la habilidad motriz obtenida mediante el entorno virtual y la aplicación tradicional de la técnica seleccionada en un caso de estudio.

Estructura de la monografía.

Además de la Introducción, este trabajo se compone de 5 capítulos:

En el capítulo 1, se muestra el proceso de selección de la técnica implementada en el proyecto, así mismo, se definen los requisitos y parámetros que deben cumplir la técnica a escoger, el hardware y el software.

En el capítulo 2, se realiza el diseño y desarrollo de la interfaz de realidad virtual, se muestra el hardware y el software y la metodología escogidos para ese fin, así como también los diagramas UML que se desarrollaron para poder realizar el aplicativo.

En el capítulo 3, presenta el protocolo de experimentación, en el caso de estudio, el protocolo que se siguió para realizar las sesiones de evaluación con el método convencional y método virtual, además, se menciona la población objetivo que se selecciono para llevarlas a cabo.

En el capítulo 4, se realiza el análisis de los datos obtenidos de las sesiones de evaluación, se enseña los parámetros de comparación escogidos así como los resultados de dicha comparación, por medio de gráficos de cajas y bigotes, cabe resaltar que la comparación se realiza entre la técnica implementada en realidad virtual y su homóloga en el mundo real. Se ilustran gráficos y tablas que se obtuvieron durante este

proceso, además de algunas observaciones que se percibieron al realizar las sesiones de evaluación.

En el capítulo 5, se concluye la viabilidad de la herramienta elaborada para medir la motricidad fina y demás conclusiones relevantes, esto con el fin, de dar respuesta a la pregunta de investigación, así mismo, se mencionan los trabajos futuros.

Información adicional de este trabajo se puede encontrar en:

- Manual de usuario de la herramienta que se implementó.
- Código fuente.
- Anexos

Capítulo 1

Selección de la técnica y requisitos.

En primera instancia es necesario realizar la selección de la técnica de medición de motricidad fina que será implementada en la interfaz virtual, de esta manera, este capítulo se compone inicialmente de una revisión de la literatura sobre las técnicas existentes, seguidamente de los requisitos que deben cumplir las técnicas, el software y el hardware a escoger, posteriormente se presenta la comparación de las diferentes técnicas con respecto a los requisitos mencionados anteriormente y finalmente la selección de la técnica a implementar sobre el aplicativo.

1.1. Revisión de la literatura de técnicas para medición cuantitativa de habilidad motriz fina.

La búsqueda de las técnicas, las cuales deben medir de forma cuantitativa la habilidad motriz fina, se realizó a través de las bases de datos ^{1 2}, que contienen artículos, informes y demás textos científicos que aportan la suficiente información para realizar una conceptualización a fondo de cada una de las técnicas.

A partir de la literatura revisada se elaboró un resumen de cada técnica donde se incluiría la siguiente información: Nombre de la técnica, tarea a realizar, método

¹www.rehabmeasures.org

²www.sciencedirect.com

de evaluación propuesto de la habilidad motriz fina, población en la que se utiliza, ventajas y posibles desventajas para evaluar la viabilidad en una implementación virtual. Cabe aclarar que en el contexto fisioterapéutico existen diferentes términos que sirven como parámetros de comparación entre los procedimientos que realizan, dichos términos se deben conocer para poder entender el proceso de selección de las técnicas, por tal razón, se dará una breve explicación de estos términos:

- Porcentaje de fiabilidad: El porcentaje de fiabilidad se define según El Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante (RUA) como: “La fiabilidad de un test es el grado o la precisión con que el test mide un determinado rasgo psicológico, independientemente del hecho de si es capaz o no de medirlo (validez). Es decir, se dice que un test es fiable cuando "mide bien aquello que está midiendo". Se refiere a la constancia de la medida, al grado en que un instrumento de medida psicológica no deformará el resultado de una medición debido a cambios, fluctuaciones o variaciones del instrumento mismo” [24], de la misma manera se identifican dos componentes importantes en la fiabilidad de un test:
 - La consistencia interna: se refiere al grado en que los distintos ítems, partes o piezas de un test miden la misma cosa.
 - La estabilidad temporal: se refiere al grado en que un instrumento de medida arrojará el mismo resultado en diversas mediciones concretas midiendo un objeto o sujeto que ha permanecido invariable.
- Coeficiente Test retest: Hace referencia a un método para medir la fiabilidad para esto se debe:
 - Administrar el mismo test en dos ocasiones diferentes separadas por cierto lapso temporal a una misma muestra de sujetos.
 - Calcular el coeficiente de correlación entre las puntuaciones obtenidas por los sujetos en las dos ocasiones.

Finalmente hay que tener en cuenta el tiempo de separación que existe entre las dos muestras del test. Se supone que, si el test es preciso, las medidas deberán ser muy parecidas y el coeficiente de fiabilidad tenderá a 1. Si ello

es así, se asume que el test es fiable porque independientemente de cuándo se aplique se tiende a obtener con él siempre la misma medida.

- Inter e intra test: El termino inter test hace referencia a una comparación que se realiza entre el test y demás test que evalúan lo mismo, que el coeficiente resulte cercano a 1 quiere decir que el test en cuestión realiza la labor de medición sobre la variable para la que esta diseñado; por otro lado el coeficiente intra test hace referencia a los diferentes análisis que se realizan sobre el mismo test en diferentes momentos, es así como este coeficiente se relaciona con el coeficiente de fiabilidad del test.

Un estudio en diferentes motores de búsqueda (como *Google scholar*) y bases de datos (como *sciencedirect* y *rehabmeasures*) permitió encontrar una serie de técnicas que sirven como método de rehabilitación de la motricidad fina, a continuación se presenta el resumen que se obtuvo como resultado de la búsqueda de técnicas:

- Test de funcionalidad Dextery [25]:
 - Tarea a realizar: Voltear un conjunto ganchos de tal forma que queden en zigzag. El proceso debe realizarse con la mano sana y luego con la mano lesionada.
 - Método de evaluación propuesto: Se toma el tiempo de ejecución de la actividad, a este se le suman los tiempos por penalizaciones (dejar caer el gancho, usar la otra mano como ayuda). Si al paciente le toma más de 55 seg realizar la tarea, es un indicativo de una mano no funcional, la tarea debe de observarse durante 2 min máximo para detallar el mal funcionamiento.
 - Población con la que se ha probado: Adultos sanos, adultos con lesiones de mano no identificada, niños sanos, pacientes con problemas neuronales, pacientes que sufren esclerosis múltiple.
 - Ventajas: Excelente confiabilidad test-retest y excelente calificación inter-intra test.
- Escala de Evaluación de Motricidad [26]:

- Tarea a realizar: El procedimiento consiste en agarrar un objeto cilíndrico y levantarlo solo con la rotación de la muñeca, seguidamente se debe levantar y bajar una esfera grande con ambas manos, a continuación el paciente levanta un vaso de poliestireno y lo pone en otra mesa girando el torso, finalmente consiste en contraponer los dedos de las manos.
 - Método de evaluación propuesto: Se mide la eficiencia del movimiento en una escala de desempeño de 0-6
 - Población con la que se utiliza: Pacientes con golpes crónicos y agudos.
 - Ventajas: La prueba cuenta con movimientos más complejos, y complementa con ejercicios de movilidad general (movimiento de torso)
 - Desventajas: No especifica si se debe realizar toda la prueba o si es posible realizar solo parte de ella.
- Test de alcance de brazo activo [27]:
 - Tarea a realizar: El test consiste en levantar cubos de madera y piedra de diferentes medidas (10cm, 2.5cm, 5cm, etc), pasar agua de un vaso a otro, de tubo a tubo, también se debe agarrar una esfera (pelota, canica) con el dedo pulgar y diferentes dedos, finalmente consta en poner la mano en la parte anterior del cuello, sobre la cabeza y en la boca.
 - Método de evaluación propuesto: Calificación de las actividades de 0-3.
 - Población con la que se ha probado: Pacientes que han sufrido: golpes, esclerosis múltiple, lesiones cerebrales.
 - Ventajas: Excelente confiabilidad test-retest y excelente calificación inter-intra test.
 - Desventajas: Error estándar no establecido.
 - Test Nine-Hole Peg [28]:
 - Tarea a realizar: Consiste en un tablero con 3 hileras, con 3 orificios cada una. En los orificios se deben introducir y luego retirar pequeños palillos de madera, utilizando la mano dominante, luego la no dominante. Cada tarea es cronometrada.

- Método de evaluación propuesto: Tiene en cuenta medir el tiempo que le tarda al paciente introducir y retirar los 9 palillos.
 - Población con la que se ha probado: Pacientes que han sufrido enfermedades cerebro vasculares, o con Parkinson.
 - Ventajas: Excelente confiabilidad test-retest y excelente calificación inter-intra test.
- Test de funcionalidad de mano de Sollerman [29]:
 - Tarea a realizar: Consta de agarrar 20 tipos diferentes de objetos, durante 60 seg cada uno, este test se efectúa normalmente con el paciente sentado, el test debe realizarse mínimo durante 20 min.
 - Método de evaluación propuesto: Se mide la eficiencia y calidad del agarre en todos los objetos en una escala del 0-4 donde 0 es muy mal agarre y 4 es agarre perfecto, finalmente se contabiliza el total de puntos obtenidos, se puede obtener un máximo de 80 puntos.
 - Población con la que se ha probado: Pacientes que han sufrido; lesiones de espina dorsal, golpes crónicos, amputaciones, reumatismo, artritis, osteoartritis, quemaduras, ancianos.
 - Ventajas: Excelente confiabilidad test-retest y excelente calificación inter-intra test.
 - Desventajas: La medición de la eficiencia y calidad del agarre es tomada por el especialista que supervisa la ejecución del procedimiento.
 - Test de funcionalidad de Jebsen [30]:
 - Tarea a realizar: Se realizan 7 procedimientos diferentes en ambas manos los cuales son: escribir una carta, voltear una carta, levantar pequeños objetos, apilar fichas, mover objetos livianos, mover objetos pesado, agarrar alimento y llevarlo a la boca.
 - Método de evaluación propuesto: El objetivo es medir el tiempo que demora el paciente en realizar estas 7 actividades, la medición de interés es la velocidad y no la calidad, se estipula un tiempo máximo en cada actividad de 120 seg como un procedimiento mal realizado.

- Población con la que se utiliza: Personas que sufren de accidente cerebro vascular, lesiones cerebrales, golpes en la mano, reumatismo, artritis, osteoartritis, fractura distal del radio, síndrome de túnel carpiano, lesiones de espina dorsal.
 - Ventajas: Muy buenas pruebas re-test, buen intra e inter ratio-fiabilidad, estándares claros de tiempo para cada actividad en especial a pacientes de edad avanzada.
 - Desventajas: No establece una medida de error promedio.
- Test de dibujo de reloj [31]:
 - Tarea a realizar: El procedimiento consiste en agarrar un lápiz y dibujar un reloj, situar cada una de las horas correspondientes y finalmente dar una hora en específico a través de dicho reloj, algunas veces se le dibuja al paciente un círculo como referencia para realizar su dibujo, esta proceso debe efectuarse habiéndole dado al paciente un dibujo el cual imitar, el test se debe realizar entre 1-2 minutos.
 - Método de evaluación propuesto: El objetivo es medir la diferencia que existe entre el reloj que el paciente dibuja y el reloj que se le enseñó, se tienen en cuenta factores como el cambio de la posición en los dibujos, el espacio del mismo y la congruencia de las líneas.
 - Población con la que se utiliza: Pacientes que sufren de alzhéimer y/o golpes.
 - Ventajas: Buenas pruebas re-test, excelente intra e inter ratio-fiabilidad, claros estándares de tiempo para cada actividad en especial a pacientes de edad avanzada.
 - Desventajas: No establece medidas exactas para tomar la prueba.
 - Test de cajas y bloques [32]:
 - Tarea a realizar: El test consiste en posicionar un total de 150 objetos de madera dentro de una caja la cual tiene 2 aberturas, en la que se encuentran los objetos en desorden y en la que se deben depositar los

objetos, el paciente debe mover la mayor cantidad de objetos que le sean posible dentro de un tiempo límite de 60 segundos.

- Método de evaluación propuesto: Se contabiliza la cantidad de objetos que el paciente ha sido capaz de mover en el tiempo establecido.
 - Población con la que se utiliza: Pacientes que han sufrido; golpes, esclerosis múltiple, lesiones cerebrales, desordenes neuromusculares, lesiones espina dorsal, fibromialgia, así como también pacientes de avanzada edad.
 - Ventajas: Excelentes pruebas re-test, excelente porcentaje fiabilidad, estándares claros de tiempo para cada actividad en especial a pacientes de edad avanzada.
 - Desventajas: No tiene en cuenta la calidad del agarre del objeto.
- La prueba de evaluación de miembro superior en personas de edad (TEMPA) [33]:
- Tarea a realizar: El paciente debe realizar tareas de carácter unilateral (abrir y cerrar un contenedor, escribir y pegar una estampilla en un sobre, voltear y repartir cartas) y bilaterales (coger y mover una jarra, agarrar un envase y verter agua sobre un recipiente, manejar monedas, tomar y mover objetos pequeños).
 - Método de evaluación propuesto: Cada tarea es evaluada según su velocidad de ejecución, la autonomía del paciente mientras realiza la tarea y un análisis de la tarea por parte del evaluador.
 - Población con la que se utiliza: Pacientes con desordenes neuronales, o con lesiones cerebrovasculares, o problemas de movilidad.
 - Ventajas: Excelente confiabilidad test-retest y excelente calificación inter-intra test.
 - Desventajas: No tiene en cuenta la calidad del agarre del objeto.
- El cuestionario de la discapacidad de brazo (DASH) [34]:
- Tarea a realizar: Es un cuestionario donde se le pregunta al paciente acerca del progreso de su enfermedad y de las sensaciones que siente, en aproximadamente 75 preguntas.

- Método de evaluación propuesto: Se analizan las respuestas del paciente.
 - Población con la que se utiliza: Pacientes con problemas neuronales y golpes crónicos.
 - Ventajas: Excelente confiabilidad test-retest y excelente calificación inter-intra test.
 - Desventajas: El test no evalúa la funcionalidad de la mano del paciente de forma objetiva.
- El cuestionario de mano de Michigan [35]:
 - Tarea a realizar: Es un cuestionario comprendido de 37 preguntas categorizadas en 6 análisis que son: la funcionalidad promedio de la mano, las actividades de vida diaria, el dolor, el desempeño de trabajo, la estética y la satisfacción del paciente con la funcionalidad de la mano; la mayoría de las preguntas evalúan cada miembro por separado.
 - Método de evaluación propuesto: Se analizan las respuestas del paciente.
 - Población con la que se utiliza: Pacientes con desordenes neuronales, o con lesiones cerebrovasculares, o problemas de movilidad.
 - Ventajas: Excelente confiabilidad test-retest y excelente calificación inter-intra test.
 - Desventajas: El test no evalúa la funcionalidad de la mano del paciente de forma objetiva.
 - Flexión compuesta de dedos para medir el rango de movimiento (ROM) [9]:
 - Tarea a realizar: La tarea consiste en ubicar la punta del dedo en algún punto de la palma de la mano.
 - Método de evaluación propuesto: Se miden los ángulos de los dedos en la acción de flexión.
 - Población con la que se utiliza: Personas que sufren de, accidente cerebrovascular, lesiones cerebrales, golpes en la mano, reumatismo, artritis, osteoartritis, fractura distal del radio, síndrome de túnel carpiano, lesiones de espina dorsal.

- Ventajas: Excelente confiabilidad test-retest y excelente calificación inter-intra test.

Como se puede apreciar, son múltiples las técnicas que buscan medir la habilidad motriz fina, razón por la cual, en la secciones posteriores se llevará a cabo la selección de la técnica a implementar.

1.2. Selección de parámetros y requisitos que debe cumplir la técnica a ser implementada.

Una vez realizada la conceptualización de los métodos de medición de motricidad fina, es necesario estipular, identificar, seleccionar o establecer los parámetros y requisitos que se deben tener en cuenta para seleccionar la técnica a implementar, para este fin se tuvieron en cuenta dos aspectos generales, la disponibilidad de software/hardware y el método de evaluación de la técnica.

Disponibilidad de software/ hardware:

Este aspecto resulta de vital importancia al realizar la implementación, se llevó a cabo el análisis de las capacidades del software/hardware (principalmente limitaciones hardware con las que se cuenta), para así escoger una técnica que se adapte a estas. Por tanto, es necesario conocer el hardware y software que se utilizará para realizar la implementación, sin embargo, en esta etapa del desarrollo no se tiene un conocimiento exacto de los sistemas tecnológicos con los que se contará en el proyecto, por tal razón se toman en consideración los elementos más importantes. En ese orden de ideas se presentan a continuación los requisitos que se deben cumplir en el diseño del software dados por un especialista y los requisitos que se consideran debe cumplir la herramienta hardware que será escogida:

- **Software:** El software a desarrollar debe cumplir con algunos requerimientos, los cuales fueron suministrados por un experto en el tema de rehabilitación

a la motricidad fina. El programa debe constar de 3 partes importantes; la actividad, que es donde el paciente realiza el procedimientos o técnica escogida, el informe, en el cual se entregan todos los resultados que son pertinentes para el especialista y por medio de los cuales se puede evaluar el proceso de rehabilitación, y la sesión, por medio de la cual se accede a la actividad o al informe según sea el caso y en donde el especialista puede apreciar toda la información del paciente y de las sesiones que este ha realizado, así pues, se prosigue a especificar los requerimientos que deben de tener cada una de estas partes:

- En la Actividad se deben cumplir los siguientes requerimientos:
 - El entorno debe ser evaluado con personas de 20-70 años que estén sanas.
- En el informe se debe suministrar la siguiente información:
 - La información detallada de cada paciente y los diferentes tiempos en los que realiza la prueba.
 - Los tiempos promedios que le tomó al paciente realizar la tarea con cada una de sus manos.
- En la sesión se debe visualizar el siguiente contenido:
 - Se debe apreciar toda la información del paciente y la sesión de evaluación.
 - Se le debe permitir al especialista el manejo de la información de los pacientes ³ y de sus sesiones de evaluación.
- **Hardware:**A continuación se especificaran las características o cualidades que debe tener el hardware que se seleccionará para lograr una implementación eficiente y que sea realizada de la forma esperada:
 - Portable, es decir, fácil de transportar de un lugar a otro.
 - No invasivo, es decir, no requiera de una conexión o montaje sobre el paciente, que le permita a este último moverse con libertad.

³agregar, modificar, borrar

- Resolución virtual, es decir, que permita al paciente realizar cualquier movimiento y que sea capaz de traducir éstos al entorno virtual con una alta precisión.
- Tiempo de respuesta, se refiere a que los movimientos que el paciente realice en el mundo real sean efectuados en la interfaz virtual sin retardos de tiempo significativos.
- Adaptabilidad al software, es decir que permita ser implementado sobre cualquier interfaz software sin presentar dificultades, como por ejemplo en diferentes sistemas operativos.

Así pues, al realizar una búsqueda general de las tecnologías de realidad virtual que existen en la actualidad, se observa que la mayoría de estas cuentan con algunas limitaciones importantes que son las siguientes:

- Poca resolución para valores muy pequeños de los ángulos de los dedos.
- Carecen de la percepción de “Toque” que tiene el paciente que realiza la actividad.
- No permiten una simulación que incluya ejercer alguna fuerza sobre el elemento de la técnica.

De esta manera, se puede deducir que las limitaciones mencionadas anteriormente serán las que se tengan en cuenta para escoger el hardware a utilizar, por tanto se deben considerar para la selección de los parámetros y requisitos que servirán de filtro al momento de seleccionarla.

Método de evaluación que utiliza la prueba:

Este aspecto depende directamente del mencionado anteriormente, debido a que, el método de evaluación de la técnica debe de poderse acoplar a los requisitos software/hardware con las que se cuentan, así mismo, la técnica escogida debe estar

normalizada y ser confiable (test-retest/intra-inter/ratio de fiabilidad), además, debe permitir una facilidad en la implementación en la realidad virtual. Teniendo en cuenta lo anterior se muestran las características que debe tener el método de evaluación de la técnica:

- El método de evaluación de la técnica no puede basarse en una medición de la fuerza que el paciente ejerce con su mano sobre los elementos de la prueba.
- La técnica requerir la medición de ángulos muy pequeños con alguna de sus manos.
- La técnica debe estar normalizada y debe ser confiable.

Según lo anterior, se pueden apreciar los parámetros y requisitos que debe cumplir la técnica a seleccionar; para un mayor entendimiento se listan a continuación el total de ítems a tener en cuenta para escoger la técnica:

- La técnica no debe contar como método de evaluación la fuerza que ejerce el paciente.
- La técnica debe tener una facilidad en la aplicación del sistema.
- La técnica debe ser normalizada.
- La técnica no debe realizar procedimientos en los cuales se requieran movimientos en los dedos donde se ejecuten ángulos demasiado cerrados.

En ese orden de ideas, se han decidido unos rangos para cada uno de los ítems anteriormente mencionados de la siguiente manera:

- Aquellas técnicas que tienen en cuenta en su método de evaluación la fuerza que ejerce el paciente en el proceso de rehabilitación son ponderadas con el valor de 0, aquellas que no cuentan con esta variable son ponderadas con el valor de 5; el valor se estimó alto dado que es uno de los requerimientos más importantes a cumplir para realizar la implementación.

- Aquellas técnicas que presentan una facilidad de implementación son ponderadas con diferentes rangos estimados así: Si la técnica no es de fácil implementación se pondera con 0, si la técnica es medianamente fácil de implementar en una interfaz virtual se pondera con 3, si la técnica es muy fácil de implementar se pondera con 5.
- Si la técnica está correctamente normalizada se pondera con 5, en caso contrario con 0.
- Si la técnica cuenta con procedimientos donde se encuentran movimientos de ángulos se estipulan los siguientes valores: Si los ángulos presentes en el movimiento son demasiado cerrados se pondera con 0, si los ángulos presentes en el procedimiento son factibles de implementar se pondera con 3, si la técnica no tiene ángulos menores de 90° se pondera con 5.

Así pues se diseña una tabla que tiene en cuenta los siguientes campos: Nombre de la técnica, Procedimiento de fuerza, Facilidad, Normalización y ángulos presentes, esto con el fin de llevar a cabo el proceso de evaluación a continuación.

1.3. Evaluación de técnicas con respecto a parámetros escogidos.

En esta sección se realiza la ponderación y comparación de todas y cada una de las técnicas que se listaron anteriormente, para ello se tiene en cuenta la descripción realizada de la técnica; cabe aclarar que el valor de la facilidad de implementación de la técnica, se define teniendo en cuenta las limitaciones de software y hardware presentadas anteriormente, de esta manera, se obtiene la siguiente tabla con las técnicas debidamente ponderadas.

Como se puede observar en la tabla 1.1 existen técnicas que no cumplen con algunos de los requisitos estipulados, otras cumplen la mayoría y algunas cumplen con todos a cabalidad, por tal razón, se escogen para un análisis más a fondo las técnicas cuya

<i>Nombre de la técnica.</i>	<i>Procedimientos de fuerza</i>	<i>Facilidad.</i>	<i>Normalización</i>	<i>Ángulos presentes</i>	<i>Total.</i>
Test de funcionalidad Dextery	0	3	5	3	11
Escala de evaluación de motricidad	0	5	5	5	15
Test de alcance de brazo activo	0	5	5	5	15
Test nine-hole peg	5	5	5	5	20
Test de funcionalidad de mano de sollerman	5	3	5	5	18
Test de funcionalidad de Jebsen	0	5	5	5	15
Test de dibujo de reloj	5	5	5	5	20
Test de cajas y bloques	5	3	5	5	18
TEMPA	5	3	5	5	18
DASH	5	5	5	5	20
El cuestionario de mano de Michigan	5	5	5	5	20
ROM	5	3	5	0	13

Tabla 1.1: Ponderación de cada una de las técnicas.

ponderación sea igual a 20, cabe resaltar que 20 es el valor máximo de la ponderación que puede conseguir una técnica. Las técnicas escogidas son:

- Test Nine-Hole Peg (técnica 4).
- Test de dibujo de reloj (técnica 7).
- El cuestionario de la discapacidad de brazo (DASH) (técnica 10).
- El cuestionario de mano de Michigan (técnica 11).

Así pues, se tienen las cuatro técnicas mencionadas anteriormente como posibles técnicas que permitan una implementación funcional en una interfaz virtual, dichas técnicas pasaran por una siguiente evaluación para determinar cuál será la técnica que se escoge finalmente.

1.4. Selección de la técnica que cumpla con los requisitos y parámetros estipulados.

Finalmente, una vez obtenidas las técnicas que permiten ser implementadas en la interfaz virtual propuesta se lleva a cabo un análisis de cada una de ellas para estimar cuál de las mismas será la que se escoja, para esto se realizó el análisis que se presenta a continuación, en el análisis se tiene muy en cuenta la facilidad de implementar la técnica y que sea ejecutada por un usuario:

- *Test Nine-Hole Peg*: Presenta un alto índice de aplicabilidad, es una técnica altamente utilizada por la literatura [36] [37] [5], esta cuenta con una implementación virtual factible y su evaluación sobre un caso de estudio, puede ser llevada a cabo de forma óptima; también se puede comparar con otras técnicas, obteniendo así un resultado en cuanto a que tan útil resultó la elaboración del proyecto, finalmente mide en general toda la funcionalidad de la mano.
- *Test de dibujo de reloj*: Es una técnica sencilla de implementar, su aplicación en un caso de estudio resulta factible, a pesar de esto, las mediciones que tiene en cuenta de la mano son escasas, pues analiza el agarre y la precisión desde el criterio del evaluador.
- *El cuestionario de la discapacidad de brazo (DASH)*: esta técnica a pesar de ser altamente aplicable y cumplir con todos los requisitos, es un cuestionario razón por la cual, no se tiene en cuenta, esto se debe a que no analiza la funcionalidad real de la mano del paciente, le basta con analizar las respuestas que el paciente da del mismo, estas últimas pueden ser demasiado subjetivas, factor que desfavorece al proceso de rehabilitación.
- *El cuestionario de mano de Michigan*: esta técnica al igual que la inmediatamente anterior es un cuestionario y presenta las mismas falencias, por esa razón queda descartada.

Como se aprecia anteriormente las técnicas cuestionario de la discapacidad de brazo y el cuestionario de mano de Michigan quedan completamente descartadas para una implementación virtual, por otro lado las técnicas como el *Test Nine-Hole Peg* y el Test de dibujo de reloj pasan el análisis efectuado, pero, es el *Test Nine-Hole Peg* la técnica que resulta seleccionada para ser implementada en una interfaz virtual, esto debido a que se puede apreciar que la técnica escogida obtuvo mayor puntuación que la mayoría de técnicas y en cuanto a la comparación con el test de dibujo de reloj, esta última carece de mediciones de la funcionalidad de la mano, por tal razón no aportaría un resultado contundente para la elaboración del proyecto.

Capítulo 2

Diseño y Desarrollo de un entorno de realidad virtual para evaluar la habilidad motriz fina.

Para lograr implementar una herramienta tecnológica de realidad virtual que evalúe la rehabilitación de la motricidad fina de un paciente, es necesario crear un sistema virtual que haga uso de las tecnologías con las que se dispone, para ello, en este capítulo se señalará: que metodología se utilizó para el diseño de dicho sistema, los detalles del diseño de la interfaz de realidad virtual que consta de la selección del hardware y software a utilizar, finalmente los diagramas del modelado de la arquitectura software y las interfaces que se desarrollaron.

2.1. Metodología de trabajo escogida.

En todo proceso de elaboración de un elemento software, lo más recomendable es escoger una metodología la cual va a guiar el diseño y la elaboración del mismo, por tal razón en este proyecto se hizo una búsqueda de las metodologías existentes y cuáles de ellas se acoplaran más al proyecto, así pues se encontraron las metodologías ágiles como el tipo de procedimiento más adecuado para el proyecto, a continuación

se hará una breve explicación de dichas metodologías:

Las metodologías ágiles son un conglomerado de guías y procedimientos en los que las necesidades y soluciones evolucionan a través de una colaboración estrecha entre equipos multidisciplinarios. Se caracterizan por enfatizar la comunicación frente a la documentación, por el desarrollo evolutivo y por su flexibilidad [38]. Así mismo surgen como una contraposición a las metodologías tradicionales, dado que estas últimas resultan difíciles de implementar en labores de diseño pequeñas, además contaban como si los cambios en el diseño fuesen un error a corregir y no un valor agregado al producto, de esta manera se puede realizar una comparación entre las metodologías ágiles y las tradicionales, dicha comparación se ilustra en la siguiente tabla.

Metodologías ágiles.	Metodologías tradicionales.
Adaptativos. Orientado a personas. Un proyecto es subdividido en proyectos más pequeños. Comunicación constante con el cliente. Entrega constante del software. Proceso flexible. Poca documentación.	Predictivos. Orientado a procesos. Se concibe como un proyecto. Poca comunicación con el cliente. Entrega del software al finalizar el desarrollo. Proceso rígido. Documentación extensa.

Tabla 2.1: Metodologías ágiles Vs Metodologías tradicionales sacado de [38] .

En la tabla 2.1 se pueden observar las principales características de las metodologías ágiles, estas últimas a su vez cuentan con una serie de elementos claves a valorar tales como:

- Los individuos, se valoran por sobre los procesos y herramientas, dado que nada sustituye a las personas a pesar de todas las ayudas que existen para desarrollar software.
- El software funcionando, se valora por sobre la documentación exhaustiva, esto se debe a que había llegado un punto en el que la documentación de un trabajo

había alcanzado tanta importancia como el objeto del trabajo en sí mismo, el producto; siendo este pensamiento equivocado, la mayor atención siempre debe estar en lo que se quiere construir.

- La colaboración del cliente, se valora sobre la negociación de un contrato, esto se ve reflejado en los requerimientos y objetivos del proyecto, así, la forma más productiva siempre será estableciendo un marco de colaboración y confianza con quien lo solicita.
- La respuesta al cambio se valora sobre un plan a seguir, se trata de apreciar la incertidumbre como un componente básico del trabajo, de tal manera que la adaptabilidad y la flexibilidad se convierten en virtudes y no en defectos de la manera de trabajar del equipo.

Finalmente, se debe decir que existen una amplia variedad de metodologías ágiles entre las cuales se debió seleccionar una de ellas, dichas metodologías se ilustran a continuación:

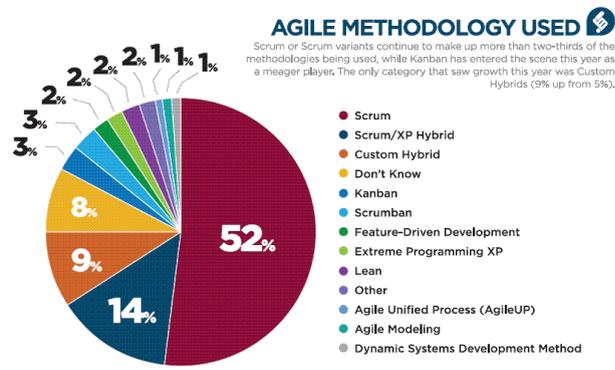


Figura 2.1: Metodologías ágiles.
sacado de [39]

Como se puede apreciar en la figura 2.1 existen una gran cantidad de metodologías ágiles, sin embargo apenas cuatro de ellas son usadas con relativa constancia; por tal razón y debido igualmente a la facilidad de implementación en este proyecto, se ha decidido utilizar la metodología *scrum* como procedimiento para el diseño y desarrollo de la interfaz de realidad virtual; a continuación se hará una breve explicación de dicha metodología:

Metodología *scrum*:

Scrum (Melé en español) es un modelo de desarrollo ágil que propone una técnica de desarrollo incremental mediante *sprints*¹. Para ello, no se cuenta con una planificación como tal, sino con un listado de características deseables para el producto que se deberán abordar durante los *sprints* de trabajo [40].

Sus principios se basan en:

- Mantener equipos de trabajo bien organizados en los que se maximice la comunicación.
- Utilizar un proceso flexible susceptible a cambios para asegurar una máxima calidad del producto.
- Dividir el trabajo en paquetes poco acoplados.

Roles del equipo:

- *Product Owner*: Es el miembro que recibe toda la información del producto y la plasma en el documento de requisitos del producto de forma priorizada (*Product Backlog*) [40].
- *Scrum Master*: Es un miembro del equipo encargado de que el *sprint* se realice de forma correcta, coordinando a los miembros y solucionando los problemas que pudieran retrasar al equipo [40].
- *Equipo*: Formado por unas 4-8 personas deben tener conocimientos generales de todas las fases del desarrollo y se encargarán de realizar las tareas planificadas para el *sprint* [40].

En la figura 2.2 se pueden apreciar las fases con las que cuenta la metodología *scrum*.

A continuación se proceden a explicar las diferentes fases y elementos que componen el ciclo *scrum*:

¹Sesiones donde el equipo de trabajo escoge y realiza pequeñas tareas según sus cualidades

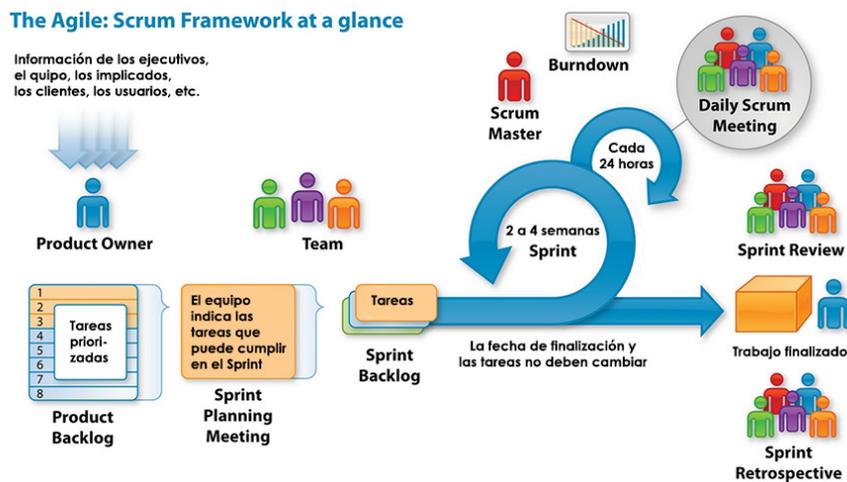


Figura 2.2: Metodología *scrum*.
Sacada de [41]

- **Product backlog:** Durante esta fase se escribirán los requisitos en el documento de forma priorizada. Dicho documento puede ser actualizado en cualquier punto del desarrollo salvo durante los *sprint* [40].
- **Sprint:** Durante el *sprint* el equipo realizará una serie de tareas previamente identificadas. Cada miembro deberá elegir la tarea que más le motive hacer para lograr que se realice de manera rápida y obtener una mejor calidad [40].
- **Reunión de planificación de *Sprint*:** Antes de comenzar el *sprint* se realiza una reunión en la que se escogen los requisitos que se abordarán. Para planificar o estimar la duración que deberá tener el *sprint* es común realizar sesiones de *scrum póker*. Después de esta fase se deberá generar un documento con todas las tareas a realizar así como los tiempos en los que se deberán completar, conocido como *sprint backlog* [40].
- **Reunión diaria de *Scrum*:** Cada día, al comenzar la jornada, se dedicarán 15 minutos para realizar una reunión en la que se deberán poner al día los miembros del equipo exponiendo: lo que se ha realizado, las dificultades, lo que se realizará, etc [40].
- **Revisión del *Scrum* y retrospectiva:** Al finalizar el *sprint* se realizan dos reuniones. La *Scrum review* está orientada a valorar el trabajo realizado y a

anotar qué quedó por hacer. Por otro lado la *Scrum retrospective* pretende analizar y valorar el transcurso del sprint con el objetivo de mejorar el proceso [40].

Cabe resaltar, que debido a que se está elaborando un proyecto de pregrado y no un producto como tal la metodología no puede ser aplicada a cabalidad, hay limitaciones de tiempo y de personal así como también de presupuesto, que impiden un desarrollo completo de la metodología *scrum*, sin embargo es esta la metodología que más se adapta a los requerimientos de desarrollo del proyecto.

Ahora se procede a definir la “pila de producto” o (*Product Backlog*) que se define en la figura 2.2 como los requisitos funcionales que el cliente espera del software; dichos requisitos fueron mencionados anteriormente en la sección 1.2 donde se listaron los requisitos del software, se toman dichos requisitos y se elaboran las historias de usuario que se tomarán como la “pila de producto” sobre la cual se realizarán las fases de la metodología establecida, en este caso el cliente final o PP (Propietario del producto) es el especialista (fisioterapeuta), quien nos facilitó estos requerimientos, los demás elementos de la metodología se acoplan al equipo de trabajo del proyecto.

Historias de usuario:

Las tablas 2.2 hasta la tabla 2.4, ilustran algunas de las historias de usuario que se crearon a partir de los requisitos que suministró el especialista para realizar el (*Product Backlog*) mencionado en la metodología, estas son:

<i>Enunciado de la Historia</i>			<i>Criterios de Aceptación</i>					
<i>Identificador (ID) de la Historia</i>	<i>Rol</i>	<i>Característica / Funcionalidad</i>	<i>Razón / Resultado</i>	<i>Número (#) de Escenario</i>	<i>Criterio de Aceptación (Título)</i>	<i>Contenido</i>	<i>Evento</i>	<i>Resultado / Comportamiento esperado</i>
1	Como un desarrollador.	Necesito probar el sistema en personas de 20-70 años que estén sanas.	Con la finalidad de obtener una buena cantidad de datos y así poder realizar la normalización del sistema.	1	Al menos 1 persona de cada edad.	En caso que sea posible encontrar un grupo de personas variado.	cuando cada una de las personas tenga una edad diferente, es decir, un total de 50 personas	el sistema permitirá establecer un rango de edades y normalización amplio.
				2	Edades no cubiertas.	En caso que exista un grupo de personas con una distribución no uniforme de edades	cuando no existan personas con alguna o algunas de las edades que se específico.	el sistema requiere de una agrupación y normalización de los datos teniendo en cuenta las edades en las que estos no existan.
				3	Más de una persona de cada edad.	En caso que exista un amplio grupo de personas.	cuando en las personas probadas hayan más de una con la misma edad, cubriendo la totalidad de las edades.	el sistema presenta una muy buena distribución de los datos obtenidos.

Tabla 2.2: Historia de Usuario 1.

<i>Enunciado de la Historia</i>			<i>Criterios de Aceptación</i>					
<i>Identificador (ID) de la Historia</i>	<i>Rol</i>	<i>Característica / Funcionalidad</i>	<i>Razón / Resultado</i>	<i>Número (#) de Escenario</i>	<i>Criterio de Aceptación (Título)</i>	<i>Contexto</i>	<i>Evento</i>	<i>Resultado / Comportamiento esperado</i>
2	Como un especialista.	Necesito conocer la altura del movimiento con respecto a la base	Con la finalidad de tener un valor que normalice la prueba.	1	Medida mostrada en la interfaz virtual.	En caso que se le permita al especialista observar la altura a la cual el paciente realiza la actividad en el entorno virtual.	cuando el paciente o usuario hace la sesión de evaluación	el sistema debe mostrar la altura real en la cual la mano del paciente se encuentra.
				2	Medida tomada en el mundo real.	En caso que no sea posible mostrar la altura en la que se encuentra la mano del paciente en el sistema virtual.	cuando el paciente o usuario hace la sesión de evaluación.	el sistema no permite mostrar la altura en la que la mano del paciente realiza la sesión de evaluación.

Tabla 2.3: Historia de Usuario 2.

<i>Enunciado de la Historia</i>			<i>Criterios de Aceptación</i>					
<i>Identificador (ID) de la Historia</i>	<i>Rol</i>	<i>Característica / Funcionalidad</i>	<i>Razón / Resultado</i>	<i>Número (#) de Escenario</i>	<i>Criterio de Aceptación (Título)</i>	<i>Contexto</i>	<i>Evento</i>	<i>Resultado / Comportamiento esperado</i>
3	Como un diseñador.	Necesito utilizar un software de desarrollo en 3D.	Con la finalidad de poder programar la interfaz en 3D a utilizar.	1	Existe software libre de diseño 3D.	En caso que se encuentre un software de diseño 3D que se pueda utilizar, sin necesidad de comprar una licencia.	cuando se desee escoger el software en el que se va a desarrollar el aplicativo virtual.	el sistema permite desarrollar la interfaz virtual, con alta compatibilidad y sin necesidad de comprar una licencia.
				2	Existe software pago de diseño 3D.	En caso que no se encuentre un software de diseño 3D que no necesite la compra de licencia.	cuando se desee escoger el software en el que se va a desarrollar el aplicativo virtual.	el sistema permite desarrollar la interfaz virtual, con alta compatibilidad con la compra de una licencia.

Tabla 2.4: Historia de Usuario 3.

En los anexos, se pueden apreciar las demás historias de usuario elaboradas para este proyecto.

2.2. Selección del software y del hardware.

En todo desarrollo de sistemas tecnológicos se debe contar con las herramientas apropiadas para lograr el objetivo de la forma más eficiente, por tal razón, fue necesario escoger dichas herramientas que facilitaran el desarrollo del aplicativo de realidad virtual, tanto a nivel funcional como a nivel monetario y de implementación. A continuación, se realizara la explicación detallada de los elementos software y hardware que se utilizaron en el desarrollo de herramienta tecnológica; cabe aclarar que la selección de dichos elementos se basó principalmente en la disponibilidad y funcionalidad de los mismos, así pues se seleccionó primero un dispositivo hardware que cumpliera con los requisitos mencionadas en la sección 1.2 y seguidamente se seleccionó una herramienta software que permitiera el trabajo de forma práctica sobre dicho hardware:

Hardware Utilizado.

Para seleccionar el dispositivo hardware que permitiera la implementación apropiada de la herramienta tecnológica se debieron de tener en cuenta los requisitos listados en la sección 1.2, de esta manera y gracias a la disponibilidad del mismo, se seleccionó el *Leap Motion* como dispositivo hardware, en la figura 2.3 se puede apreciar dicho elemento:

A continuación se procederá a explicar con más detalle las características del hardware seleccionado:

Dimensiones:

- Alto: 11mm

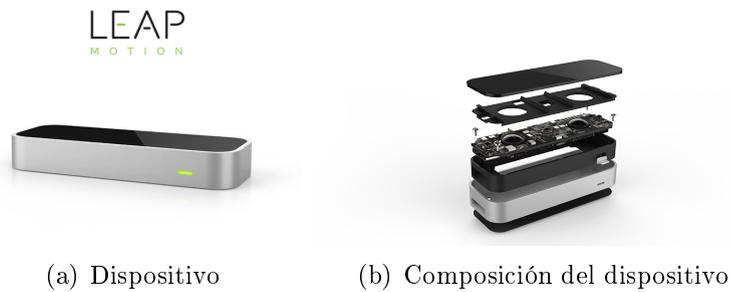


Figura 2.3: Dispositivo *Leap motion*

- Ancho: 25mm
- Largo: 75mm

Como se puede apreciar es un dispositivo realmente pequeño y portable, cumpliendo con uno de los requisitos que debe tener el sistema hardware el cual es la portabilidad y facilidad de manejo.

Partes del dispositivo:

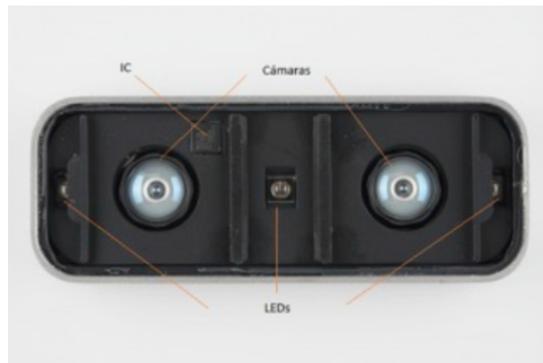


Figura 2.4: Partes que componen el *Leap Motion*

En la Figura 2.4 se puede apreciar con más detalles las partes del dispositivo las cuales son, 3 luces *LED*, 2 cámaras y un microcontrolador (*IC*), se procede a explicar cada una de ellas:

- **Cámaras:** Las cámaras son una de las partes más importantes del dispositivo, dado que son las encargadas de capturar las imágenes y su buen funcionamiento condicionará la operación del resto de sistema; cada una de estas cámaras cuenta con un sensor monocromático, sensible a la luz infrarroja, con una longitud de onda de 850 nm. Estos sensores pueden trabajar a una velocidad de hasta 200 fps, dependiendo del rendimiento del ordenador/Tablet al que se conecte el dispositivo. Además, cada sensor es de tipo CMOS, en el cual, la digitalización de los píxeles se produce dentro de cada celda, por lo que no es necesario un chip externo como ocurriría en el caso de utilizar sensores CCD. Esto se traduce en mayor velocidad para capturar imágenes y en menor espacio para albergar los sensores, además de que son más económicos que los sensores CCD, así mismo, en este tipo de sensor no se produce el fenómeno blooming, al contrario que en los sensores CCD, este fenómeno se produce cuando una celda se satura de luz y hace que las celdas de alrededor también se saturen, finalmente en comparación con los sensores CCD, los sensores CMOS cuentan con una lectura simultánea más veloz y un consumo eléctrico más bajo.
- **LED (iluminación infrarroja):** Los LEDs se encargan de iluminar la zona de cobertura por inundación, trabajan en el espectro de luz infrarroja a una longitud de onda de 850 nm que, como es lógico, es la misma a la que son sensibles los sensores ópticos, también varían su consumo eléctrico y lumínico dependiendo de la luz que haya en la zona de cobertura para asegurar una misma resolución de imagen. Como se puede observar en la Figura 2.4, los LEDs están separados por pequeñas barreras de plástico, de esta manera se asegura que la iluminación sea uniforme en toda la zona de cobertura, además, se protege a los sensores ópticos de una posible saturación de luz, dado que de esta manera la luz infrarroja no les ilumina directamente.
- **Microcontrolador (IC):**

Se trata de un circuito integrado que se suele utilizar para hacer la función de *BIOS* (MXIC MX25L3206E-32M-bit CMOS SERIAL FLASH). En este caso contiene el programa que controla todo el dispositivo y se encarga de recoger la información de los sensores para luego enviarla al *driver* o controlador instalado en el ordenador/Tablet, además de esto el dispositivo cuenta con un

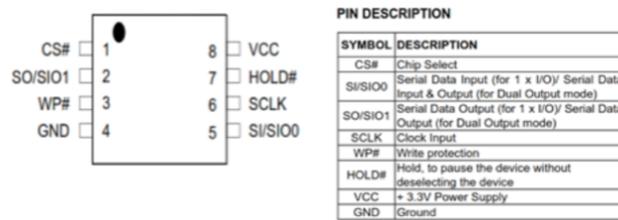


Figura 2.5: Descripción del microcontrolador del *Leap Motion*.

controlador USB el cual se puede apreciar en la figura 2.6, dicho controlador cumple con la función de permitirle al ordenador reconocer el dispositivo, el controlador de USB es de alta velocidad y soporta USB 3.0.



Figura 2.6: Controlador USB del *Leap Motion*.

Las anteriores son las partes que componen el dispositivo, sin embargo, existen 2 elementos más que componen el dispositivo que se deben tener en cuenta para el correcto funcionamiento del mismo, los cuales son, el sistema encargado del envío y recepción de datos, y la zona de cobertura del dispositivo, a continuación se presentaran dichos elementos:

- **Sistema de envío y recepción de datos:**

En la Figura 2.7, se puede apreciar los puertos serie UAR_TRX y UAR_TTX, los cuales son los encargados de realizar el envío y recepción de datos dentro del dispositivo.

- **Zona de cobertura:**

En la Figura 2.8 se puede observar la zona de cobertura del dispositivo, esta zona es una semiesfera de 61 cm de radio, esta zona depende del ángulo de

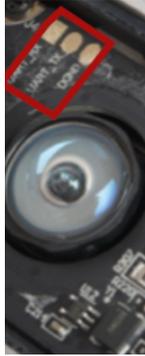


Figura 2.7: Sistema de envío y recepción de datos del *Leap Motion*

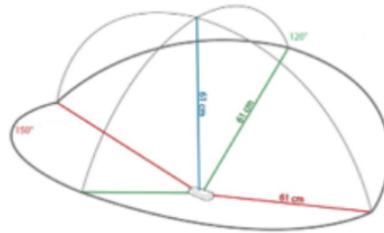


Figura 2.8: Zona de cobertura del *Leap Motion*.
Sacada de [42].

visión de las lentes de las cámaras y de la intensidad máxima que puede entregar la conexión USB a los LEDs, a su vez, el ángulo de visión depende de la distancia focal y del tamaño del sensor de la siguiente forma:

$$\alpha = 2 * \arctang\left(\frac{d}{2 * f}\right) \quad (2.1)$$

Donde d es la diagonal del sensor y f la distancia focal. Tanto el ángulo de visión horizontal de *Leap Motion* como el vertical son de $150,92^\circ$. Estos ángulos delimitan la zona de interacción.

Con lo anterior se abarcan todas las partes que componen el dispositivo, a continuación se realizará la explicación de las características funcionales, así como también del principio de funcionamiento del dispositivo:

Principio de funcionamiento [42]:

En este proyecto se ha elegido utilizar el *Leap Motion* como sensor, dado que obtener la máxima información posible de configuración y del movimiento realizado por las manos. Por otro lado, existen diferentes técnicas para obtener parámetros de profundidad mediante un sistema de visión (por ejemplo, *Kinect*²). Sin embargo es el dispositivo *Leap Motion*, el cual satisface las necesidades de funcionalidad y los requisitos definidos con anterioridad, por tal razón a continuación se describe el funcionamiento de *Leap Motion*.

En general el funcionamiento del dispositivo consta de 3 pasos los cuales son:

1. Obtiene las imágenes desde los sensores de las cámaras del dispositivo.
2. Aplica una corrección de la distorsión que producen los sensores.
3. Aplica un modelo matemático para determinar la configuración de cada mano y ejecuta un algoritmo de visión estereoscópica entre cada par de imágenes para obtener la posición en el plano tridimensional.

A continuación se procede a realizar una explicación más detallada de cada uno de esos pasos:

1. El dispositivo ilumina la zona de cobertura mediante una luz infrarroja emitida a través de sus tres LEDs, con una longitud de onda de 850 nm. Cuando un objeto es iluminado, se produce una reflexión de luz que llega al dispositivo e incide sobre las lentes de las dos cámaras, éstas últimas, de tipo biconvexas, concentran los rayos en el sensor de cada cámara; y los datos recogidos por los sensores se almacenan en una matriz (imagen digitalizada) en la memoria del controlador USB.
2. Una vez los datos han llegado al controlador USB es allí donde se realizan los ajustes de resolución adecuados mediante el microcontrolador del dispositivo,

²Obtiene imágenes a color e imágenes de profundidad proyectando un mallado de puntos de los que analiza la distancia a partir de la distorsión del mallado.

luego, los datos de los sensores se envían directamente al *driver* instalado en el ordenador. Estos datos representan un valor de intensidad luminosa por cada píxel de la imagen capturada y se guardan en un *buffer*. El valor de intensidad luminosa se cuantifica a 8 bits para generar una imagen *RAW* en escala de grises con un tamaño 640 x 120 px, esta cantidad de datos y píxeles a tratar, podrían hacer pensar que el dispositivo funcionaría de manera lenta, pero no es así debido a que el solo se encarga de recoger y enviar datos.

3. Una vez que las imágenes de las dos cámaras llegan al *driver* son analizadas para identificar las manos y los dedos a partir de un modelo matemático de caracterización anatómico, además, se obtiene la profundidad mediante un algoritmo que se explica a continuación:
 - En la figura 2.9 se puede observar las dos imágenes que llegan al *driver* del *Leap Motion*.

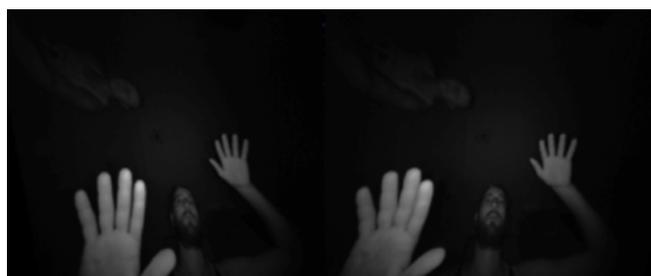


Figura 2.9: Imágenes que llegan al *driver*.
Sacada de [42].

Hay que tener en cuenta que antes de aplicar el algoritmo de identificación y el de profundidad, las lentes del dispositivo producen una distorsión en la imagen, deformando el objeto observado, dicha distorsión se conoce como distorsión compleja, la cual se puede observar en la Figura 2.10:

Por esta razón, el *Leap Motion* cuenta con una opción de calibrado mediante la cual se obtiene un mapa de mallado de puntos de calibrado que se superpone a la imagen captada por cada sensor como se puede apreciar en la Figura 2.11.

Por lo tanto, cada *buffer* de datos de imagen que se envía al *driver* va acompañado de otro *buffer* que contiene los datos de distorsión. Estos

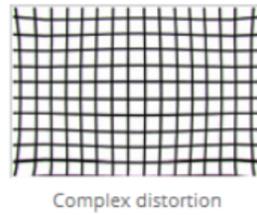


Figura 2.10: Distorsión generada por los lentes del *Leap Motion*.
Sacada de [42].

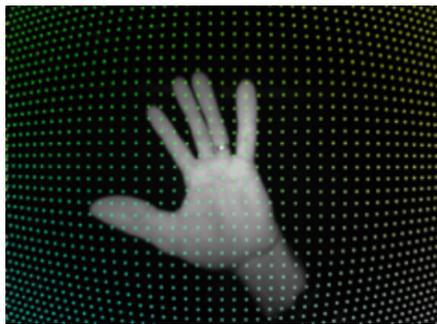


Figura 2.11: Mapa de mallado de puntos de calibrado.
Sacada de [42]

datos son una rejilla de 64 x 64 puntos con dos valores de 32 bits cada uno. Cada uno de estos puntos representa un rayo proyectado en la cámara. El valor de un punto del mallado define la luminosidad de un píxel en la imagen y se pueden obtener los datos de luminosidad de todos los píxeles mediante interpolación. Así pues, se puede obtener el valor de brillo para cualquier rayo proyectado. Los valores de la cuadrícula que caen fuera del rango $[0 \dots 1]$ no corresponden a un valor de datos de la imagen y, por tanto, se deben ignorar estos puntos.

La Figura 2.12 muestra una reconstrucción de los datos de una imagen con la distorsión corregida. El valor de brillo de cada píxel de la imagen se originó a partir de un rayo de luz que entró en la cámara desde una dirección específica. La imagen se reconstruye mediante el cálculo de las pistas horizontales y verticales representados por cada píxel y se puede encontrar el valor de brillo verdadero de los datos de la imagen utilizando el mapa de calibración. Las partes rojas de la imagen representan las áreas dentro de la prestación para la que ningún valor de brillo está disponible

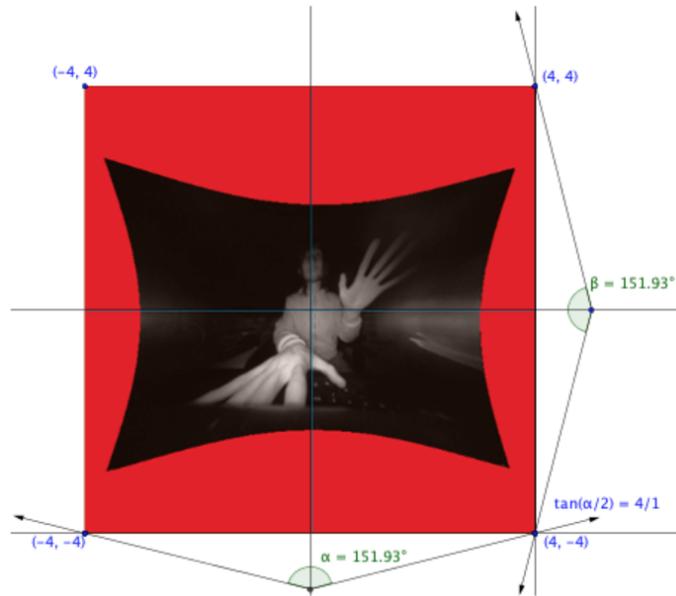


Figura 2.12: Imagen corregida.
Sacada de [42].

(el campo de visión real es de menos de 150 grados).

- Una vez que han llegado las imágenes, se han corregido debidamente y el *driver* ha identificado las manos y los dedos, se puede determinar la posición de estas en el sistema de coordenadas cartesianas del *Leap Motion* a través de técnicas de visión estereoscópica. Básicamente, un sistema estereoscópico funciona del siguiente modo: gracias a la separación de las dos cámaras en el eje X se obtienen dos imágenes con pequeñas diferencias (disparidad).

Como se puede observar en la Figura 2.13, las dos cámaras (representadas por O_i y O_d) están en el mismo plano Z, sobre la línea base, si se traza una línea epipolar entre las dos imágenes I_i e I_d , dado que O_i y O_d están en el mismo plano Z y las dos cámaras tienen la misma distancia focal, se puede ver la proyección del punto P en las dos imágenes, por tanto, se puede obtener un valor de disparidad d para cada par de puntos emparejados $P_i(x_i, y_i)$ y $P_d(x_d, y_d)$ dado por $d = XI - XD$ como se ve en la Figura 2.14.

Considerando igual la distancia focal f en las dos cámaras y conociendo

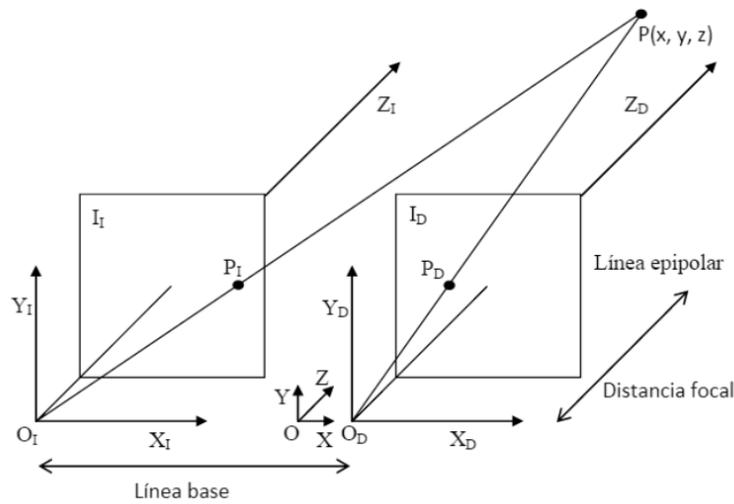


Figura 2.13: Sistema de disparidad del *Leap Motion*.
Sacada de [42].

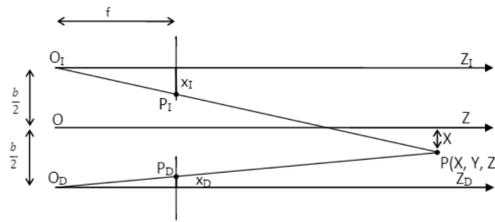


Figura 2.14: Ubicación del punto d.
Sacada de [42].

la distancia entre cámaras b :

$$\left. \begin{array}{l} O_i : \frac{b+X}{Z} = \frac{x_I}{f} \\ O_d : -\frac{b-X}{Z} = \frac{x_D}{f} \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} x_I = \frac{f}{Z} \left(X + \frac{b}{2} \right) \\ x_D = \frac{f}{Z} \left(X - \frac{b}{2} \right) \end{array} \right\} \Rightarrow d = x_I - x_D = \frac{fb}{Z} \Rightarrow Z = \frac{fb}{d} \quad (2.2)$$

Así pues, a partir de la ecuación 2.2 se puede obtener las coordenadas del punto P , con esto se puede calcular la ubicación de los dedos y las manos así como un seguimiento de los movimientos que estos realicen.

Además de lo anterior, cabe resaltar que el dispositivo cuenta con compatibilidad

con los lenguajes de programación que se aprecian en la Figura 2.15:



Figura 2.15: Lenguajes de programación compatibles con *Leap Motion*.
Sacada de [42].

Con esto se finaliza lo referente al dispositivo hardware, a continuación se explicaran los detalles de todas las herramientas software que se utilizaron para elaborar la interfaz de realidad virtual.

Software utilizado:

Como se mencionó con anterioridad, la selección del software se llevó a cabo una vez seleccionado el hardware, con el fin de que el software escogido tuviese compatibilidad con el hardware, además, se tuvo en cuenta que el software a elegir permitiera diseñar la interfaz virtual y demás elementos del aplicativo como lo dictaron los requisitos en la sección 1.2 al momento de realizar el Product Backlog, en ese orden de ideas se escogió el software *Unity* 5.4.1, para realizar el aplicativo, a continuación se realizará la explicación detallada del software, y detalles de conexión del mismo con el dispositivo.

Software *UNITY* [43]:

Unity es un motor de videojuego multiplataforma creado por *Unity Technologies*, *Unity* está disponible como plataforma de desarrollo para *Microsoft Windows*, OS X. La plataforma de desarrollo tiene soporte de compilación con diferentes tipos de plataformas, a continuación se listaran las características principales del software:

- *Unity* puede usarse junto con *3ds Max*, *Maya*, *Softimage*, *Blender*, *Modo*, *ZBrush*, *Cinema 4D*, *Cheetah3D*, *Adobe Photoshop*, *Adobe Fireworks* y *Alle-*

gorithmic Substance, así mismo, los cambios realizados a los objetos creados con estos productos se actualizan automáticamente en todas las instancias de ese objeto durante todo el proyecto sin necesidad de volver a importar manualmente.

- El motor gráfico utiliza *OpenGL* (en *Windows*, *Mac* y *Linux*), *Direct3D* (solo en *Windows*), *OpenGL ES* (en *Android* y *iOS*), e interfaces propietarias (*Wii*), también, tiene soporte para mapeado de relieve, reflexión de mapeado, mapeado por paralelaje, pantalla de espacio oclusión ambiental (*SSAO*), sombras dinámicas utilizando mapas de sombras, render a textura y efectos de post-procesamiento de pantalla completa.
- Utiliza *ShaderLab language* para el uso de *shaders*, soporta tanto programación declarativa de los programas de función fija de tuberías y *shader GLSL* o escritas en *Cg*. Un *shader* puede incluir múltiples variantes y una especificación declarativa de reserva, lo que permite a *Unity* detectar la mejor variante para la tarjeta de vídeo actual y si no son compatibles, recurrir a un *shader* alternativo que puede prescindir de otras características para solventar el hecho de la compatibilidad.
- El soporte integrado para *Nvidia* (antes *Ageia*), el motor de física *PhysX*, (a partir de *Unity 3.0*) con soporte en tiempo real para mallas arbitrarias y sin piel, *ray casts* gruesos, y las capas de colisión.
- El *scripting* viene a través de *Mono*. El *script* se basa en *Mono*, la implementación de código abierto de *.NET Framework*. Los programadores pueden utilizar *UnityScript* (un lenguaje personalizado inspirado en la sintaxis *ECMAScript*), *C#* o *Boo* (que tiene una sintaxis inspirada en *Python*). A partir de la versión 3.0 añade una versión personalizada de *MonoDevelop* para la depuración de *scripts*.
- *Unity* también incluye *Unity Asset Server* - una solución de control de versiones para todos los *assets* de juego y *scripts*, utilizando *PostgreSQL* como *backend*, un sistema de audio construido con la biblioteca *FMOD*, con capacidad para reproducir audio comprimido *Ogg Vorbis*, reproducción de vídeo con *códec Theora*, un motor de terreno y vegetación, con árboles con soporte

de *billboarding*, determinación de cara oculta con *Umbr*, una función de iluminación *lightmapping* y global con *Beast*, redes multijugador *RakNet* y una función de búsqueda de caminos en mallas de navegación.

- *Mecanim*: es la tecnología de animación de Unity, que ha estado en desarrollo durante años, primero por la empresa del mismo nombre, a continuación, por las oficinas de Unity en Canadá, después de su adquisición. La tecnología está diseñada para llevar el movimiento fluido y natural de los personajes con una interfaz eficiente. *Mecanim* incluye herramientas para la creación de máquinas de estados, árboles de mezcla, manipulación de los conocimientos nativos y *retargeting* automático de animaciones, desde el editor de *Unity*.

Con lo anterior se abarcan las principales características del software de desarrollo utilizado.

Conexión del dispositivo *Leap Motion* con el software Unity:

La conexión de las herramientas se realiza a través del paquete de *Unity Leap Motion Interaction Engine* Y el SDK de *Orion*, de esta manera el *Leap Motion* se conecta al ordenador a través del cable USB con el este cuenta.

2.3. Diagramas del modelado de la arquitectura software.

Para realizar el correcto modelado de la arquitectura del sistema de realidad virtual a desarrollar, se hace uso del lenguaje de modelado estándar en la producción de software. Este es, UML (*Unified Modeling Language*); el cual modela los diferentes los diferentes componentes de la arquitectura en un nivel de abstracción alto. UML permite modelar cualquier tipo de sistema por medio de los 13 diagramas que tiene a su disposición, dichos diagramas se clasifican de la siguiente manera:

- Estructurales: Muestran la estructura estática de los objetos en un sistema. Estos se componen por: Los Diagramas de clases, de componentes, de despliegue, de objetos, de paquetes, de perfiles y de estructura compuesta.
- De comportamiento: Muestran el comportamiento dinámico de los objetos en el sistema: Los cuales se componen por: Los Diagramas de actividades, de casos de uso y de máquina de estados.
- De interacción: Compuestos por los Diagramas global de interacciones, de comunicación, de secuencia y de tiempos.

Para este proyecto se consideran 4 diagramas UML como herramientas para especificar la arquitectura dinámica y estática del sistema. Los cuales son: Los diagramas de casos de uso, diagramas de clases, diagramas de despliegue y diagramas de secuencia. Además, se deben tener en cuenta 2 diagramas más que no se definen dentro de los mencionados anteriormente, estos son; el diagrama de entidad relación, utilizado para definir la arquitectura de la base de datos creada; y el diagrama de flujo, el cual permite observar el comportamiento del aplicativo elaborado en Unity. A continuación, se hará una breve explicación de cada uno.

- Diagrama de casos de uso: El diagrama de casos de uso representa la forma en como un Cliente (Actor) opera con el sistema en desarrollo, además de la forma, tipo y orden en como los elementos interactúan (operaciones o casos de uso). Este modelo cuenta con 3 elementos importantes; el Actor, es un rol que un usuario toma con respecto al sistema, es importante destacar el uso de la palabra rol, pues con esto se especifica que un Actor no necesariamente representa a una persona en particular, sino más bien la labor que realiza frente al sistema, como ejemplo a la definición anterior, se tiene el caso de un sistema de ventas en que el rol de Vendedor con respecto al sistema puede ser realizado por un Vendedor o bien por el Jefe del Local; el Caso de uso, es una operación/tarea específica que se realiza tras una orden de algún agente externo, sea desde una petición de un actor o bien desde el llamado por otro caso de uso; finalmente la Relación, que es la unión entre el actor y el caso de uso o entre diferentes casos de uso.

- Diagrama de Clases: Un diagrama de clases sirve para visualizar las relaciones entre las clases que involucran el sistema, las cuales pueden ser asociativas, de herencia, de uso y de contenido. Un diagrama de clases está compuesto por los siguientes elementos: Clase: atributos, métodos y visibilidad; Relaciones: Herencia, Composición, Agregación, Asociación y Uso.
- Diagrama de despliegue: El Diagrama de Despliegue es un tipo de diagrama que se utiliza para modelar la disposición física de los artefactos software en nodos (usualmente plataforma de hardware). Los elementos usados por este tipo de diagrama son nodos (representados como un prisma), componentes (representados como una caja rectangular con dos protuberancias del lado izquierdo) y asociaciones.
- Diagrama de secuencia: El diagrama de secuencia es un tipo de diagrama usado para modelar interacción entre objetos en un sistema. Un diagrama de secuencia muestra la interacción de un conjunto de objetos en una aplicación a través del tiempo y se modela para cada caso de uso. Mientras que el diagrama de casos de uso permite el modelado de una vista *business* del escenario, el diagrama de secuencia contiene detalles de implementación del escenario, incluyendo los objetos y clases que se usan para implementar el escenario y mensajes intercambiados entre los objetos.
- Modelo Entidad-Relación: Un diagrama o modelo entidad-relación es una herramienta para el modelado de datos que permite representar las entidades relevantes de un sistema de información así como sus interrelaciones y propiedades. El modelo de datos entidad-relación está basado en una percepción del mundo real que consta de una colección de objetos básicos, llamados entidades, y de relaciones entre esos objetos.
- Diagrama de flujo: El diagrama de flujo o diagrama de actividades es la representación gráfica del algoritmo o proceso. En UML, un diagrama de actividades representa los flujos de trabajo paso a paso de negocio y operacionales de los componentes en un sistema. Un diagrama de actividades muestra el flujo de control general. Estos diagramas utilizan símbolos con significados definidos que representan los pasos del algoritmo, y representan el flujo de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de fin del proceso.

Debido a la importancia en el manejo de datos que se requiere en el aplicativo, se ha decidido dividir el sistema de realidad virtual en tres segmentos: El primer segmento, hace referencia al subsistema de gestión de pacientes, es decir, el que se encarga de añadir, eliminar, alterar, buscar, almacenar, toda la información de los pacientes y las respectivas sesiones que se realicen con el mismo, este subsistema se implementará en el entorno de desarrollo software de *Visual Studio* en lenguaje C#. El segundo segmento, hace referencia al subsistema de interfaz virtual, es decir, es donde se desarrollará la actividad de evaluación, es aquí donde el paciente interactúa con el sistema en general y se hace la captura de datos de la sesión de evaluación del mismo, este subsistema se implementará en el entorno de desarrollo software de *Unity3D* en lenguaje C#, debido a que este software se especializa en el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual, además viene integrado con muchas interfaces y con dispositivos entre ellos el *Leap motion*. Finalmente, el tercer segmento, hace referencia a la base de datos, que se encarga tanto de servir como puente entre los subsistemas mencionados anteriormente, como de almacenar toda la información de los pacientes y las sesiones de evaluación de forma adecuada, para permitir una posterior trazabilidad y generación de reportes.

En la Figura 2.16 se puede apreciar la arquitectura general del aplicativo de realidad virtual que se desarrolló, esta arquitectura hace uso del diagrama de despliegue mencionado anteriormente, en donde se muestran los diferentes componentes de todo el sistema, desde el dispositivo de captura de datos *Leap motion*, hasta la composición del aplicativo de realidad virtual y los 3 subsistemas mencionados anteriormente, cabe resaltar, que además de esto, en el diagrama se ilustran detalles más técnicos de la conexión de los diferentes componentes, como son el *Driver Orion*, el cual se encarga de conectar el *Leap motion* con la interfaz virtual, también se aprecia la función de “puente” que cumple la base de datos entre el subsistema de gestión de pacientes y la interfaz virtual.

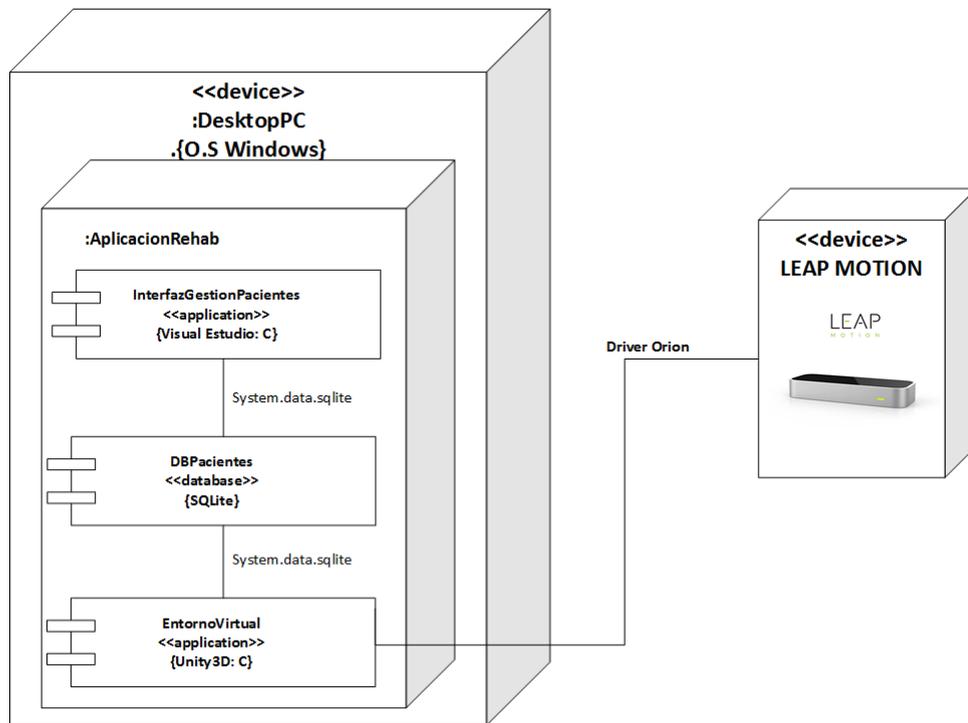


Figura 2.16: Diagrama de despliegue de la arquitectura del aplicativo software.

A continuación, se procederá a explicar de forma detallada cada uno de los 3 subsistemas que se implementaron en el aplicativo de realidad virtual, los modelos UML, las diferentes consideraciones y demás parámetros que se tuvieron en cuenta en las interfaces.

Subsistema de bases de datos:

Como se mencionó anteriormente, este subsistema es el que se encarga de servir de puente entre los demás, también se encarga de almacenar toda la información necesaria del paciente y sus diferentes sesiones, esto es de vital importancia, para que los especialistas puedan realizar la debida trazabilidad del paciente y generar reportes poblacionales o seguimientos que ellos consideren pertinentes.

En la figura 2.17 se puede apreciar el modelo entidad relación que define la estructura de la base de datos diseñada.

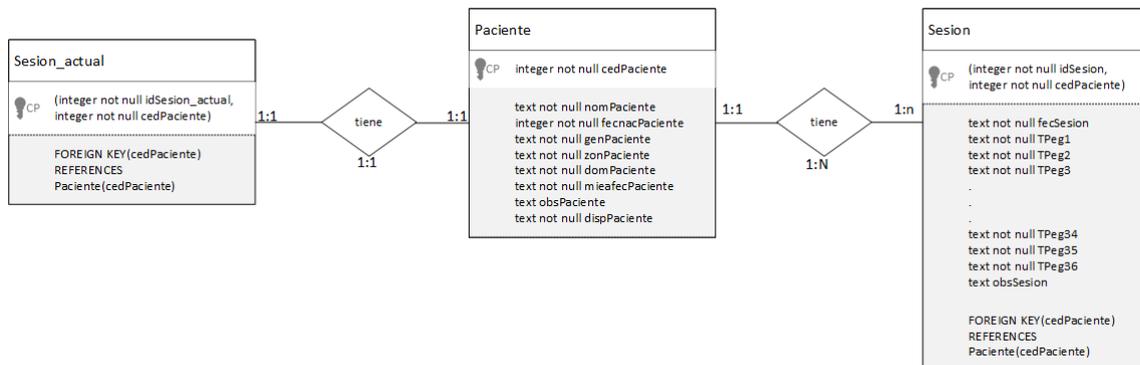


Figura 2.17: Modelo entidad relación de la base de datos

Como se puede apreciar en el modelo entidad relación, la base de datos cuenta con tres entidades (paciente, sesión y sesión actual) las cuales están unidas por la relación de “Tiene”, así pues, una paciente puede tener de una a muchas sesiones, pero una sesión solo le puede pertenecer a un paciente en concreto, de la misma manera, un paciente puede tener una sesión actual y una sesión actual solo puede tener un paciente, además se ilustran los atributos de cada una de las entidades, estos atributos serán los datos que se almacenen en la base de datos para el paciente, las sesiones y las sesiones actuales respectivamente, finalmente, cabe resaltar que las entidades sesión y sesión actual no puede existir si no hay pacientes por tal razón se estableció una llave foránea en el atributo del ID del paciente, que compone la llave primaria (atributo identificador) de dichas entidades.

Subsistema de gestión de pacientes:

El Subsistema de gestión de pacientes es el que le facilita al usuario llevar el seguimiento y control de todos y cada uno de los pacientes que realizan la actividad de evaluación, así pues, este le permite, generar reportes de estos, también, agregar, eliminar, modificar, buscar pacientes y sesiones en cada uno de los pacientes registrados. A continuación se realizará la explicación de los diagramas UML que se utilizaron para modelar la arquitectura de este subsistema y finalmente se enseñará la interfaz realizada.

Diagrama de casos de uso: En la figura 2.18, se muestra el diagrama de casos de

uso del subsistema de gestión de pacientes, en este, se muestran todas las actividades con las que el usuario cuenta para poder llevar a cabo el correcto seguimiento y control de los diferentes pacientes y sesiones dentro del aplicativo. La explicación de cada caso de uso se realiza desde la Tabla 2.5 hasta la Tabla 2.14.

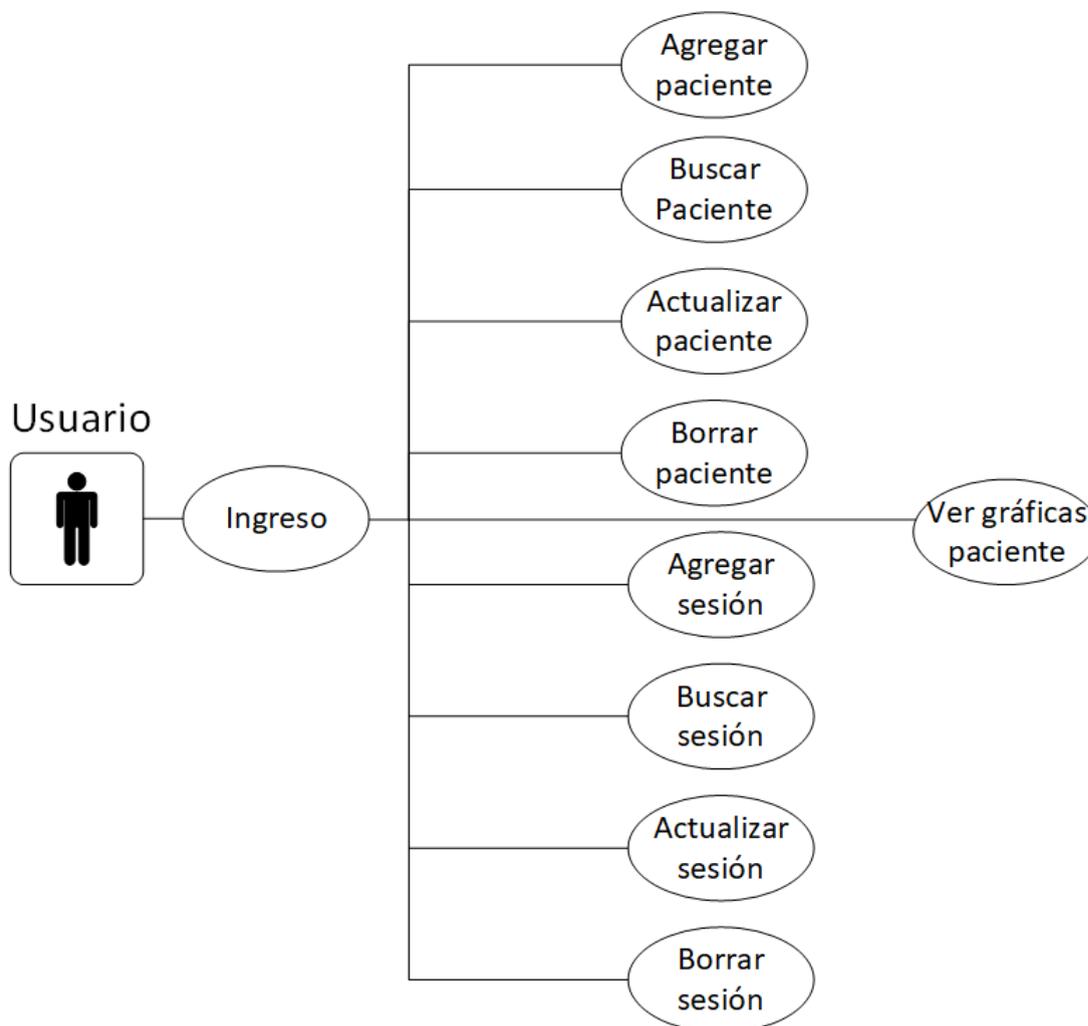


Figura 2.18: Diagrama de casos de uso del subsistema de gestión de pacientes.

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/Administrador
<i>Prioridad</i>	Alta
<i>Descripción</i>	Permite acceder a la interfaz que se encarga de realizar el proceso de gestión de los pacientes.

Tabla 2.5: Caso de uso ingreso.

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/Administrador
<i>Prioridad</i>	Media
<i>Descripción</i>	Permite realizar el proceso de agregar un paciente nuevo, para ello se debe ingresar la información necesaria para poder tener un registro satisfactorio.

Tabla 2.6: Caso de uso “Agregar paciente”.

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/Administrador
<i>Prioridad</i>	Media
<i>Descripción</i>	Permite realizar la consulta y búsqueda de la información de todos los pacientes que se han almacenado en el sistema

Tabla 2.7: Caso de uso “Buscar paciente”.

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/Administrador
<i>Prioridad</i>	Media
<i>Descripción</i>	Permite realizar la modificación de la información de los pacientes que se han almacenado en el sistema.

Tabla 2.8: Caso de uso “Actualizar paciente”.

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/Administrador
<i>Prioridad</i>	Media
<i>Descripción</i>	Permite borrar toda la información de un paciente.

Tabla 2.9: caso de uso “Borrar paciente”.

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/Administrador
<i>Prioridad</i>	Media
<i>Descripción</i>	Permite añadir la información de una sesión de E evaluación a un paciente en específico.

Tabla 2.10: Caso de uso “Agregar sesión”.

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/Administrador
<i>Prioridad</i>	Media
<i>Descripción</i>	Permite realizar la consulta y búsqueda de toda la información de una sesión de evaluación específica en un paciente.

Tabla 2.11: Caso de uso “Buscar sesión”.

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/Administrador
<i>Prioridad</i>	Media
<i>Descripción</i>	Permite modificar la información almacenada de una sesión de evaluación de un paciente en específico.

Tabla 2.12: Caso de uso “Actualizar sesión”.

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/Administrador
<i>Prioridad</i>	Media
<i>Descripción</i>	Permite borrar toda la información de una sesión de evaluación de un paciente en específico.

Tabla 2.13: Caso de uso “Borrar sesión”.

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/Administrador
<i>Prioridad</i>	Alta
<i>Descripción</i>	Permite visualizar gráficas que contengan la información poblacional de los pacientes que se han registrado en el sistema, dicha información puede estar definida en términos de, la edad, el sexo, la región, etc.

Tabla 2.14: Caso de uso “Ver gráfica paciente”.

Diagrama de clases: En la Figura 2.19, se puede apreciar el diagrama de clases que se implementó en el subsistema de gestión de pacientes, este se encarga de representar cada una de las clases y sus métodos así como también especifica la relación entre cada clase, además, se puede observar la implementación de los principales casos de uso como clases dentro del diagrama, estas clases serán implementadas en el algoritmo software con los atributos y métodos que se menciona en el diagrama.



Figura 2.19: Diagrama de clases del subsistema de gestión de pacientes.

Diagramas de Progreso o secuencia: En la Figura 2.20 se puede observar la implementación del caso de uso más importante definido en el proyecto. En este el

diagrama de secuencia, se ilustra el comportamiento dinámico del sistema de gestión de pacientes, es decir ilustra los elementos y acciones que este realiza para llevar a cabo el caso de uso, en los anexos se presentan los diagramas de progreso para los demás casos de uso presentes en el proyecto.

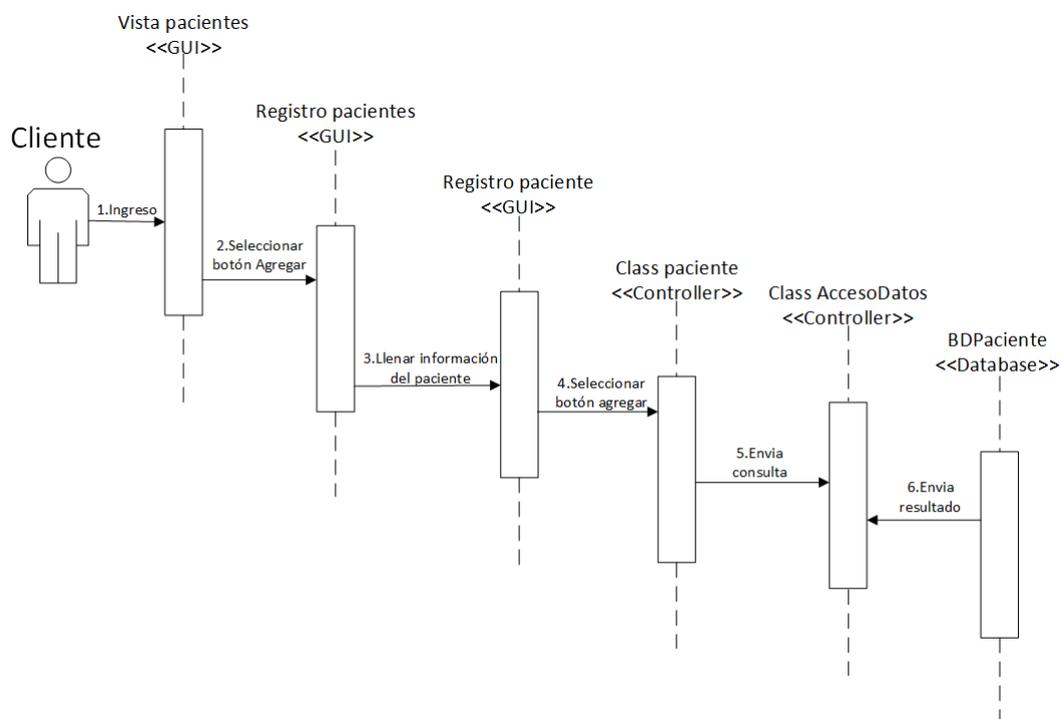


Figura 2.20: Diagrama de despliegue del caso de uso “Agregar Paciente”

Con esto se concluye los diagramas que se implementaron para desarrollar el subsistema de gestión de pacientes, finalmente en la Figura 2.21 se muestra la interfaz que se implementó sobre el entorno de desarrollo software de Visual Studio.

RegistroPaciente

Información del paciente

Nombre:

Cédula:

Fecha de nacimiento:

Genero: Zona:

Mano dominante: izquierdo derecho ambidestro

Diagnostico medico:

Mano afectada: izquierdo derecho ninguno

Dispositivo:

Acciones:

(a) Ingresar Paciente

VistaDePaciente

Paciente: Fecha:

Cedula:

Cedula	Fecha de la sesion	Observaciones	Tiempo Parcial 18	Tiempo Parcial 36
▶ 1061770968	2017/05/03		01 : 07	01 : 01
* 1061770968	2017/05/13		01 : 37	00 : 00

(b) Ingresas Sesión

VistaDePacientes

Cedula:

Cedula	Nombre	Fecha de nacimiento	Genero	Zona del Paciente	Mano dominante	Miembro Afectado	Observaciones	Dispositivo
▶ 1529263	William Lubin Rodriguez ...	1957/05/21	Masculino	Urbana	derecho	izquierdo	Inflamacion en hombro iz...	LeapMotion
1543797	Álvaro Lopez Molano	1963/11/01	Masculino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
4613465	Nestor Andres Gonzalez ...	1979/12/20	Masculino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
6463581	Marco Solarte	1962/09/03	Masculino	Urbana	derecho	derecho	Perdida parcial del indice ...	LeapMotion
7689611	Efrain Alfonso Hoyos	1971/04/26	Masculino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
10299971	Carlos Alberto Ortiz	1983/10/09	Masculino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
10305382	JULIAN DORADO VASQ...	1985/03/08	Masculino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
10489723	Jesus David Torres Delg...	1974/10/15	Masculino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
10530702	Omar Jose Sola Lopez	1955/05/19	Masculino	Urbana	derecho	ninguno	Lesion en el codo. Caída ...	LeapMotion
10538723	Jorge Eliecer Jurado Sap...	1960/11/01	Masculino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
10548134	Oscar Andres Vivas	1965/09/12	Masculino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
10720407	Jorge Castañeda	1963/10/04	Masculino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
16944573	Arbey Campo Burbano	1980/05/11	Masculino	Urbana	derecho	derecho	Fractura del brazo	LeapMotion
25271015	carmen sonia guevara idr...	1951/05/29	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
25290465	Emma Landzabal Campo	1981/01/08	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
25481928	Piedad Emilia Muñoz Pino	1962/11/08	Femenino	Urbana	derecho	derecho	Diagnostico de tunel del ...	LeapMotion
25482265	Maria Cristina Luna Muñoz	1971/06/27	Femenino	Urbana	derecho	derecho	Amibas muñecas fractura...	LeapMotion
25590392	Rubielá Eraso	1950/07/26	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
34316827	Eliana Aguilar	1981/06/21	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
34317870	Francoy Eliana Bemudez ...	1982/02/07	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
34319111	Diana Lopez	1982/12/30	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
34524809	Maria Eilyn Hoyos de Vel...	1952/12/28	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
34528443	Patricia Velasco Rodriguez	1959/12/28	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
34547482	Rosauro Bemudez Ayala	1964/11/11	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
34560574	Amalfi Chaguendo	1972/02/18	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
34570142	Sonia Lourdes Molano il...	1975/11/12	Masculino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion
34672356	Ana Guerrero	1974/05/16	Femenino	Urbana	derecho	ninguno		LeapMotion

(c) Registro de Pacientes

Figura 2.21: Interfaz Desarrollada en Visual Studio

Subsistema de prueba virtual:

Como se mencionó anteriormente, este subsistema es en donde el paciente realiza la actividad de evaluación en cada una de las sesiones, así mismo, se encarga de realizar la toma y entrega de datos a la base de datos, para entender en funcionamiento de este subsistema se procederá a especificar cada uno de los diagramas que componen su desarrollo y finalmente se mostrará la interfaz desarrollada.

Diagramas de casos de uso: En la Figura 2.22, se puede apreciar el diagrama de casos de uso que se diseñó para el subsistema de interfaz virtual, como se puede apreciar, la única actividad que se realizará en este subsistema será la de “Ejecutar prueba”, dicho caso de uso se explicará con más detalle en la Tabla 2.15.



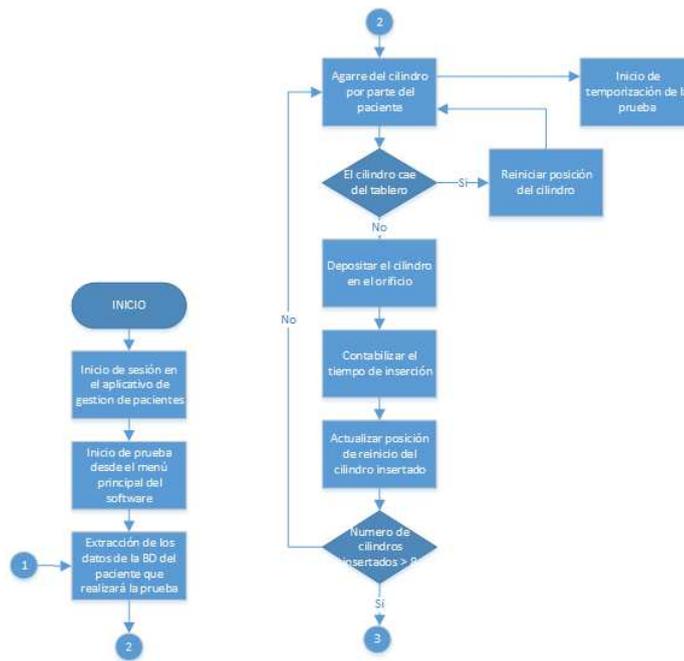
Figura 2.22: Diagrama de casos de uso del subsistema de interfaz virtual

<i>Iniciador</i>	Fisioterapeuta/ Administrador
<i>Prioridad</i>	Alta
<i>Descripción</i>	Permite al paciente realizar la actividad de evaluación así como también la toma inmediata de datos.

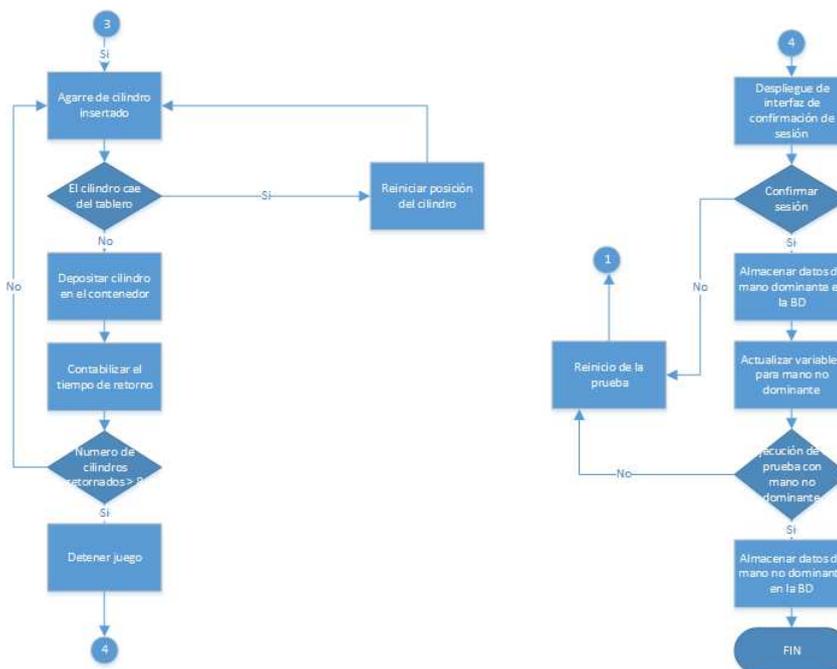
Tabla 2.15: Caso de uso “Ejecutar prueba”

Diagrama de flujo: En la Figura 2.23 se puede observar el diagrama de flujo de define el comportamiento del algoritmo del subsistema de interfaz virtual que se desarrolló, como se puede apreciar dicho subsistema sigue una serie de pasos y actividades que permiten cumplir con el objetivo especificado en el diagrama de casos de uso.

Diagramas de secuencia o progreso: En la Figura 2.24 se puede apreciar el diagrama de secuencia que se desarrolló para implementar el caso de uso del subsistema



(a) Actividades de inicio de (b) Actividades de insertar cilindros



(c) Actividades de almacenar cilindros (d) Actividades de almacenamiento de datos

Figura 2.23: Diagrama de flujo del subsistema de interfaz virtual.

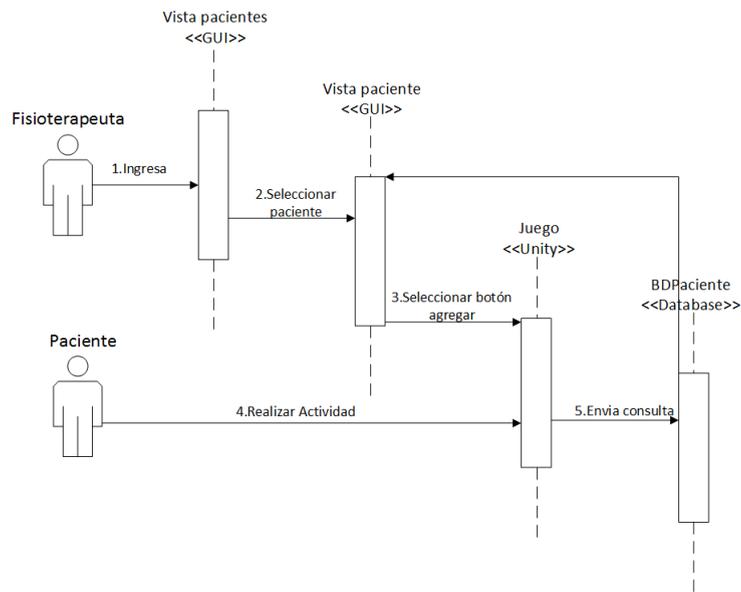


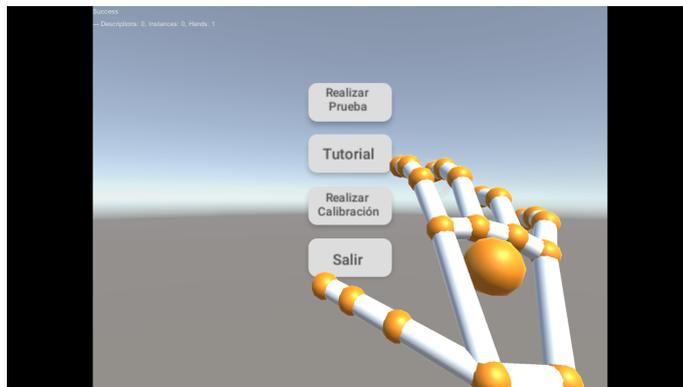
Figura 2.24: Diagrama de secuencia del caso de uso “Ejecutar Prueba”

de interfaz virtual, dicho diagrama muestra el comportamiento dinámico del sistema para poder cumplir con todos los requerimientos presentes en la actividad.

Finalmente, en la Figura 2.25 se ilustra la interfaz virtual desarrollada.



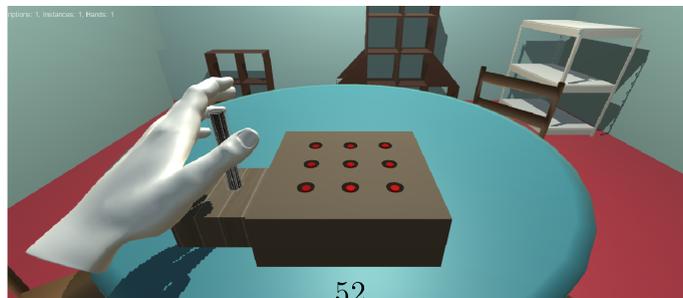
(a) Ventada de calibración



(b) Ventana de acceso



(c) Ventana mano derecha



(d) Ventana mano izquierda

Figura 2.25: Interfaz Desarrollada en Unity

Capítulo 3

Protocolo de experimentación.

Una vez se ha desarrollado la herramienta tecnológica de realidad virtual, que implemente la técnica de rehabilitación de la motricidad fina escogida, se debe seleccionar la población sobre la cual se probará ésta, para tal fin, en este capítulo se presenta lo siguiente: La población objetivo sobre la cual se implementó la herramienta; los procedimientos específicos (protocolo) bajo los cuales se desarrollaron las sesiones de evaluación tanto con la técnica de realidad virtual como con el método convencional.

3.1. Población objetivo.

Dado que el objetivo del proyecto es verificar la funcionalidad de la herramienta desarrollada para ello es necesario cumplir con los requisitos que exige el ámbito clínico el cual evalúa 3 aspectos que son [44]:

- La validez, es decir, que la herramienta mida lo que debe medir.
- La confiabilidad, es decir, que en diferentes pruebas realizadas por diferentes personas, sobre un mismo paciente bajo las mismas condiciones, la herramienta mida valores parecidos o iguales en todas.
- El mínimo cambio detectable (MCD), es decir el valor de error en la medición que presenta la herramienta debe ser mínimo.

Para estimar el valor de cumplimiento de la herramienta en estas tres propiedades psicométricas es necesario conocer primero el tiempo que le toma a personas de diferentes edades realizar la prueba con la herramienta. Con el fin de lograr este objetivo el experimento se realiza con diferentes grupos etarios, 50 personas, de las cuales se filtraron en 36 personas normales (sin ningún tipo de patología), 17 mujeres y 19 hombres, cuyas edades varían entre los 20-70 años. Los grupos están conformados de esta manera.

- Grupo 1 (G1): [20-30] años, 10 personas.
- Grupo 2 (G2): [31-40] años, 8 personas.
- Grupo 3 (G3): [41-50] años, 6 personas.
- Grupo 4 (G4): [51-60] años, 7 personas.
- Grupo 5 (G5): [61-70] años, 5 personas.

Esta población se determinó así, pues se busca establecer los tiempos promedio que le toma a cada grupo realizar la prueba en físico y en la herramienta, con el fin de probar si existe alguna relación y además dar cumplimiento a las propiedades antes mencionadas.

3.2. Caracterización de las sesiones de evaluación.

Debido a que las dimensiones antropométricas de cada persona son variantes (no solo dependen del género sino que también varían conforme la edad y condiciones específicas), es necesario realizar un protocolo que permita evaluar de forma objetiva y equitativa a cada persona que utiliza la herramienta. Para ello, se establecieron los siguientes parámetros o condiciones fijas al realizar la sesión de evaluación tanto con la herramienta tecnológica como con el método convencional.

Para la ejecución del experimento se tomó en cuenta la arbitrariedad en la realización del Test de manera física y virtual. Para ello se realizó el lanzamiento de una moneda,

cuyo valor indicaría en qué orden se ejecutaría la prueba, por ejemplo, si al lanzar la moneda cae sello, el usuario deberá ejecutar la prueba convencional (prueba física) primero y seguido a ello, la prueba de forma virtual; si cae cara, el usuario deberá ejecutar las pruebas en orden contrario.

Evaluación con el método convencional.

Para realizar las sesiones de evaluación por el método tradicional fue necesario elaborar el dispositivo que permitiera implementar dicha actividad, este dispositivo se aprecia en la Figura 3.1.



Figura 3.1: Dispositivo para implementar método tradicional

El dispositivo elaborado cuenta con todas las medidas que se indican en el estándar del *test nine hole peg*, las cuales se pueden apreciar en la base de datos consultada [28]; así mismo, para realizar la prueba se siguieron todos los procedimientos que se estipulan en dicho estándar, para así tener una comparación estandarizada de la actividad.

Evaluación con la herramienta tecnológica.

- La distancia horizontal y vertical entre la pantalla donde se despliega la aplicación y el dispositivo *Leap Motion* es de 11 cm y 23 cm respectivamente.
- La pantalla debe estar a la vista del usuario de tal forma que se sienta cómodo y pueda observar fácilmente los objetivos de la prueba.
- Uso de una silla hidráulica con ruedas, de tal forma que se pueda regular la altura del usuario respecto al dispositivo Leap Motion y la pantalla, y la distancia horizontal con los mismos.

En las Figuras 3.2 y 3.3 se puede apreciar la posición del usuario y del dispositivo respectivamente en las sesiones de evaluación.

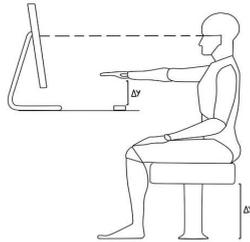


Figura 3.2: Posicionamiento del paciente.

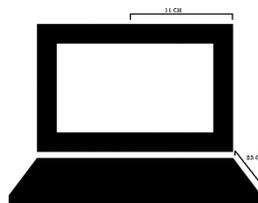


Figura 3.3: Posicionamiento del dispositivo.

Con base en la premisa anterior, se lleva a cabo la creación de una escena en el entorno virtual de Unity que permite ubicar espacialmente al usuario, de tal forma que se pueda alcanzar el rango del movimiento requerido para la prueba, sin necesidad de generar movimientos compensatorios no deseados como el movimiento en el torso

por parte del usuario, en la Figura 3.4 se puede apreciar la interfaz que realiza dicho procedimiento.



Figura 3.4: Interfaz de calibración

La tarea consiste en ubicar la mano a una distancia/altura específica específica, de tal forma que esta se posicione en el área de trabajo del entorno virtual, y realizar una secuencia de desplazamientos horizontales y verticales. El objetivo dentro de la escena es tocar, con la mano virtual, cinco objetivos ubicados en el área de trabajo del dispositivo: dos en el eje Z, dos en el eje X y uno en el eje Y. Si el usuario es capaz de tocar dichos objetivos en la escena sin necesidad de desplazar el torso de su posición inicial, la ubicación del usuario es la apropiada y por consiguiente puede llevar a cabo la prueba; en caso contrario es necesario re-ubicar la altura y la distancia del paciente respecto al dispositivo y la pantalla, antes de ejecutar la prueba.

Capítulo 4

Análisis de los resultado.

En este capítulo se aborda todo el análisis de los resultados obtenidos de la implementación de la técnica de realidad virtual y el método tradicional, para ello, se recurre al uso de diagramas de cajas y bigotes, cabe aclarar que para fines prácticos el análisis se realizó sobre los tiempos promedios de los rangos de edades estipulados en la sección 3.1, igualmente, se realiza el análisis de los datos basándose en 3 hipótesis: 1. A mayor edad mayor tiempo promedio tardan los usuarios en culminar la prueba. 2. Las mujeres realizan la prueba de forma mas rápida que los hombres. 3. Los usuarios realizan la prueba mas rápido con la mano dominante que con la mano no dominante. Además, se desarrolla el análisis comparativo de las sesiones de evaluación con los diferentes métodos (método tradicional y método virtual), seguidamente, una normalización de los tiempos promedios que tarda una persona sin patología de miembro superior en realizar la prueba con el método virtual; y finalmente algunas observaciones que se obtuvieron al realizar dicha implementación.

4.1. Análisis de los resultados.

En esta sección se realiza todo el análisis correspondiente a los tiempos obtenidos en las sesiones de evaluación tanto para el método tradicional y como para el método virtual, para ello es necesario aclarar algunos aspectos:

- Los tiempos que se utilizan para el análisis, son los promedios de los diferentes rangos de edad, es decir, se sacó el promedio de tiempo que tardaba cada uno de los grupos (G1, G2, G3, G4, G5) y se realiza el análisis con el resultado de esta operación.
- Para realizar un análisis más detallado se recurre al uso de diagramas de cajas y bigotes, este permite evidenciar la agrupación de tiempos promedios obtenida por medio de 3 cuartiles, donde, el primer cuartil hace referencia al valor que está por encima del 25 % del total de datos, el segundo cuartil hace referencia al dato medio (mediana), es decir, el dato que está en el 50 % del total, finalmente el cuartil tercer representa el valor que está por encima del 75 % del total de los datos, además, este diagrama permite evidenciar los valores máximos y mínimos que toma cada uno de los "conjuntos" de tiempos promedios obtenidos y los valores que son atípicos.
- Para comprobar la veracidad de las hipótesis planteadas se divide esta sección en 3 subsecciones donde: En primer lugar se hace el análisis por edades; posteriormente se hace el análisis por género (masculino y femenino); finalmente se hace el análisis entre mano dominante y mano no dominante.

Análisis de los datos por rango de edad.

A continuación, se llevará a cabo el análisis de los tiempos promedios por rango de edad obtenidos con ambos métodos (tradicional y virtual), con el fin de verificar la veracidad de la primera hipótesis, la cual es, a mayor edad mayor tiempo promedio tardan los usuarios en culminar la prueba, para este fin, se hace uso del diagrama de cajas y bigotes para ambos métodos y finalmente un análisis de correlación que permite evidenciar si dicha hipótesis es verdadera o no.

Análisis de los tiempos por el método tradicional

A continuación se presenta por medio de una tabla el tiempo promedio de los datos obtenidos en las sesiones de evaluación con los diferentes pacientes cuando realizaron

la prueba con método tradicional, se debe aclarar que se han agrupado los datos en 5 grupos etareos con un rango de 10 años cada uno, es decir, un grupo de 20 años a 30 años y así sucesivamente, en la Tabla 4.1 se muestran los datos obtenidos.

<i>Rango de Edad.</i>	<i>Tiempo con la mano dominante (seg).</i>	<i>Tiempo con mano no dominante (seg).</i>
20-30	24.7660 +/- 3.7873	23.4980 +/- 2.3321
31-40	21.5063 +/- 2.9269	21.1488 +/- 1.7345
41-50	23.3517 +/- 3.1801	23.5150 +/- 3.3211
51-60	24.8871 +/- 1.7897	22.6286 +/- 3.0316
61-70	26.0200 +/- 5.5922	23.3780 +/- 5.0199

Tabla 4.1: Datos Promedios Generales con la caja.

Así mismo, en la Figura 4.1 se realiza la gráfica de bigotes y cajas en la cual se hace una relación de las edades y los tiempos promedios requeridos para finalizar la prueba con cada mano.

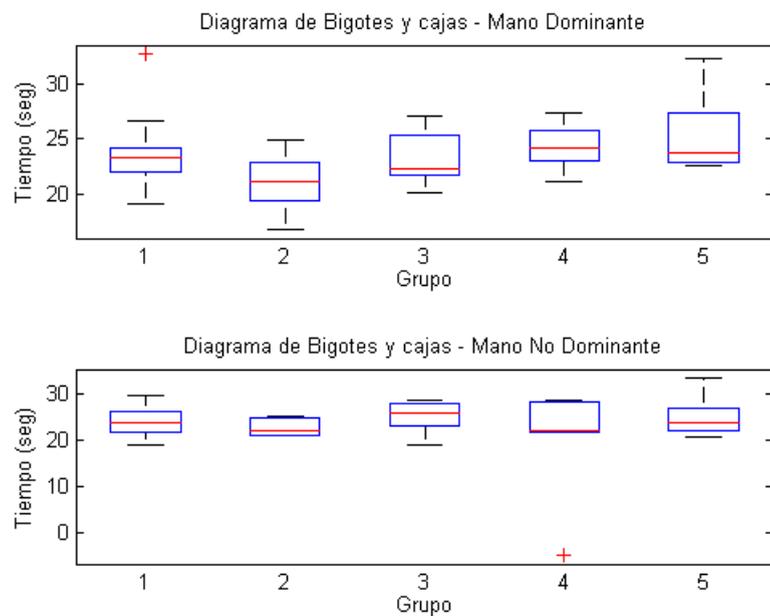


Figura 4.1: Gráfico de Bigotes y Cajas de tiempos promedios generales con la caja.

Como se puede apreciar en la Figura 4.1, permite ver que en general para rangos de edad más jóvenes resulta más sencillo realizar la prueba, es decir, la hacen más rápido que para rangos de edades más avanzados, sin embargo, para el grupo más joven (20-30 años), el tiempo de ejecución de la prueba fue mayor, esto debido a parámetros como el estrés ocasionado por la contabilización de tiempo pues dicho conteo, generó en las personas cierto grado de competitividad ocasionando penalizaciones de tiempo por cilindros caídos o mal insertados. Adicionalmente, el ejercicio requiere de un nivel de paciencia el cual los impetus de la juventud atropella.

Finalmente, se puede apreciar de forma más clara la agrupación de los datos obtenidos, a partir de estos valores, y a las observaciones realizadas durante la ejecución del experimento, se analiza que para algunas personas, debido a su composición física (tamaño, grosos de los dedos, tamaño de las manos), el test resulta más complicado de llevar a cabo debido a la dificultad que presentan al sostener y posicionar los cilindros.

Análisis de datos obtenidos con la herramienta de realidad virtual.

A continuación, se presentara por medio de una tabla el tiempo promedio de los datos obtenidos en las sesiones de evaluación con los diferentes usuarios cuando realizaron la prueba con la herramienta de realidad virtual, de igual forma, se procede a realizar el diagrama de cajas y bigotes para analizar el comportamiento de los datos, la Tabla 4.2 y la Figura 4.2 representan el comportamiento de los datos obtenidos:

<i>Rango de Edad.</i>	<i>Tiempo con la mano dominante (seg).</i>	<i>Tiempo con mano no dominante (seg).</i>
20-30	207.5000 +/- 59.8076	228.3000 +/- 116.0221
31-40	180.5000 +/- 86.5415	222.7500 +/- 126.0247
41-50	238.6667 +/- 103.5986	265.0000 +/- 94.7481
51-60	269.1429 +/- 68.7712	277.5714 +/- 156.3595
61-70	299.2000 +/- 56.2468	315.8000 +/- 141.3443

Tabla 4.2: Datos Promedios Generales con la herramienta.

Como se puede apreciar en la Figura 4.2 hay algunos elementos que son importantes resaltar, ellos son: Se puede apreciar que para rangos de edades más jóvenes el tiempo

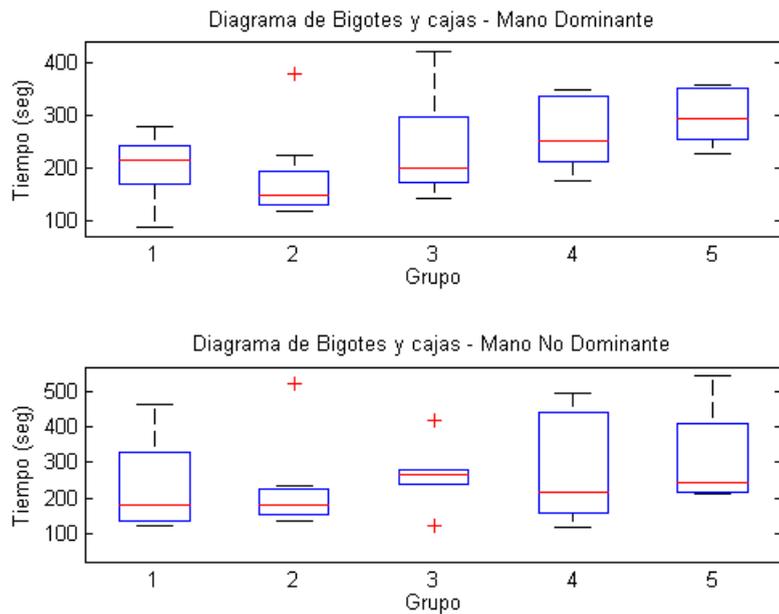


Figura 4.2: Gráfico de cajas y bigotes Generales con la herramienta

de ejecución de la prueba es menor en comparación con con rangos más avanzados, sin embargo, factores como tener experiencias previas en ese tipo de herramientas (entornos virtuales) pueden afectar dicho resultado.

Adicionalmente, se puede apreciar la dispersión de los datos obtenidos, en esta, se puede observar que en los usuarios más jóvenes la dispersión presente en su mano no dominante es mucho menos que la que se evidencia en la mano dominante, sin embargo, los usuarios de edad más avanzada demostraron un comportamiento totalmente contrario, esto puede deberse a que a los usuarios más jóvenes se les facilita el aprendizaje en el uso de este tipo de herramientas.

Análisis de correlación.

En la Figura 4.3 se ilustra el gráfico que permite evidenciar la correlación existente entre el tiempo promedio de ejecución de la prueba de los pacientes agrupados en los rangos de edad respectivos.

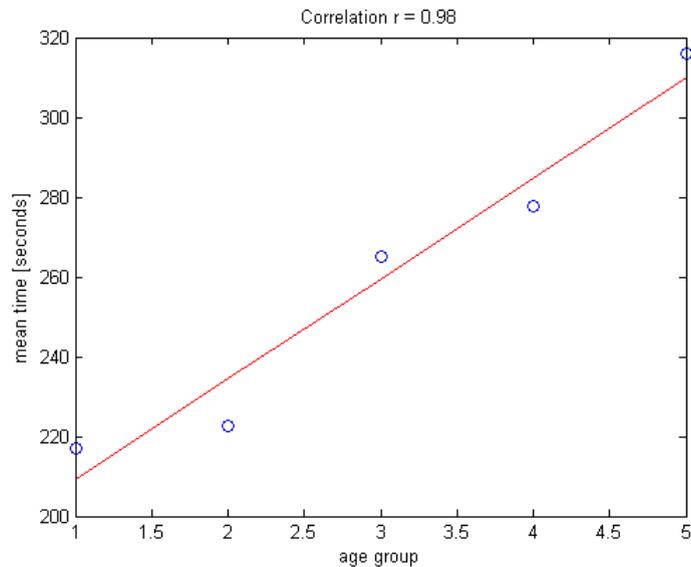


Figura 4.3: Gráfico de Correlación Tiempo Vs Edad

Como se puede apreciar en la Figura 4.3 el valor de correlación Tiempo Vs Edad es de $r = +0.98$, esto indica que los datos se ajustan a la recta graficada, lo cual implica que a mayor edad más tiempo demoran los usuarios en realizar la prueba. Esto verifica la primera hipótesis planteada, en donde se afirma que, a mayor edad mayor sera el tiempo que le tarde a un usuario realizar la prueba.

Análisis de los datos por género.

A continuación, se llevara a cabo el análisis de los tiempos promedios por genero (masculino y femenino) con ambos métodos (tradicional y virtual), con el fin de verificar la veracidad de la segunda hipótesis, la cual describe que, las mujeres realizan la prueba de forma mas rápida que los hombres, para este fin, se hace uso de la prueba de los rangos con signo de *Wilcoxon*, la cual es una prueba no paramétrica para comparar el rango medio de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas.

Análisis de los datos con los metodos tradicional y virtual.

En la Tabla 4.3 se muestran los resultados obtenidos por hombres y mujeres en la prueba física.

	Mujeres	Hombres
Mano dominante	23.52 +/- 4.16	24.71 +/- 3.14
Mano no dominante	25.11 +/- 3.25	25.94 +/- 3.20

Tabla 4.3: Tiempo requerido por hombres y mujeres para completar la prueba física.

En la Tabla 4.4 se muestran los resultados obtenidos por hombres y mujeres en las pruebas virtual.

	Mujeres	Hombres
Mano dominante	206.00 +/- 73.81	254.16 +/- 85.32
Mano no dominante	237.41 +/- 117.54	270.58 +/- 131.44

Tabla 4.4: Tiempo requerido por hombres y mujeres para completar la prueba virtual.

De los datos calculados y el análisis correspondiente se concluyó que solo en el caso de la prueba virtual con mano dominante se encontró que los tiempos empleados por las mujeres eran significativamente menores que los de los hombres. En los demás casos, la evidencia experimental no permitió refutar la hipótesis nula de que los tiempos empleados por hombres y mujeres son iguales.

Análisis de los datos con respecto a la mano.

A continuación, se llevara a cabo el análisis de los tiempos promedios segun la mano del usuario (dominante y no dominante) para los dos métodos (tradicional y virtual), con el fin de verificar la veracidad de la tercera hipótesis, la cual afirma que, los usuarios realizan la prueba mas rápido con la mano dominante que con la mano no dominante, para este fin, se hace uso de la prueba de los rangos con signo de *Wilcoxon*.

En la Tabla 4.5 se presentan los tiempos requeridos para completar las pruebas física y virtual con la mano dominante y la no dominante.

	Prueba física (segundos)	Prueba virtual (segundos)
Mano dominante	24.16 +/- 3.65	231.41 +/- 82.64
Mano no dominante	25.56 +/- 3.21	254.92 +/- 124.43

Tabla 4.5: Tiempo requerido para completar las pruebas física y virtual con la mano dominante y la no dominante.

Al aplicar la prueba de Wilcoxon se encontró que los tiempos requeridos por los 36 participantes para completar la prueba física con la mano dominante eran significativamente menores ($p=0.0210$) que los obtenidos con la mano no dominante. En contraposición, para la prueba virtual no se encontró que estas diferencias fueran significativas.

Comparación y normalización.

Esta parte consta de dos subsecciones, una primera subsección, en la que se lleva a cabo la comparación de los métodos utilizados en el proyecto (realidad virtual con *leap motion* y el método convencional) con el fin de dar cumplimiento al último objetivo específico. Además, se realiza la normalización de los tiempos en los cuales se considera un usuario sano debe realizar la prueba con la herramienta de realidad virtual, esto con el fin de dar respuesta a las propiedades psicométricas mencionadas en la sección 3.1.

Comparación entre el método virtual y el convencional:

A continuación se llevara a cabo la comparación de los dos métodos con los que se realizaron las sesiones de evaluación, para ello, se graficaron los puntos de los tiempos de ejecución de la prueba de forma virtual y tradicional. Con base en ello se realizó un análisis de regresión lineal mostrado en la Figura 4.4 obteniendo un valor de correlación de 0.18.

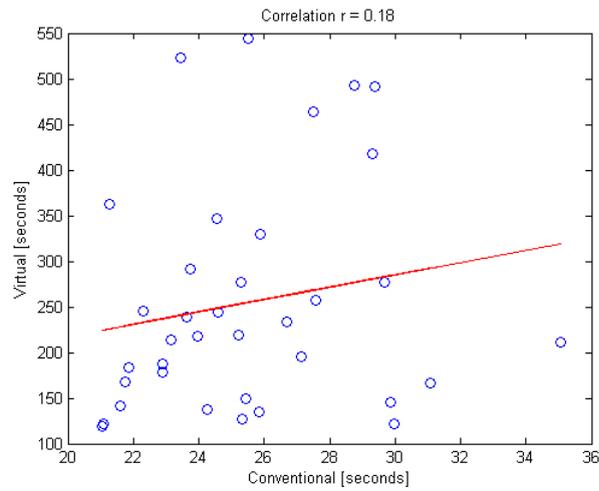


Figura 4.4: Gráfico de Correlación entre los dos métodos.

Al graficar los puntos, se esperaría que estuviesen ubicados en los cuadrantes descritos por la línea punteada en azul de la Figura 4.5. Puesto que a una persona que le tome tiempo realizar la prueba tradicional, debería tomarle tiempo realizar la prueba de forma virtual y viceversa, sin embargo existen puntos (los encerrados en círculos rojos), que presentan un comportamiento diferente, lo cual deja incógnitas que se tratarán en la sección de Conclusiones y trabajos futuros.

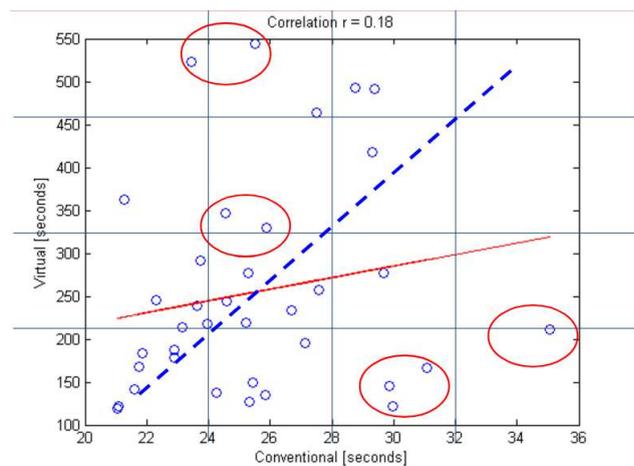


Figura 4.5: Gráfico esperado de Correlación entre los métodos.

Normalización de tiempos para realizar la prueba:

A continuación se definirán los tiempos en los cuales un usuario sano debe realizar la prueba, esto con el fin de dar cumplimiento a las propiedades de validez, confiabilidad y MCD, para ello se recurre a la Tabla 4.2, en la cual se obtuvieron los tiempos en los que la población prueba realizó las sesiones de evaluación, de esta manera, se definen como tiempos, los presentes en dicha tabla, esto implica que si un paciente no sano, realiza la prueba en un tiempo equivalente al correspondiente a la tabla el procedimiento de rehabilitación está teniendo resultados favorables, sin embargo, para obtener una normalización más confiable, precisa e objetiva es necesario ampliar el número de usuarios sobre los cuales se realizan las sesiones de evaluación teniendo en cuenta que exista una amplia variedad en edades, con el fin de obtener tiempos promedios suficientes para cada rango de edad.

4.2. Observaciones.

En esta sección se mencionaran los comportamientos, cualidades o características que resultaron ser llamativas e interesantes al realizar la implementación de la herramienta de realidad virtual, estas son:

- Se nota que a pesar de que se realizó un diseño que hiciera que la herramienta fuese fácil de utilizar, a gran parte de los usuarios se les dificultaba poner los cilindros en los orificios, esto debido a la dificultad que tiene el usuario en manejo dentro de la interfaz virtual.
- El realizar la prueba por un tiempo demasiado prolongado, genera un cansancio no solo ocular, sino también físico en el brazo que está realizándola.
- Un factor que ocasionó que el sistema presentará fallos, fue el uso de sacos demasiado gruesos y de manga larga, esto distorsionaba la interfaz virtual y hacía que la prueba fuese más compleja.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajos futuros.

En este capítulo se darán a conocer las conclusiones producto del análisis de los datos obtenidos, con el fin de dar respuesta a la pregunta de investigación; además, se mencionaran los trabajos futuros que se formulan con base en este proyecto.

5.1. Conclusiones.

- Al igual que con el estándar definido en la base de datos de *Rehab Measures*, el tiempo promedio de ejecución de la prueba con la herramienta virtual incrementa conforme incrementa la edad de la persona. Esto se evidencia en la Figura 4.3, donde se comprueba la linealidad en la correlación Tiempo promedio vs Grupo (por rango de edad) para cada uno de los casos realizados
- Con base en la Figura 4.4, queda a discusión si la herramienta virtual mide la habilidad motriz de la persona, puesto que el valor de la correlación entre los tiempos de la herramienta virtual y la prueba tradicional es muy baja.
- Se comprueba que el factor concentración en la interfaz virtual juega un papel muy importante, es decir, que tanto se puede lograr que el paciente se sienta inmerso en la interfaz le permitirá a este desarrollar la prueba con mejores resultados. Se debe tener en cuenta que este factor, así como la orientación

espacial dentro de la interfaz, varía de persona en persona por lo que dispositivos como gafas o cascos de realidad virtual podrían facilitar el proceso de inmersión.

5.2. Trabajos futuros.

Como trabajo futuro se tiene previsto continuar estudiando la validez del test seleccionado *Nine-Hole Peg*-virtual comparando sus resultados con otros instrumentos diseñados para el mismo propósito como *Box and Block Test* y *Action Research Arm Test*. En caso de obtener resultados positivos se procederá a evaluar la fiabilidad tanto inter evaluador como test-retest y el mínimo cambio detectable.

Bibliografía

- [1] M. M. Collazos, *Manual de enfermedades cerebro vasculares.*, Asociacion Colombiana de Neurologia. [Online]. Available: <http://www.acnweb.org/guia/g1c12i.pdf>
- [2] R. W. Teasell and L. Kalra, “Whats new in stroke rehabilitation,” *Stroke*, vol. 35, no. 2, pp. 383–385, 2004.
- [3] A. Calderón-Bernal, R. C. de la Cuerda, I. Alguacil-Diego, F. Molina-Rueda, A. Cuesta-Gómez, and J. Miangolarra-Page, “Terapia robótica para la rehabilitación de la marcha en patología neurológica,” *Rehabilitación*, vol. 49, no. 3, pp. 177 – 192, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048712014001583>
- [4] J. Martin-Martin, A. I. Cuesta-Vargas, and M. T. Labajos-Manzanares, “Efectividad clínica de la intervención terapéutica sobre la mano con realidad virtual en sujetos hemipléjicos: revisión sistemática,” *Fisioterapia*, vol. 37, no. 1, pp. 27 – 34, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0211563814000443>
- [5] Y.-C. Wang, R. W. Bohannon, J. Kapellusch, A. Garg, and R. C. Gershon, “Dexterity as measured with the 9-hole peg test (9-hpt) across the age span,” *Journal of Hand Therapy*, vol. 28, no. 1, pp. 53 – 60, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0894113014001318>
- [6] G. Johansson, H. Grip, and C. Hager, “Introducing a standardized nine hole peg test in persons with stroke kinematic analysis,” *GaitPosture*, vol.

- 42 Supplement 3, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636215001812>
- [7] C. Sollerman and A. Ejleskar, "Sollerman hand function test: A standardised method and its use in tetraplegic patients," *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery*, vol. 29, no. 2, pp. 167–176, 1995, pMID: 7569815. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3109/02844319509034334>
- [8] C. Brogårdh, A. L. Persson, and B. H. Sjölund, "Intra- and inter-rater reliability of the sollerman hand function test in patients with chronic stroke," *Disability and Rehabilitation*, vol. 29, no. 2, pp. 145–154, 2007, pMID: 17364764. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/09638280600747603>
- [9] B. Ellis and A. Bruton, "A study to compare the reliability of composite finger flexion with goniometry for measurement of range of motion in the hand," *Clinical Rehabilitation*, vol. 16, no. 5, pp. 562–570, 2002.
- [10] J. Wang, G. Erlandsson, Y. jun Rui, and X. hong Xu, "Composite flexion splint for the stiff hand," *Journal of Hand Therapy*, vol. 24, no. 1, pp. 66 – 68, 2011. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0894113010001857>
- [11] R. H. Jebsen, N. Taylor, R. Trieschmann, M. J. Trotter, and L. A. Howard, "An objective and standardized test of hand function." *Archives of physical medicine and rehabilitation*, vol. 50, no. 6, p. 311, 1969.
- [12] E. D. Sears and K. C. Chung, "Validity and responsiveness of the jebsen–taylor hand function test," *The Journal of Hand Surgery*, vol. 35, no. 1, pp. 30 – 37, 2010. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0363502309007588>
- [13] T. S. Mañó, J. R. S. Terrádez, J. M. Tomás, J. C. M. Moral, T. de la Fuente Fernández, and C. C. José, "Electroestimulación en el tratamiento de la mano hemipléjica espástica después de un ictus: estudio aleatorizado," *Medicina Clínica*, vol. 137, no. 7, pp. 297 – 301, 2011. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025775311000431>

- [14] M. K.-l. Chan, R. K.-y. Tong, and K. Y.-k. Chung, "Bilateral upper limb training with functional electric stimulation in patients with chronic stroke," *Neurorehabilitation and Neural Repair*, vol. 23, no. 4, pp. 357–365, 2009.
- [15] J. Powell, A. D. Pandyan, M. Granat, M. Cameron, and D. J. Stott, "Electrical stimulation of wrist extensors in poststroke hemiplegia," *Stroke*, vol. 30, no. 7, pp. 1384–1389, 1999. [Online]. Available: <http://stroke.ahajournals.org/content/30/7/1384>
- [16] M.-L. Chang and C.-H. Shih, "Improving fine motor activities of people with disabilities by using the response-stimulation strategy with a standard keyboard," *Research in Developmental Disabilities*, vol. 35, no. 8, pp. 1863 – 1867, 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891422214001607>
- [17] N. Short, R. Harmsen, G. Kjellgren, C. O'Neill, H. Pinney, A. D. Rivera, and V. Warnaar, "Use of dextera application to improve fine motor coordination in the nondominant hand," *Journal of Hand Therapy*, pp.–, 2016. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0894113016300382>
- [18] D. Levis, *Que es la realidad virtual*, D. Levis, Ed. Diego Levis, 2006. [Online]. Available: http://www.diegolevis.com.ar/secciones/Articulos/Que_es_RV.pdf
- [19] R. M. Ayala, "Realidad virtual," *ACTA(Autores científicos-tecnicos y academicos)*, p. 59, 2011. [Online]. Available: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/001049.pdf
- [20] D. A. D. Ruiz, D. A. A. L. Calles, and I. R. Ramírez, "No. 81 realidad virtual como terapia complementaria en el tratamiento de pacientes con parálisis cerebral infantil en edad escolar," *PM&R*, vol. 6, no. 8, pp. S111 – S112, 2014, 8th World Congress of the International Society of Physical & Rehabilitation Medicine (ISPRM). [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1934148214005863>
- [21] M. Y. Sebastián, M. Y. Sebastián, A. L. Amiano, and M. S. Rubio, "Los videojuegos en el tratamiento fisioterápico de la parálisis cerebral,"

- Fisioterapia*, vol. 38, no. 6, pp. 295 – 302, 2016. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0211563816000079>
- [22] S. Viñas-Diz and M. Sobrido-Prieto, “Realidad virtual con fines terapéuticos en pacientes con ictus: revisión sistemática,” *Neurología*, vol. 31, no. 4, pp. 255 – 277, 2016. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213485315001632>
- [23] E. M. Pereira, F. M. Rueda, I. A. Diego, R. C. de la Cuerda, A. de Mauro, and J. M. Page, “Empleo de sistemas de realidad virtual como método de propiocepción en parálisis cerebral: guía de práctica clínica,” *Neurología*, vol. 29, no. 9, pp. 550 – 559, 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213485312000047>
- [24] E. Chiner, “La fiabilidad,” *Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante*, 2007. [Online]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19380/23/Tema%205-Fiabilidad.pdf>
- [25] RehabmeasuresDextery. Functional dextery test. [Online]. Available: <http://www.rehabmeasures.org/Lists/RehabMeasures/PrintView.aspx?ID=1260>
- [26] RehabmeasuresMAS. Motor assessment scale. [Online]. Available: <http://www.rehabmeasures.org/Lists/RehabMeasures/PrintView.aspx?ID=924>
- [27] RehabmeasuresARAT. Action research arm test. [Online]. Available: <http://www.rehabmeasures.org/Lists/RehabMeasures/PrintView.aspx?ID=951>
- [28] RehabmeasuresNHP. Nine-hole peg test. [Online]. Available: <http://www.rehabmeasures.org/Lists/RehabMeasures/PrintView.aspx?ID=1144>
- [29] RehabmeasuresSollerman. Sollerman hand function test. [Online]. Available: <http://www.rehabmeasures.org/Lists/RehabMeasures/PrintView.aspx?ID=1035>
- [30] RehabmeasuresJebsen. Jebsen hand function test. [Online]. Available: <http://www.rehabmeasures.org/Lists/RehabMeasures/PrintView.aspx?ID=1025>
- [31] RehabmeasuresCDT. Clock drawing test. [Online]. Available: <http://www.rehabmeasures.org/Lists/RehabMeasures/PrintView.aspx?ID=907>

- [32] RehabmeasuresBBT. Box and block test. [Online]. Available: <http://www.rehabmeasures.org/Lists/RehabMeasures/PrintView.aspx?ID=917>
- [33] B. Nedelec, K. Dion, J. A. Correa, and J. Desrosiers, “Upper extremity performance test for the elderly (tempa): Normative data for young adults,” *Journal of Hand Therapy*, vol. 24, no. 1, pp. 31 – 43, 2011. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0894113010000979>
- [34] D. E. Beaton, J. N. Katz, A. H. Fossel, J. G. Wright, V. Tarasuk, and C. Bombardier, “Measuring the whole or the parts?: Validity, reliability, and responsiveness of the disabilities of the arm, shoulder and hand outcome measure in different regions of the upper extremity,” *Journal of Hand Therapy*, vol. 14, no. 2, pp. 128–142, 2001.
- [35] K. C. Chung, M. S. Pillsbury, M. R. Walters, and R. A. Hayward, “Reliability and validity testing of the michigan hand outcomes questionnaire,” *The Journal of Hand Surgery*, vol. 23, no. 4, pp. 575 – 587, 1998. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0363502398800427>
- [36] H. Pascal-Moussellard, S. Olindo, and Y. Catonné, “4:28110. evaluation of upper-extremity motor function in cervical myelopathy by the nine hole peg test,” *The Spine Journal*, vol. 6, no. 5, p. 54S, 2006, proceedings of the North American Spine Society 21st Annual Meeting. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S152994300600458X>
- [37] G. Johansson, H. Grip, and C. Häger, “Introducing a standardized nine hole peg test in persons with stroke – kinematic analysis,” *Gait & Posture*, vol. 42, p. S57, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636215001812>
- [38] J. M. V. Andrés Navarro Cadavid, Juan Daniel Fernández Martínez, “Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software,” *Prospect*, vol. 11, no. 2, p. 39, december 2013.
- [39] J. Garzas. (2012) Encuesta sobre el estado de lo agil. [Online]. Available: <http://www.javiergarzas.com/2012/02/encuesta-agil-2011.html>.

- [40] J. Sutherland and K. Schwaber, “The scrum guide,” *The definitive guide to Scrum: The rules of the game*, 2016. [Online]. Available: <http://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2016/2016-Scrum-Guide-US.pdf>
- [41] Scrumorg. (2017) ¿que es una metodología Ágil? [Online]. Available: <http://metodologiascrum.readthedocs.io/en/latest/Scrum.html>
- [42] S. Technologies. (2015) Un proyecto pensado para cambiar el mundo. [Online]. Available: <http://blog.showleap.com/category/leap-motion/>
- [43] Unity. (2017) Manual de unity. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/index.html>
- [44] L. A. Connell and S. F. Tyson, “Clinical reality of measuring upper-limb ability in neurologic conditions: A systematic review,” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 93, no. 2, pp. 221 – 228, 2012. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003999311008471>