



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN
INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
TECNOLÓGICO MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL, PARA LA
REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ALTERACIONES
NEUROLÓGICAS EN EXTREMIDADES INFERIORES”**

**AUTORES: HAMILTON ALEXANDER ANGUETA PACHECO
CRISTIAN FERNANDO HERNÁNDEZ FUELTALA**

DIRECTOR: ING. MARCO PILATASIG

LATACUNGA

2017



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TECNOLÓGICO MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL, PARA LA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ALTERACIONES NEUROLÓGICAS EN EXTREMIDADES INFERIORES”** realizado por **ANGUETA PACHECO HAMILTON ALEXANDER** y **HERNÁNDEZ FUELTALA CRISTIAN FERNANDO** ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a **ANGUETA PACHECO HAMILTON ALEXANDER** y **HERNÁNDEZ FUELTALA CRISTIAN FERNANDO** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 10 de agosto del 2017

Ing. Marco Antonio Pilatasig Panchi

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **HAMILTON ALEXANDER ANGUETA PACHECO** y **CRISTIAN FERNANDO HERNANDEZ FUELTALA**, con cédula de ciudadanía N° 0503775355 y N° 0401477500, respectivamente, declaramos que éste trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TECNOLÓGICO MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL, PARA LA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ALTERACIONES NEUROLÓGICAS EN EXTREMIDADES INFERIORES”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 10 de agosto del 2017

Hamilton Alexander Angueta P
C.C.: 0503775355

Cristian Fernando Hernández
C.C.: 0401477500



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **HAMILTON ALEXANDER ANGUETA PACHECO** y **CRISTIAN FERNANDO HERNANDEZ FUELTALA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la Institución el presente trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TECNOLÓGICO MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL, PARA LA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ALTERACIONES NEUROLÓGICAS EN EXTREMIDADES INFERIORES”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 10 de agosto del 2017

Hamilton Alexander Angueta P.
C.C.: 0503775355

Cristian Fernando Hernández
C.C.: 0401477500

DEDICATORIA

A Dios.

Por permitirme tener una hermosa familia, además colmarme de salud para cumplir mis objetivos y una de las metas más importantes en mi vida.

A mi madre Elizabeth.

Por su apoyo incondicional en todo momento, su cariño, su amor, su dedicación, sus consejos, sus regaños y la perseverancia para ser una persona de bien y una contribución para la sociedad.

A mi padre Wilson.

Por el ejemplo de responsabilidad y perseverancia que lo caracterizan y que siempre me ha tratado de inculcar, así como también por el apoyo incondicional para cumplir esta meta.

A mis hermanos Aldair y Jair

Por el apoyo respeto y admiración que me brindan causando así ser una mejor persona todos los días.

A mis familiares y amigos.

Por ser parte de este proceso y siempre tener palabras de aliento para cumplir esta meta.

HAMILTON ANGUETA

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la vida por permitirme tener una familia con la cual he pasado hermosos, así como también difíciles momentos.

A mis padres y hermanos por la comprensión, paciencia y apoyo brindado en todo este tiempo para cumplir una meta muy importante en mi vida.

A mis familiares y amigos por las palabras de aliento en momentos difíciles.

Al Ing. Marco Pilatasig por ser un excelente guía académico y saber enrumbarnos para cumplir el objetivo.

HAMILTON ANGUETA

DEDICATORIA

A Dios.

Por darme la vida, la fuerza para luchar cada día, los padres y hermanos increíbles con los que crecí y todos los pequeños detalles que hicieron esto posible.

A mis padres.

Por su infinito amor, las constantes palabras de aliento y los incontables sacrificios que tuvieron que hacer para poder ayudarme.

A mis hermanos.

Por hacer de mi infancia el más bonito recuerdo, por horas y horas de charlas y burlas, por ser mis mejores amigos.

A mis familiares y amigos.

Por estar al pendiente de mí en este proceso, por cada palabra de aliento y estar al pendiente en cada cosa para ayudarme.

CRISTIAN HERNANDEZ

AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

CRISTIAN HERNANDEZ

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA.....	1
1.1. Prólogo	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Antecedentes.....	2
1.4. Justificación	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5

CAPÍTULO II

2. MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO	6
2.1. Marco contextual	6
2.2. Objeto de la investigación.....	6
2.2.1. Descripción de objeto de investigación	7
2.3. Marco Teórico.....	8
2.3.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.3.2. Fundamentación legal.....	9
2.3.3. Fundamentación teórica.....	10

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA.....	24
3.1. Caracterización.....	24
3.2. Modalidad de la investigación.....	33
3.3. Tipos de investigación	34
3.4. Desarrollo de la investigación.....	35
3.5. Niveles de investigación	38
3.6. Población y muestra	39
3.7. Técnicas de recolección de datos.....	39
3.7.1. Instrumentos	42

CAPÍTULO IV

4. EXPERIMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN	43
4.1. Validación	44
4.2. Planificación estratégica	44
4.3. Planificación táctica	45
4.3.1. Imágenes de posiciones a evaluar.....	45
4.4. Experimentación	48

4.4.1.	Primeros pasos antes del funcionamiento del sistema de realidad virtual.....	48
4.4.2.	Pasos a seguir para el funcionamiento del sistema	49
4.5.	Interpretación.....	54
4.6.	Implementación	55
4.6.1.	Evaluación del área de detección correcta del usuario	56
4.6.2.	Resultados de la implementación	58
4.7.	Documentación.....	70

CAPÍTULO V

1.	RESULTADOS	71
1.1.	Validación de la herramienta	71
1.1.1.	Toma de muestras de las pruebas realizadas con la pierna izquierda del usuario 1	73
1.1.2.	Toma de muestras de las pruebas realizadas con la pierna derecha del usuario 2.....	75
1.1.3.	Toma de muestras de las pruebas realizadas con las piernas izquierda y derecha del usuario número 3	77
1.1.4.	Recopilación de muestras	80
1.2.	Análisis de resultados.....	82
1.3.	Comprobación de la hipótesis.....	84

CONCLUSIONES	85
---------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	87
-----------------------------	-----------

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
---	-----------

ANEXOS.....	91
--------------------	-----------

ANEXO 1: Test de Usabilidad SEQ

ANEXO 2: Manual de Usuario

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: SEQ. Promedio y desviación estandar.....	41
Tabla 2: Evaluación de cadera.....	46
Tabla 3: Evaluación de rodilla	48
Tabla 4: Evaluación de cadera derecha (Usuario 1)	59
Tabla 5: Evaluación de la rodilla derecha (Usuario 1).....	61
Tabla 6: Evaluación de cadera izquierda (Usuario 2)	63
Tabla 7: Evaluación de la rodilla izquierda (Usuario 2)	65
Tabla 8: Evaluación de cadera derecha (Usuario 3)	67
Tabla 9: Evaluación de la rodilla izquierda (Usuario 3)	68
Tabla 10: Muestras obtenidas de la cadera izquierda.....	73
Tabla 11: Muestras obtenidas de la rodilla izquierda	74
Tabla 12: Muestras obtenidas de la cadera derecha	76
Tabla 13: Muestras obtenidas de la rodilla derecha.....	76
Tabla 14: Muestras obtenidas de la cadera izquierda y derecha	78
Tabla 15: Muestras obtenidas de la rodilla izquierda y derecha	79
Tabla 16: Muestras del experimento respecto a la cadera	80
Tabla 17: Muestras del experimento respecto a la rodilla.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plataforma Software unity.....	7
Figura 2: Sensores del paquete 3-Space Mocap.....	8
Figura 3: Proceso de rehabilitación.....	15
Figura 4: Lesión C6 parcial de piernas y brazos.....	17
Figura 5: Realidad virtual.....	19
Figura 6: Sala de Rehabilitación virtual.....	20
Figura 7: Plataforma 3-Space™ MoCap Starter.....	22
Figura 8: Menú del sistema de rehabilitación virtual.....	24
Figura 9: Configuraciones principales de un avatar en UNITY.....	25
Figura 10: Skin Mesh, texturado y triangulado.....	26
Figura 11: Esqueleto Bípedo, posicionado en una Pose-T.....	28
Figura 12: Interactive Skin Bind.....	29
Figura 13: Sistema de Rehabilitación virtual.....	31
Figura 14: Avatar en ambiente virtual.....	32
Figura 15: Pantalla de finalización de la terapia.....	33
Figura 16: Diagrama de flujo del proyecto de investigación.....	36
Figura 17: Diagrama de flujo general del proyecto de investigación.....	37
Figura 18: Comprobación en pacientes con prótesis de rodilla.....	38
Figura 19: Fases principales del diseño de simulación.....	43
Figura 20: Sistema de rehabilitación 3D para extremidades inferiores.....	45
Figura 21: Flexión y posición 0 de cadera.....	46
Figura 22: Flexión y posición 0 de rodilla.....	47
Figura 23: Extensión y posición 0 de rodilla.....	47
Figura 24: Uso de vestimenta adecuada.....	48
Figura 25: Ubicación correcta del usuario.....	49
Figura 26: Botón calibrar en el menú principal.....	49
Figura 27: Error con la apertura del puerto de la computadora.....	50
Figura 28: Sincronización correcta del computador con la antena.....	50
Figura 29: Botón jugar en el menú principal.....	51
Figura 30: Calibración correcta de los sensores pierna izquierda.....	51

Figura 31: Calibración correcta de los sensores pierna derecha	52
Figura 32: Calibración incorrecta de los sensores	52
Figura 33: Juego de rehabilitación por ejercicio de marcha	53
Figura 34: Juego de rehabilitación por ejercicio de equilibrio	53
Figura 35: Resultados finales de la terapia	54
Figura 36: Ingreso de la velocidad y tiempo de terapia	55
Figura 37: Representación de los ángulos en tiempo real	55
Figura 38: Posición correcta del usuario	56
Figura 39: Detección correcta de la extremidad inferior derecha	57
Figura 40: Detección correcta de la extremidad inferior izquierda	57
Figura 41: Posición correcta realizando flexión	58
Figura 42: Posición cero de cadera derecha	59
Figura 43: Flexión de cadera derecha a 120°	60
Figura 44: Flexión de cadera derecha a 50°	60
Figura 45: Posición cero de rodilla derecha	61
Figura 46: Flexión de rodilla derecha a 120°	62
Figura 47: Flexión de rodilla derecha a los 90°	62
Figura 48: Extensión de rodilla derecha a 180°	62
Figura 49: Posición cero cadera izquierda	63
Figura 50: Flexión cadera izquierda a 120°	64
Figura 51: Flexión de cadera izquierda a 70°	64
Figura 52: Posición cero de rodilla izquierda	65
Figura 53: Flexión de rodilla izquierda a 135°	65
Figura 54: Extensión de rodilla izquierda a 180°	66
Figura 55: Posición cero cadera derecha	67
Figura 56: Flexión de cadera derecha a 120°	67
Figura 57: Flexión de cadera derecha a 85°	68
Figura 58: Posición cero rodilla izquierda	69
Figura 59: Flexión de rodilla izquierda a 90°	69
Figura 60: Extensión de rodilla izquierda a 180°	70
Figura 61: Captura con Goniómetro físico	72
Figura 62: Captura del sistema de rehabilitación virtual	72

Figura 63: Gráfico de error en la cadera izquierda.....	74
Figura 64:Gráfico de error en la rodilla izquierda.....	75
Figura 65: Gráfico de error de la cadera derecha	76
Figura 66: Gráfico de error en la rodilla derecha.....	77
Figura 67: Grafico de error en la cadera izquierda y derecha	78
Figura 68: Gráfico de error en la rodilla izquierda y derecha	79
Figura 69: Gráfica de error en muestras de cadera	81
Figura 70: Gráfico de error total en muestras de rodilla.....	82

RESUMEN

El presente trabajo de titulación implementa un sistema tecnológico basado en realidad virtual, para la rehabilitación de pacientes con alteraciones neurológicas en las extremidades inferiores, el principal objetivo es realizar un sistema de rehabilitación virtual el mismo que sea un complemento para la rehabilitación tradicional y de esta manera convertir las sesiones en una actividad más lúdica y entretenida para este tipo de pacientes. El sistema utiliza el paquete “3-Space Mocap sensor” de tracking inercial, del cual se utilizan seis sensores diseñados para las extremidades inferiores, de estos dispositivos se obtienen las señales de giroscopio, acelerómetro y magnetómetro. Con este proyecto se pretende analizar los resultados del sistema basado en realidad virtual y el método tradicional, se emplean diferentes pruebas en donde el paciente realiza los mismos ejercicios de forma tradicional más la implementación del sistema virtual. Para determinar la aceptación y efectividad del proyecto en los pacientes se utiliza el test de usabilidad SEQ. Una vez conocida la aceptación y eficiencia del sistema se puede determinar si las terapias realizadas mediante el sistema de realidad virtual es un complemento para la rehabilitación tradicional y con el tiempo incluso una mejor alternativa para poder obtener resultados de recuperación más instantáneos.

PALABRAS CLAVE:

- **REALIDAD VIRTUAL**
- **REHABILITACIÓN - SISTEMA VIRTUAL**
- **SENSORES DE CAPTURA DE MOVIMIENTO**
- **ENFERMEDADES NEUROLÓGICAS - REHABILITACIÓN**

ABSTRACT

The present titling work implements a technological system based on virtual reality, for the rehabilitation of patients with neurological alterations in the lower limbs, the main objective is to realize a virtual rehabilitation system that is a complement for the traditional rehabilitation and of this Way to turn the sessions into a more fun and entertaining activity for this type of patients. The system uses the "3-Space Mocap sensor" package of inertial tracking, which uses six sensors designed for the lower extremities; these devices obtain gyroscope, accelerometer and magnetometer signals. With this project we intend to analyze the results of the system based on virtual reality and the traditional method, we use different tests where the patient performs the same exercises in a traditional way plus the implementation of the virtual system. To determine the acceptance and effectiveness of the project in patients, the SEQ usability test is used. Once the acceptance and efficiency of the system is known, it is possible to determine if the therapies performed through the virtual reality system is a complement to the traditional rehabilitation and over time even a better alternative to obtain more instant recovery results.

KEYWORDS:

- **VIRTUAL REALITY**
- **REHABILITATION - VIRTUAL SYSTEM**
- **MOTION CAPTURE SENSORS**
- **NEUROLOGICAL DISEASES - REHABILITATION**

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA

1.1. Prólogo

La rehabilitación en personas con daño cerebral adquirido o lesiones cerebrales, que conllevan a alteraciones neurológicas producidas que impiden el normal movimiento de las extremidades superiores e inferiores, son tratadas en su gran mayoría por fisioterapeutas que realizan ejercicios terapéuticos no farmacológicos, para disminuir síntomas de múltiples dolencias en extremidades superiores e inferiores. (Cueto & Vera, 2014)

El tratamiento se realiza mediante ejercicios para estimular la zona afectada, estas actividades contemplan en someterse al calor, frío, luz, agua, técnicas manuales entre ellas el masaje y electricidad para recuperar la movilidad de las extremidad afectadas, por lo que se pretende implantar un tratamiento revolucionario de rehabilitación con realidad virtual, que se adapte a las necesidades de los pacientes según sus afecciones, esto permitirá mitigar las dolencias y probablemente adquirir nuevamente la movilidad de la extremidad inferior. Además, se busca que los pacientes tengan una mayor comodidad al recibir la rehabilitación. (Sánchez Ortiz, 2010)

La rehabilitación con realidad virtual contempla en estimular al paciente con imágenes que permitan al cerebro responder de mejor manera ya que aparte de los ejercicios la realidad virtual provee una interfaz visible, estimulando así al paciente mediante la vista para que este a su vez evada los obstáculos de la interfaz teniendo así una mayor estimulación terapéutica que también ejercita al cerebro mediante imágenes en movimiento. (Ortín, 2017)

1.2. Planteamiento del problema

Existen varios países como Estados Unidos o España en donde se opta por el uso de tecnologías, como los sistemas de rehabilitación virtual motora. En Ecuador no se encuentra difundida este tipo de tecnología, es muy escasa, y las aplicaciones existentes sólo se utilizan como un complemento de ayuda para proyectos de investigación y no ha tenido la oportunidad de ser protagonista en el ámbito de la medicina.

Actualmente en el hospital del IESS Latacunga, se lleva a cabo rehabilitaciones tradicionales con la ayuda de fisioterapeutas para pacientes con daño cerebral adquirido, que tienen problemas en las extremidades inferiores, dichas rehabilitaciones se las realiza en un ambiente poco agradable y en ocasiones incómodas para el paciente.

La rehabilitación motriz de extremidades inferiores en los hospitales y clínicas es un gran problema, ya que las terapias consisten en una serie de ejercicios poco estimulantes, debido a la utilización de métodos tradicionales.

Con la utilización de tecnologías y aplicaciones en realidad virtual, que se están implementando en pacientes con invalidez que necesiten algún tipo de rehabilitación, se puede mejorar el estado de ánimo del paciente y obtener resultados más estimulantes.

1.3. Antecedentes

Según el informe presentado por la Organización Mundial de la Salud –OMS- en el año 2011, existen 600 millones de personas en todo el mundo que presentan algún tipo de invalidez que afectan las habilidades motrices, perceptivas o intelectuales. El registro nacional de discapacitados presentado en septiembre de 2014 por el Consejo

Nacional de Discapacitados (CONADIS) muestra que existen 397.233 personas con alguna discapacidad auditiva, física, intelectual, de lenguaje, mental, psicológico y visual; dichas personas representan el 2,48% de la población ecuatoriana; en la provincia de Cotopaxi existen 409.205 personas de las cuales 10.087 presentan alguna discapacidad y estas a la vez contienen a 4.397 personas con discapacidades físicas.

El daño cerebral adquirido es una discapacidad que se encuentra presente en la sociedad, dicho problema repercutirá en el transcurso de la vida de una persona limitando sus capacidades motrices. (Organización Mundial de la Salud, 2011)

El daño cerebral adquirido (DCA) con una tasa de incidencia en países desarrollados se estima que es de 250 casos por cada 10000 habitantes, este es causado por una lesión súbita o una hipoxia en el cerebro, produciendo irregularidades del funcionamiento del cerebro, dando como resultado problemas cognitivos, físicos y emocionales, que afecta al paciente en el desarrollo de su vida diaria. (Ilescer, 2014)

El DCA causa problemas de control motor, como lesiones en las regiones frontales y parietales de los hemisferios cerebrales, así como las lesiones en el tronco cerebral, suelen provocar debilidad en la parte del cuerpo contraria a la del hemisferio cerebral lesionado. (Adacebur, 2014)

Por ejemplo, un problema frecuente es el cuadro de parálisis de miembros inferiores con conservación de la movilidad en las extremidades superiores. La falta de movilidad en los miembros condiciona pérdida de habilidades muy importantes, y genera un alto nivel de discapacidad. (Daño Cerebral Adquirido, 2014).

En la actualidad para la rehabilitación de pacientes con DCA se está implementando tecnología basada en realidad virtual, realidad

aumentada y captura de movimientos, un claro ejemplo es la utilización de tecnología de captura de movimientos (MoCap) por medio de la cámara Kinect de Microsoft, con lo cual el paciente realiza una serie de ejercicios correspondientes a su tratamiento, mediante la representación virtual del motor de video juegos Unity3D.

Este tipo de herramientas se ha implementado en estudios para observar la posibilidad de reemplazar las antiguas plataformas físicas, utilizadas en el campo de la medicina para el tratamiento de pacientes.

Varias Aplicaciones de realidad virtual para la rehabilitación del daño cerebral son utilizadas por el hospital NISA (España-Valencia), por ejemplo, el Armeo Spring, es un dispositivo diseñado para la rehabilitación del miembro superior tras una lesión neurológica, Umbrella es una herramienta basada en entornos virtuales específicamente destinada a la rehabilitación de los brazos paréticos. (Hyndman 2003).

1.4. Justificación

La importancia del presente proyecto consiste en ofrecer a una persona con DCA una innovadora alternativa a la hora de realizar su respectiva rehabilitación, ya que el sujeto lógicamente se sentirá atraído hacia ésta nueva propuesta, esta actividad será un incentivo para que el paciente realice sus ejercicios con mayor entusiasmo y confianza lo cual permitirá obtener una participación más didáctica del paciente. Para el desarrollo del proyecto se pretende utilizar y validar los sistemas de Rehabilitación Virtual Motora en pacientes con alteraciones neurológicas ya que es un campo en auge a nivel científico.

La utilización de dispositivos como 3D-Space Mocap que está compuesto por sensores de medición inerciales son usados en muchos campos y uno de los más relevantes es en el proceso de rehabilitación

por la característica de obtener movimientos mediante los sensores inerciales, por lo cual al iniciar el trabajo se debe incursionar en el mismo, ya que de esta manera se puede ayudar a muchas personas no sólo en la ciudad de Latacunga sino también del país.

Además, al ser un proyecto innovador se pretende complementar los métodos vigentes de rehabilitación y de esta manera lograr un ambiente más llamativo y cómodo para el paciente.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Implementar un sistema tecnológico mediante realidad virtual, para la rehabilitación de pacientes con alteraciones neurológicas en extremidades inferiores.

1.5.2. Objetivos específicos

- Investigar acerca del daño cerebral adquirido y alteraciones neurológicas, las causas y síntomas que presentan.
- Indagar sobre el uso de rehabilitación virtual en pacientes con daño cerebral adquirido.
- Seleccionar las herramientas de software adecuado para el desarrollo de una multiplataforma utilizada para el diseño de la interfaz y adaptación de los sensores 3D-Space Mocap.
- Implementar un entorno virtual para motivar el interés del paciente en la rehabilitación.
- Realizar pruebas de funcionamiento, enfocadas a individuos que tienen completas sus funciones motoras.

CAPÍTULO II

2. MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

2.1. Marco contextual

El presente trabajo busca determinar la interacción de un sistema tecnológico mediante realidad virtual para la rehabilitación con pacientes que padecen de alteraciones neurológicas en extremidades inferiores, basado en los métodos de rehabilitación tradicionales que proveen una recuperación a largo plazo, de esta manera se contribuye al desarrollo de los tratamientos a personas con una discapacidad temporal en las extremidades inferiores con la implementación de éste tipo de tecnología en la medicina del país, ya que provee de un ambiente más agradable para pacientes con este tipo de deficiencia, con la reducción de métodos tradicionales aplicados en la actualidad según las políticas de cada uno de los hospitales, clínicas y centros de salud que realicen tratamientos de rehabilitación.

Por esta razón se trata introducir nuevas formas de realizar un tratamiento mediante sistemas tecnológicos basados en realidad virtual.

2.2. Objeto de la investigación

El objeto de la investigación de este proyecto es el uso del sistema tecnológico basado en realidad virtual, para proveer un ambiente agradable de rehabilitación para pacientes con alteraciones neurológicas en extremidades inferiores.

2.2.1. Descripción de objeto de investigación

El sistema tecnológico de rehabilitación usa el paquete completo para la captura de movimiento profesional “3-Space Mocap” y la plataforma virtual Unity Personal 5.3.5f1, como se muestra en la figura 1.

La plataforma Unity es usada para el desarrollo de la interfaz aprovechando las herramientas que posee este software, el mismo que tiene un soporte de compilación para diferentes tipos de plataformas como Microsoft Windows, OS X y Linux.



Figura 1: Plataforma Software unity
Fuente: (pcpuntofijo, 2015)

El paquete completo para la captura de movimiento profesional “3-Space Mocap” se observa en la figura 2, posee 17 sensores inalámbricos, 3 antenas con tecnología Wireless y un juego de correas MoCap, los sensores utilizan señales de giroscopios, acelerómetros, y magnetómetros, para determinar la orientación con respecto a una referencia absoluta en tiempo real de un objeto, en este caso los dispositivos están adheridos a las extremidades inferiores de la persona, para plasmar la imagen en la plataforma

unity y posteriormente proyectarla con un proyector 3D Optoma EX785 5000.



Figura 2: Sensores del paquete 3-Space Mocap.
Fuente: (yostlabs, Yost Labs Inc, 2016)

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Antecedentes de la investigación

En la tesis doctoral “REHABILITACIÓN VIRTUAL MOTORA: UNA EVALUACIÓN AL TRATAMIENTO DE PACIENTES CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO” (2014). Previo a la obtención del título de doctorado por el autor Sergio Albiol Pérez manifiesta que “mediante técnicas de rehabilitación virtual es posible obtener una recuperación de pacientes con discapacidad en extremidades inferiores estadísticamente significativa”.

En la tesis “REHABILITACIÓN VIRTUAL MEDIANTE INTERFACES NATURALES DE USUARIO.” (2014). Publicada en la revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo

Educativo por la autora Beatriz Adriana Sabino Moxo, El trabajo describe el empleo de software en la rehabilitación cognitiva y motriz para pacientes con diferentes padecimientos (parálisis cerebral o de manos, esclerosis múltiple, Ictus, entre otras) usando interfaces gráficos virtuales generados por computadora.

2.3.2. Fundamentación legal

Las personas que presentan alguna alteración neurológica temporal que conlleva una discapacidad física por lo que el Ecuador en su constitución enuncia que se deben “*crear mecanismos para la atención e integración social de las personas con discapacidad atendiendo las necesidades particulares de cada sexo*” de acuerdo a los organismos que las entidades públicas y privadas se rigen, los pacientes deben tener la mejor atención posible es por esto que se desarrolla un sistema tecnológico de real virtual para interactuar con el paciente de mejor manera. (Asamblea Constituyente del Ecuador, 2009)

De acuerdo con las leyes aprobadas en la asamblea para amparar a los pacientes con discapacidad temporal adquirida, se tiene que desarrollar nuevas técnicas para la atención y tratamiento de los pacientes basándose en las siguientes leyes:

Art 7: Persona con deficiencia o condición incapacitante. Se entiende por persona con deficiencia o condición incapacitante a toda aquella que, presente disminución o supresión temporal de alguna de sus capacidades físicas, sensoriales o intelectuales manifestándose en ausencias, anomalías, defectos, pérdidas o dificultades para percibir, desplazarse, oír y/o ver, comunicarse, o integrarse a las actividades esenciales de la vida diaria limitando el

desempeño de sus capacidades; y, en consecuencia, el goce y ejercicio pleno de sus derechos.

Según el capítulo II de los derechos de las personas con discapacidad de la sección II de la salud enuncia que:

Art. 20. Subsistemas de promoción, prevención, habilitación y rehabilitación.- La autoridad sanitaria nacional dentro del Sistema Nacional de Salud, las autoridades nacionales educativa, ambiental, relaciones laborales y otras dentro del ámbito de sus competencias, establecerán e informarán de los planes, programas y estrategias de promoción, prevención, detección temprana e intervención oportuna de discapacidades, deficiencias o condiciones incapacitantes respecto de factores de riesgo en los distintos niveles de gobierno y planificación.

La habilitación y rehabilitación son procesos que consisten en la prestación oportuna, efectiva, apropiada y con calidad de servicios de atención. Su propósito es la generación, recuperación, fortalecimiento de funciones, capacidades, habilidades y destrezas para lograr y mantener la máxima independencia, capacidad física, mental, social y vocacional, así como la inclusión y participación plena en todos los aspectos de la vida (Asamblea Constituyente del Ecuador, 2009).

2.3.3. Fundamentación teórica

a. Alteraciones Neurológicas

Las enfermedades neurológicas son patologías o cambios que se producen en la naturaleza del sistema nervioso que afectan a la integridad del sistema nervioso central y periférico, es decir pueden

causar diferentes daños o también lesiones en el cerebro, la médula espinal, el conjunto de nervios craneales y periféricos, las raíces nerviosas del sistema nervioso autónomo y las uniones neuromusculares. (Organización Mundial de la Salud, 2014).

Existen varios tipos de enfermedades neurológicas y millones de personas en el mundo se ven afectadas por éstas. A pesar de la amplia variedad de desórdenes neurológicos, existen algunas enfermedades que son más comunes actualmente y se pueden producir o más bien están relacionadas con los siguientes casos (National Institutes of Health, 2016):

- Patologías relacionadas con accidentes cerebrovasculares.
- Lesiones traumáticas a nivel encefálico o espinal.
- Trastornos convulsivos, tales como la epilepsia.
- Afecciones neoplásicas, tales como los tumores cerebrales.
- Procesos infecciosos: meningitis.

La Organización mundial de la salud también destaca alguna de las patologías siendo las frecuentes: epilepsia, alteraciones relacionadas con el dolor de cabeza, procesos demenciales, esclerosis múltiple, infecciones neurológicas, trastornos asociados a la desnutrición, enfermedad de Parkinson, trastornos craneoencefálicos y dolor asociado a diferentes condiciones neurológicas.

A través de los años diferentes estudios estadísticos señalan que:

- Alrededor de 6,2 millones de personas mueren por causas derivadas de un accidente cerebrovascular.
- Más de 50 millones de personas en todo el mundo padecen epilepsia.

- Se ha estimado que en la población general existen aproximadamente 35,5 millones de personas con demencia: Enfermedades de Alzheimer la causa más común (60-70% de los casos).
- A nivel mundial, la prevalencia de la migraña oscila en torno al 10%.

Accidentes Cerebrovasculares

El término accidente cerebrovascular (ACV) se refiere a una alteración del flujo sanguíneo cerebral. Dentro de los accidentes cerebrovasculares, se puede distinguir dos tipos de alteraciones: isquemias y hemorragias (Ropper&Samuels, 2009; Ardila &Otroski, 2012).

- Hemorragia: derrame sanguíneo sobre áreas cerebrales, debidas principalmente a rupturas de aneurismas cerebrales.
- Isquemia: la obstrucción del flujo sanguíneo, generalmente debido a accidentes trombóticos o embólicos.

Tras las afecciones coronarias y el cáncer, los accidentes cerebro vasculares son la causa más común de muerte en los países industrializados (Organización Mundial de la Salud, x). en el año 2008 se registraron más personas con daño cerebral de tipo adquirido. En cuando a las causas, las que tienen una mayor presencia son: Ictus (53,36% en hombres y 46,64% en mujeres), y Anoxia (62,62% en hombres y 37,38% en mujeres) (FEDACE, 2013).

Este tipo de patologías, van a provocar una serie de secuelas que afectarán de forma significativa a la funcionalidad y calidad de vida del paciente: desde el desarrollo de un estado vegetativo o de mínima

consciencia a déficits importantes en componentes sensorio motores, cognitivos o afectivos (Huertas-hoyas et al., 2015). Por otro lado, suelen aparecer déficits de tipo cognitivo como los problemas de atención, memoria y funciones ejecutivas (García-Molina et al., 2015).

Entre las secuelas más comunes de los accidentes cerebrovasculares se encuentra:

- Parálisis y debilidad muscular: es frecuente que se desarrolle una parálisis severa en uno de los lados del cuerpo, generalmente la persona presenta series dificultades o incapacidad para articular movimientos tanto con la extremidad superior como con la inferior.
- Dificultades o incapacidad para hablar: si el accidente cerebrovascular causa daños en áreas relacionadas con la producción motora del lenguaje o la comprensión, podrán aparecer diversas alteraciones del lenguaje.
- Cambios emocionales y alteraciones comportamentales: debido a las diferentes lesiones cerebrales, como al impacto de la nueva situación, podrán aparecer cambios relacionados con la irritabilidad, labilidad emocional, entre otros.
- Con respecto al tratamiento, en los primeros momentos, todas las intervenciones se van a centrar en la preservación de la vida de la persona. En la fase post-aguda, se va a intervenir a nivel físico para tratar las consecuencias motoras, como a nivel neuropsicológico para abordar las secuelas cognitivas: déficit de orientación, amnesia, déficit lingüístico, atencional, etc.

Trastornos craneoencefálicos

Ardila & Otroski (2012), proponen que los trastornos craneoencefálicos (TCE) se producen como consecuencia de impacto de un golpe sobre el cráneo. Generalmente, este impacto se transmite tanto a las capas meníngeas como a las estructuras corticales.

Además, diferentes agentes externos pueden provocar el impacto: utilización de fórceps en el nacimiento, herida de bala, efecto de golpe contra golpe, extensión de un golpe mandibular, entre muchos otros.

Se puede encontrar traumatismos abiertos (TCA) en los que se produce una fractura del cráneo y penetración o exposición del tejido cerebral y los traumatismos craneoencefálicos cerrados, en los que no se produce una fractura del cráneo, pero puede tener lugar a graves lesiones del tejido cerebral debido al desarrollo de un edema, hipoxia, aumento de la presión intracraneal o procesos isquémicos.

b. Rehabilitación

La rehabilitación es utilizada para recuperar nuevamente la fortaleza, volver a poner en práctica las habilidades o encontrar nuevas formas de hacer las cosas que hacía antes con las extremidades afectadas o habilidad perdida por causa de accidentes que las provoquen. El proceso es la rehabilitación en extremidades superiores, inferiores como se observa en la figura 3.

La rehabilitación suele enfocarse en:

- Ayuda para fortalecer y recuperar la movilidad y condición física de la persona.

- Terapia ocupacional para ayudar a la persona con sus actividades cotidianas.
- Tratamiento del dolor.

El tipo de tratamiento y las metas que esperan alcanzarse pueden variar en distintas personas. Cuando se trata una persona de más edad, que haya tenido un derrame, simplemente quiera rehabilitación para poder vestirse o bañarse sin ayuda. Una persona joven que ha sufrido un ataque al corazón puede hacer rehabilitación cardíaca para intentar volver al trabajo y a sus actividades cotidianas.

Las personas con enfermedades respiratorias pueden recibir rehabilitación pulmonar para poder respirar mejor y optimizar su calidad de vida.

Las personas que hayan perdido la movilidad de sus extremidades pueden realizar la rehabilitación para recuperar la movilidad. (medlineplus, 2016).

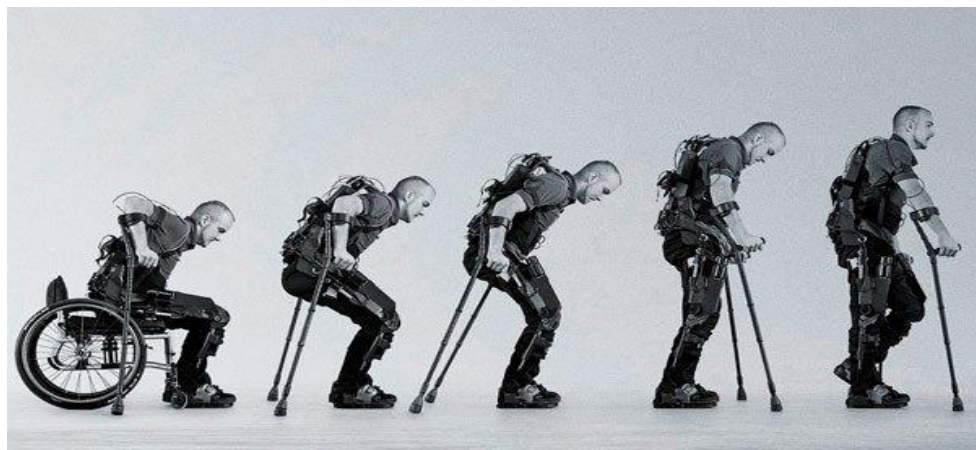


Figura 3: Proceso de rehabilitación.

Fuente: (medlineplus, 2016).

Actualmente existen un grupo de ayudas biomecánicas, compensatorias de sostén y de apoyo para ayudar a realizar la marcha, entre ellas como bastones, andaderas, trípodes, muletas, y cualquier

otro dispositivo que disminuya la carga de peso sobre los miembros inferiores y facilite el movimiento.

Hay un grupo importante de técnicas terapéuticas para rehabilitar la marcha que tienen las siguientes metas:

- Mejorar la fuerza muscular en miembros inferiores.
- Aumentar la estabilidad funcional y el equilibrio para desarrollar la marcha.
- Facilitar el aprendizaje de los patrones de movimiento normal.
- Mejorar el control de la postura y el movimiento.
- Lograr buen control de tronco y de desplazamiento de peso.

Discapacidad en extremidades inferiores

Cuando la persona ha perdido la sensibilidad y no es capaz de mover la parte inferior de su cuerpo. La lesión se encuentra en el área dorsal, lumbar o sacra. Por desgracia comienza a ser una palabra demasiado conocida, sobre todo en relación con los accidentes de tráfico, por lo que todo esto se resume en la pérdida de la movilidad de extremidades inferiores con menor y mayor grado dependiendo de la lesión (discapnet, 2009).

Lesión parcial esto es cuando sólo se suspende el servicio telefónico o señales nerviosas de algunas partes de las extremidades, en la figura 4 se observa como la columna vertebral distribuye los nervios para cada zona del cuerpo y es por esta razón que puede suceder que algunos mensajes pasan hacia algunas partes y a otras no, lo que se conoce como lesión c6 por ser parcial.

Personas con una lesión parcial pueden tener mucha sensibilidad y poco movimiento o al contrario lo que es posible una recuperación mediante una rehabilitación. El nivel de la lesión es el punto más bajo

por debajo de la médula espinal donde existe una disminución o ausencia de sensación (nivel sensitivo) o movimiento (nivel motor). Cuanta más alta sea la lesión mayor es la pérdida de función.

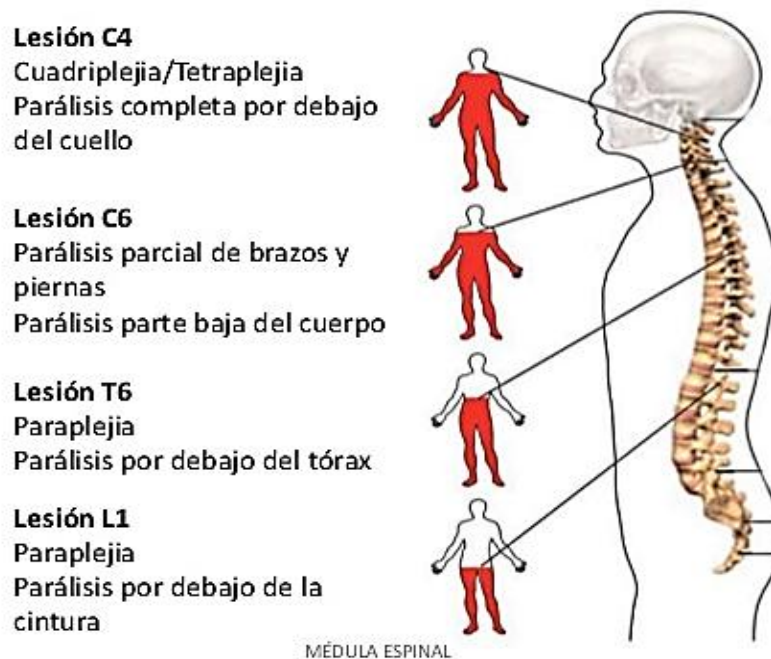


Figura 4: Lesión C6 parcial de piernas y brazos.
Fuente: (BIDASOA, 2015)

Tras una lesión en la médula espinal, los nervios que estén por encima del nivel de la lesión continuarán funcionando normalmente. Pero por debajo del nivel de la lesión, los nervios de la médula espinal no pueden enviar mensajes entre el cerebro y las diferentes partes del cuerpo pueden ser a las extremidades superiores o inferiores. Por eso se produce la insensibilidad y la parálisis. De todas formas, cada lesión medular es diferente.

Las lesiones de la médula espinal pueden ser parciales o totales, algunas personas con lesión parcial pueden tener sensibilidad, pero no el movimiento. Otros pueden moverse, pero no tienen sensibilidad. Como se dice, depende de la persona y de los nervios afectados (paraplejias, 2011).

Discapacidad

Cada lesión es diferente, y, por tanto, sus consecuencias también lo son. Algunos pueden caminar hasta cierto punto, pero la mayoría necesita una silla de ruedas o de otros dispositivos.

Los pulmones, los intestinos y la vejiga puede que no trabajen igual que antes de la lesión, así como también puede cambiar la función sexual. Durante la rehabilitación se enseña a las personas lesionadas nuevas formas para llevar a cabo sus funciones corporales mediante ejercicios diseñados para recuperar la movilidad.

c. Realidad virtual

La Realidad Virtual (RV) es un conjunto de experiencias sensoriales sintéticas, es decir generadas por computador o un ordenador, comunicadas a un operador o participante. La mayoría de las aplicaciones de realidad virtual son experiencias visuales donde el usuario interactúa en un ambiente o escena virtual. La escena virtual se visualiza mediante algún dispositivo de visualización, en algunos casos utilizando visualización estereoscópica la cual brinda la sensación del ambiente tridimensional.

Las aplicaciones de la realidad virtual tienen las siguientes características:

- Mundo Virtual
- Inmersión (mental y física)
- Retroalimentación
- Interactividad

La retroalimentación sensorial puede aludir a los diferentes sentidos, comúnmente la vista mediante objetos virtuales animados, pero también al oído con sonidos y el tacto o *ápticas* del término en inglés *haptics*.

Uno de los primeros simuladores conocidos que utilizaron realidad virtual es el denominado "Sensorama" realizado en 1962 por Morton Heilig, es un simulador de moto con imágenes, sonidos, vibraciones e incluso colores que daban al usuario la sensación de estar en la moto misma mediante la aplicación de la realidad virtual (Abásolo Guerrero, 2011).



Figura 5: Realidad virtual.
Fuente: (Abásolo Guerrero, 2011)

Los sistemas de realidad virtual más habituales, según los dispositivos de visualización más utilizados en la actualidad son:

- Los cascos o HMD
- Guantes CyberGlobe
- Gafas virtuales
- Las cuevas
- Las icon, que son pantallas gigantes

- Los WorkBench que son monitores, como se observa en figura 6

d. Unity

Es un motor gráfico desarrollado por Unity Technologies desde 2001 con el objetivo de permitir a todo el mundo crear atractivos entornos 3D, y con ayuda de dispositivos como cascos sensores u otros dispositivos hacer entornos con realidad virtual.

Unity es una herramienta que permite desarrollar software para diversas plataformas, por lo que es sumamente atractivo para un amplio rango de desarrolladores y diversas aplicaciones, desde inmensas compañías que pretendan desarrollar grandes proyectos, hasta pequeños equipos o estudiantes.

Estos datos de por sí proveen una ligera idea del potencial de aplicación del Unity. A continuación, se da a conocer un poco más las capacidades técnicas, sus posibilidades multiplataforma de este motor gráfico.

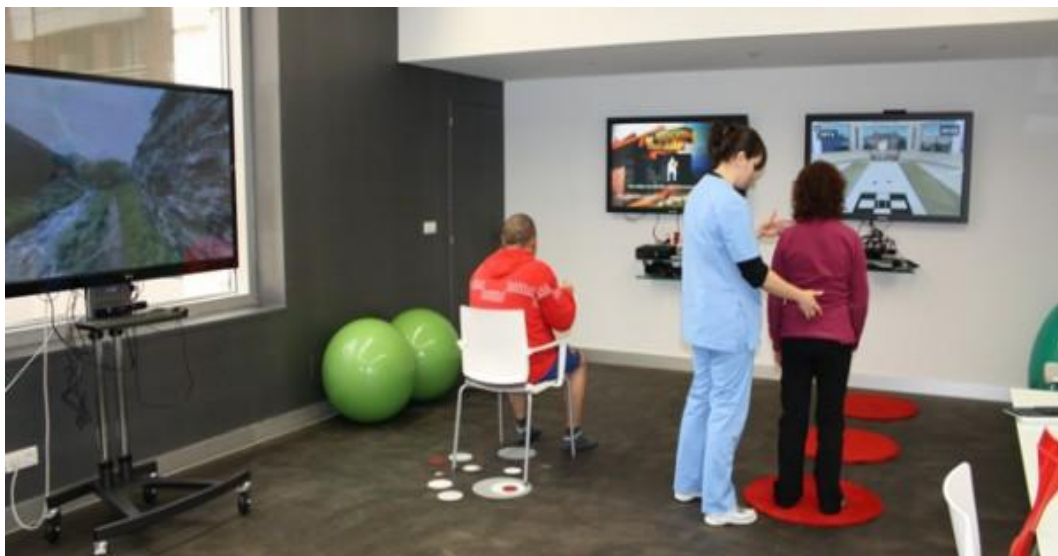


Figura 6: Sala de Rehabilitación virtual.
Fuente: (Abásolo Guerrero, 2011)

Características del motor Unity

A nivel gráfico permite trabajar con características, destacando entre ellas el uso de “deferred lightning”, iluminación global, efectos de post-procesado como bloom, light flare, vignetting, rayos de luz “dios”, profundidad de campo y corrección de color.

Soporta sombras en tiempo real, un amplio uso de shaders y utiliza uno de los mejores lightmapers del mercado, Beast.

Implementa también el software Umbra para ocultar todo lo que no es visible para el usuario (clipping), reduciendo así la cantidad de objetos a renderizar.

e. 3-Space™ MoCap Starter

Es una aplicación de captura de movimiento con código abierto que utiliza los sensores 3-Space Mocap. La interfaz es muy parecida a otras aplicaciones de captura de movimiento, el software busca automáticamente los sensores. Mocap Studio puede exportar los datos de movimiento utilizando el formato BVH (Biovision Jerarquía), que es una forma ampliamente utilizada para los datos de captura de movimiento.

Las interfaces de Mocap Studio con los dispositivos se comunican a través de una ventana de interfaz a modo de nodos gráficos que permite la creación de configuraciones de nodos complejos para facilitar la comunicación y permitir la configuración de los sensores.

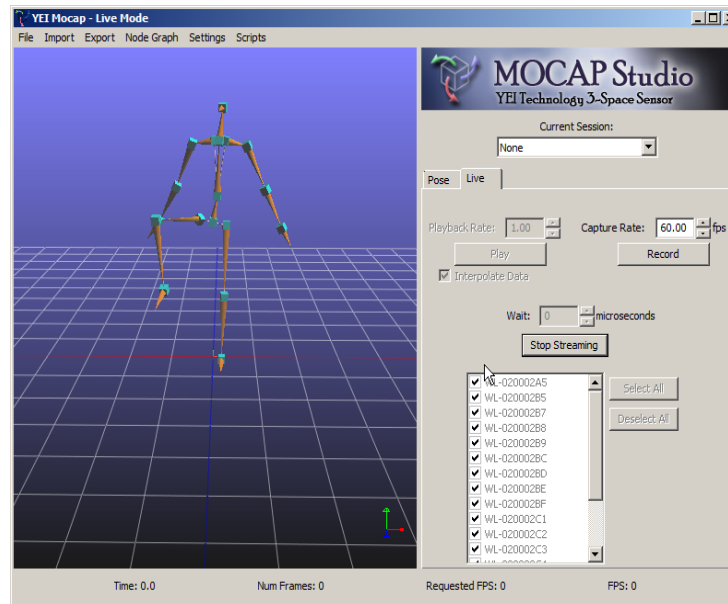


Figura 7: Plataforma 3-Space™ MoCap Starter.
Fuente: (yostlabs, yostlabs, 2015).

El modo de nodos gráficos también puede manipular los datos de orientación procedentes de los dispositivos (yostlabs, yostlabs, 2015).

Características principales

- Es compatible con todos los miembros de la familia del sensor IIEJ 3-Space.
- Proporciona herramientas para configurar los dispositivos de los sensores 3-Space YEI.
- Soporta transmisión de datos en tiempo real y la orientación roscado de registro de datos.
- Puede tener registros de datos de orientación como fotografías clave, por lo tanto, la edición y la limpieza fácil.
- Tiene la habilidad del seguimiento de peatones sencilla.
- El código tiene script para convertir los archivos de TSH en un archivo XML legible.

- Es compatible con un archivo de datos de movimiento ampliamente utilizado, Biovision Jerarquía (BVH)
- El código abierto y libre, lo que permite a los usuarios utilizar y modificar la aplicación sin consecuencias

a. Variables de investigación

Variable independiente Sistema tecnológico mediante rehabilitación virtual

Variable dependiente Rehabilitación de pacientes con alteraciones neurológicas en las extremidades inferiores.

b. Hipótesis

La implementación de un sistema tecnológico mediante rehabilitación virtual permitirá rehabilitar a los pacientes con alteraciones neurológicas en las extremidades inferiores.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Caracterización

El proyecto de investigación va ser implementado en pacientes con alteraciones neurológicas que causan la pérdida temporal de movimiento en las extremidades inferiores, se va a probar en pacientes con alteraciones como: prótesis de rodilla, esguince de tobillo, artritis entre otras. A continuación, se presenta el menú de la interfaz en la figura 8.



Figura 8: Menú del sistema de rehabilitación virtual.

Para captar los movimientos de los pacientes se crea un avatar en la plataforma Unity, para lo cual se realiza las configuraciones que permiten crear un personaje humanoide animado desde cero: **model**, **rig** y **animations** como se muestra en la figura 9.

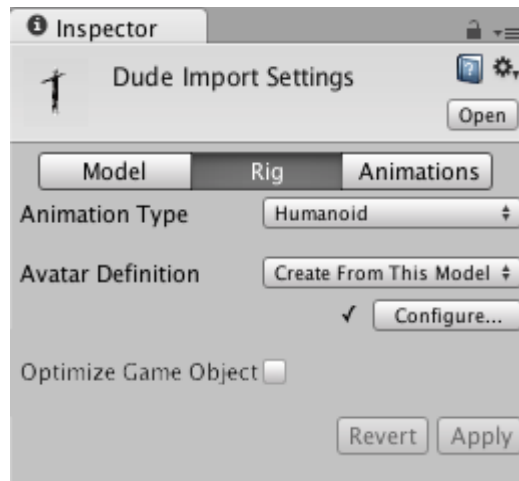


Figura 9: Configuraciones principales de un avatar en UNITY.
Fuente: (UNITY DOCS, 2016)

Modelado

Este es el proceso para crear un humanoide propio o el (mesh), se utilizó un paquete 3D de modelado - 3DSMax, Maya, Blender. Para tener un avatar existen varios pasos que se pueden seguir para asegurar que un modelo animado funcione bien en un proyecto de Unity y que pueda ser utilizado en diversas aplicaciones, como se observa en la figura 10.

Hay que ser puntual en la escala y el mallado empleado en el mismo. Revisar las unidades que el paquete 3D que se está utilizando ajuste las configuraciones de exportación para que el tamaño de su modelo esté en la proporción correcta según la escala escogida.

Ajustar el mallado (mesh) para que los pies del personaje estén parados en el origen del modelo es decir tenga una coordenada sobre el eje x. Debido a que un personaje típicamente camina en el suelo estando derecho, es mucho más fácil manejar su punto de anclaje si está directamente en ese suelo.

De ser posible realizar el modelo en una **Pose-T (T-Pose)**. Esto ayudará a que el espacio ajuste los detalles del polígono dónde lo necesita. Esto también le ayudará a posicionar su rig dentro del mesh.



Figura 10: Skin Mesh, texturado y triangulado
Fuente: (UNITY DOCS, 2016)

Rigging

Éste es el proceso en el cual se crea un esqueleto con articulaciones para controlar los movimientos del modelo implementado, en este caso los movimientos serán controlados según las coordenadas de los sensores 3-space Mocap, para lo cual no se necesita tener un script que simula sino uno que adquiera y rehaga los movimientos según los sensores.

Los paquetes 3D proveen un número de maneras para crear articulaciones para el humanoide. Esto va desde esqueletos bosquejados ver figura 11. En Unity se debe hacer encajar el avatar con el mallado (mesh), hasta las herramientas para la creación individual de huesos y apadrinamiento para crear su propia estructura de huesos según sean las necesidades del programador y de la aplicación se utiliza un solo modelo para todo el avatar. Para que funcione en Mecanim, las caderas deberían ser el elemento raíz de la estructura de

huesos. Un mínimo de cincuenta huesos es requerido en el esqueleto para poder adquirir los movimientos de una persona.

La jerarquía de huesos y de las articulaciones debe seguir una estructura natural para el personaje que se está creando, siendo lo más recomendable. Dado que los brazos y las piernas vienen en pares, usted debería utilizar una convención consistente para nombrarlas, por ejemplo:

(eg, "arm_L" para el brazo izquierdo,

"arm_R" para el brazo derecho, etc).

Unas estructuras posibles para la jerarquía serían:

- hips (caderas)
- spine (espina dorsal)
- chest (pecho)
- shoulders (hombros)
- arm (brazo)
- forearm (antebrazo)
- hand (mano)
- spine (espina dorsal)
- chest (pecho)
- neck (cuello)
- head (cabeza)
- UpLeg(Pierna Superior)
- Leg (Pierna)
- foot (pie)
- toe (dedo del pie)
- toe_end (extremo de los dedos del pie)

para este proyecto se pone más énfasis en simular las piernas por lo que el mismo debe simular lo mejor posible por no decir al 100% los movimientos adquiridos por los sensores conectados al paciente, además

recrear la ubicación en el espacio según sea la simulación que el paciente este utilizando.

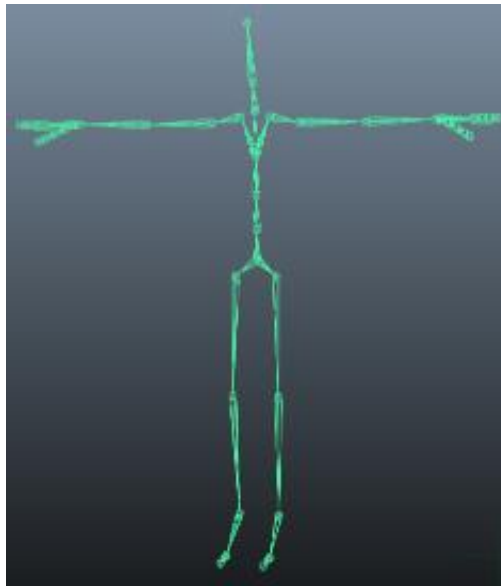


Figura 11: Esqueleto Bípedo, posicionado en una Pose-T
Fuente: (UNITY DOCS, 2016)

Skinning

Para finalizar el proceso de adjuntar el mallado al esqueleto se necesita del Skinning que involucra unir los vértices del mallado (mesh) a los huesos o exoesqueleto, ya sea directamente (rigid bind) o con influencias para mezclar a un número de huesos (soft bind) en este caso se lo realizó manualmente debido a que los movimientos son según la información enviada de los sensores al ordenador como se muestra en la figura 12.

Diferentes paquetes de software utilizan diferentes métodos, eg, asignar vértices individuales y pintando el peso de la influencia por hueso al mallado. La configuración inicial es típicamente automatizada, se encuentra la influencia más cercana o utilizando “heatmaps” según la ubicación de los sensores cada vez que se realice el reconocimiento de los sensores de los pacientes. Skinning usualmente requiere una

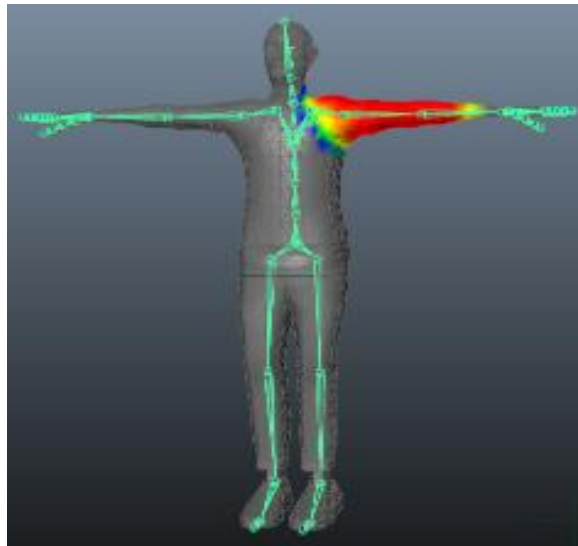
cantidad justa de trabajo y de pruebas con animaciones con el fin de asegurar resultados satisfactorios para la deformación de la piel. Algunas pautas generales para este proceso incluyen:

Utilizar un proceso automatizado inicialmente para configurar algunas cosas del skinning.

Crear una animación simple para su figura o importar alguna información de la animación para que funcione como una prueba para el skinning. Esto le debería dar una manera rápida de evaluar si el skinning se ve bien en movimiento sin necesidad de tener los sensores conectados a una persona.

Editar de manera incremental y re-afinar sus soluciones de skinning.

Apegarse a un máximo de cuatro influencias cuando utilice soft bind, ya que este es el número máximo que Unity puede manejar. Si hay más de cuatro influencias afectando parte de su mesh entonces al menos alguna información será perdida cuando reproduzca la animación en Unity.



**Figura 12: Interactive Skin Bind, uno de los muchos métodos de skinning.
Fuente: (UNITY DOCS, 2016)**

El sistema o prototipo implementado en realidad virtual consta de 6 sensores 3-Space mocap que son colocados en el paciente para recrear las extremidades inferiores de la persona, como se muestra en la figura 13.a mediante un avatar, para que la interfaz ilustre y simule todos los movimientos del paciente haciéndolo interactuar mediante animaciones recreadas para así estimular de una manera visual, auditiva y mejorar la estimulación motriz, ya que el cerebro al ver imágenes se estimula de mejor manera y ayuda que las señales enviadas por el mismo lleguen a las partes afectadas.

El tipo de lesión que se trata es un caso C6 que según lo investigado y la medicina se trata de una parálisis parcial que se puede recuperar mediante terapias y ejercicios casi en un 100% de como el paciente tenía el movimiento en todas y cada una de sus extremidades antes de sufrir el accidente o la lesión cerebral que provocaría la parálisis temporal.

En la figura 13.b se observar al avatar adquiriendo los movimientos del usuario y realizando la prueba en la interfaz desarrollada.



(a)



(b)

Figura 13: Sistema de Rehabilitación virtual (a) Avatar para reconocimiento e sensores y calibración. (b) Avatar durante la prueba.

El sistema está implementado en el software UNITY con los sensores anteriormente mencionados, para lo cual se desarrolló un ambiente virtual el cual contiene un avatar que adquiere los movimientos de la persona mediante los sensores para que interactúe con la interfaz gráfica desarrollada, ya que ésta consta de animaciones con mínima y alta dificultad, ordenadas en niveles que depende del tiempo y la velocidad que se ingrese en el mismo como se observa en la figura 14, de esta manera es posible escoger una animación dependiendo el tipo de lesión y la pérdida de movilidad que presente dicha persona.



Figura 14: Avatar en ambiente virtual.

Esta aplicación permite tener una evaluación por parte del terapeuta si el usuario está teniendo una mejoría en su rehabilitación al saber si está cursando los niveles o no está avanzado, al final de la terapia se puede visualizar los ángulos de capa extremidad del paciente como se observar en la figura 15.

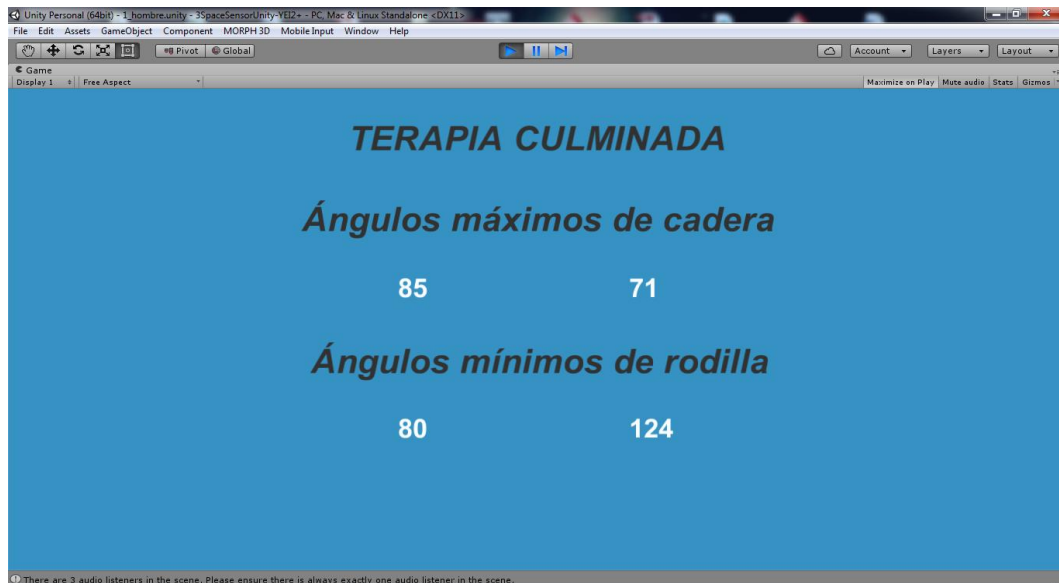


Figura 15: Pantalla de finalización de la terapia.

La interfaz consta de diferentes animaciones como por ejemplo se crea una pista de obstáculos representados por conos que el paciente debe esquivar tanto con la pierna izquierda y la derecha en ejercicios de marcha, además permite aumentar la velocidad de los conos así como también el tiempo de la sesión, dependiendo de la evolución de la terapia al ser una interfaz que interactúa con el paciente consta de una página de inicio y presentación similar a la de un juego evitando así el estrés que tiene una persona al realizar una rehabilitación.

3.2. Modalidad de la investigación

- **Método Bibliográfico Documental**

Con la ayuda de este método se analizará la información necesaria sobre la rehabilitación motora enfocada a entornos virtuales y realidad aumentada para dar tratamiento a personas con daño cerebral adquirido específicamente con problemas en sus extremidades inferiores, además se tomará en cuenta los resultados

obtenidos en comparación a otras aplicaciones y a métodos de rehabilitación tradicional.

- **Método Inductivo – Deductivo**

Mediante este método se diseña la programación para la creación del entorno virtual, en el que consta tareas propuestas para el paciente; en dichos entornos se presenta objetos fáciles de identificar en la vida diaria.

- **Método Experimental**

Mediante esta metodología se manipula las señales del giroscopio que contienen los dispositivos, de esta manera se controla y visualiza los movimientos de las extremidades inferiores en la interfaz virtual.

3.3. Tipos de investigación

- **Investigación fundamental**

Se desarrolló una aplicación tecnológica que permite un progreso en las técnicas de rehabilitación, buscando desarrollar métodos que se basen en realidad virtual para complementar las rehabilitaciones tradicionales.

- **Investigación Exploratoria**

El proyecto de investigación se realizó de manera general en base a realidad virtual utilizando el paquete 3-Space Mocap, para implementar un sistema de rehabilitación en personas con

alteraciones neurológicas en las extremidades inferiores, de esta manera las futuras aplicaciones serán más específicas.

3.4. Desarrollo de la investigación

En el desarrollo de la investigación del presente proyecto se estudia las alteraciones neurológicas que producen un daño a las extremidades inferiores de la persona afectada, pero para que esta lesión tenga una recuperación no debe ser permanente es decir tendrá que ser de clase C6 según especialistas este tipo es cuando una persona pierde la movilidad de la cintura para abajo, siendo posible su recuperación mediante terapias u otros métodos clínicos por lo que esta investigación se concentró en la fisioterapia realizada a pacientes con lesiones no severas de posible recuperación de sensibilidad de movimiento de la extremidad inferior afectada.

La investigación se realizó en base a un tratamiento de fisioterapia para así diseñar el proyecto según lo implementado o utilizado en terapias tradicionales, se investigó como son los ejercicios desarrollados por especialistas para implementarlos en el sistema de realidad virtual mediante un AVATAR que captura los movimientos de la persona.

Según lo investigado, el diseño mostrado a continuación en el diagrama de flujo de la figura 16 define como está desarrollado el método para que una persona con discapacidad tipo C pueda recuperar la movilidad en base a terapias con realidad virtual por lo que se busca tener una mayor estimulación.

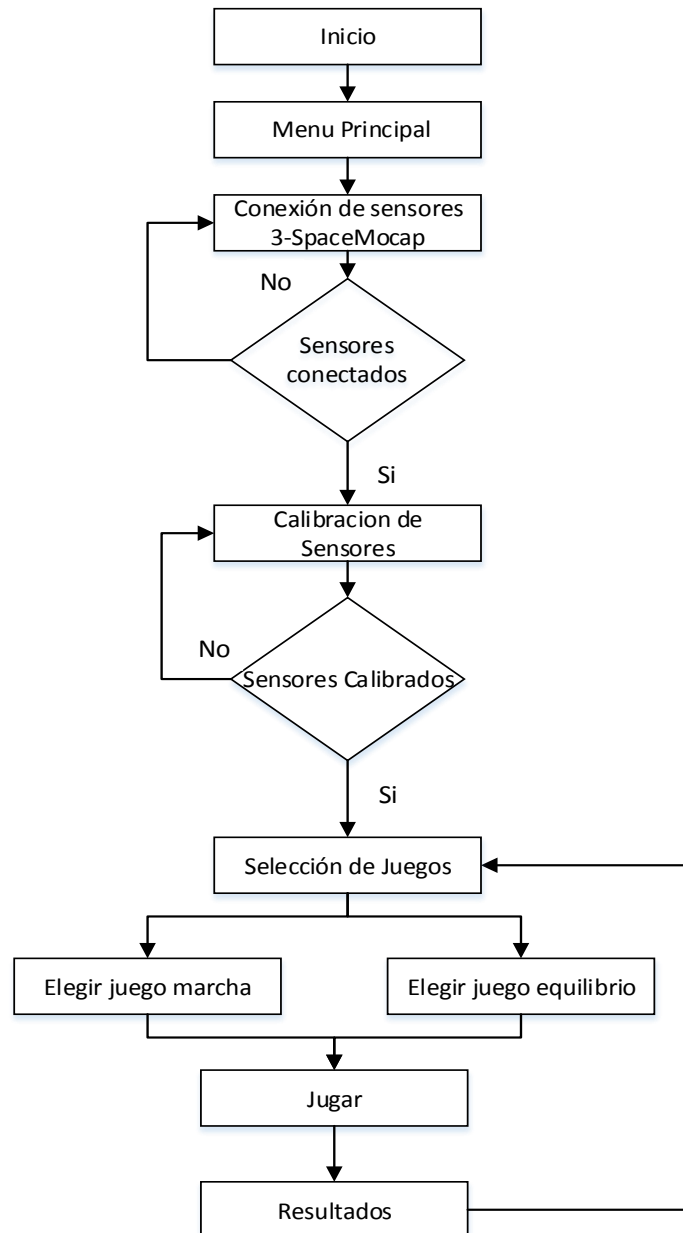


Figura 16: Diagrama de flujo del proyecto de investigación

El sistema implementado fue probado con pacientes de Latacunga con alteraciones neurológicas en sus extremidades inferiores, para lo cual el sistema fue utilizado por algunos pacientes que ya realizan algún tipo de rehabilitación, lo que permite realizar una comparativa si este tipo de tratamiento es adecuado y así poder evaluarlo con las personas que lo probaron.

El sistema ha sido diseñado con el objetivo de evitar el estrés o decepción por parte de las personas que adquieren este tipo de condición o lesión temporal adquirida, de esta manera hacer más amena su recuperación aumentando la estimulación, empleando técnicas ya utilizadas adaptadas a la tecnología mediante realidad virtual.

A continuación, se detalla el diagrama que define los pasos que se siguieron durante la investigación, elaboración e implementación.

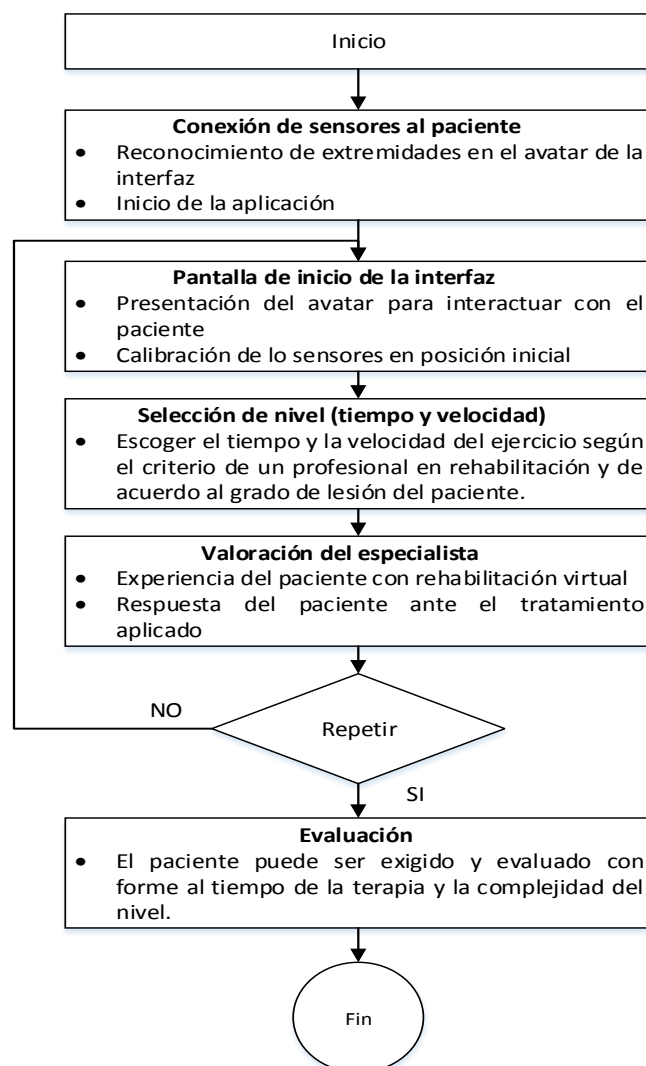


Figura 17: Diagrama de flujo general del proyecto de investigación.

3.5. Niveles de investigación

- **Investigación exploratoria**

Se investigó sobre cómo se realizan las terapias tradicionales para así determinar los ejercicios que tienen más estimulación y de esta manera mediante un avatar poder recrearlos aplicando realidad virtual, para determinar el tiempo y el esfuerzo al que debe ser sometido el paciente para tener una rehabilitación conforme a lo recomendado por especialistas en el tema.

- **Investigación de comprobación**

Se realizaron pruebas de comprobación del proyecto en pacientes con prótesis de rodilla como se observa en la figura 18 la utilización del prototipo por parte de un paciente, comprobó que la investigación está correctamente orientada siendo posible tener una rehabilitación con realidad virtual que estimule a las personas de mejor manera y reduzca el estrés al realizar la misma



Figura 18: Etapa de comprobación del proyecto en pacientes con prótesis de rodilla.

En esta etapa de investigación se comprobó que los sensores captan correctamente los movimientos y los representan en el avatar. Además, se recolectó información sobre cómo los pacientes se sienten más a gusto al momento de realizar una rehabilitación.

3.6. Población y muestra

Población

En el país existe un 5,6% de personas con discapacidad según el CONADIS que incluyen personas con discapacidad de todo tipo temporal y permanente de los 14 millones de habitantes que contemplan los habitantes del Ecuador por lo que la población para este proyecto de investigación son todos los discapacitados del país que tengan un problema de discapacidad que sea tratable y así recuperar la movilidad en un porcentaje casi igual al que tenía la persona antes de sufrir o adquirir una lesión.

Muestra

La muestra que se tomó para este proyecto son los pacientes que se encuentran realizando rehabilitación en el hospital del IESS para recuperar la movilidad en sus extremidades inferiores, para lo cual se tomó como sujetos de prueba a cuatro pacientes con los que se probó los niveles del sistema y también cada entorno desarrollado para realizar la rehabilitación en cada persona o paciente.

3.7. Técnicas de recolección de datos

Para validar el sistema se realizaron pruebas de usabilidad con 4 pacientes, tres hombres y una mujer entre las edades de 60 y 78 años, para realizar estas pruebas se tomó en cuenta a gente mayor

a los 20 años y menores a 80 años que tengan algún tipo de discapacidad en las rodillas, por ejemplo, artrosis de rodilla.

Dichas pruebas no las pueden realizar personas que tengan deficiencia visual y/o auditiva ya que la persona debe interactuar directamente con la interfaz que contiene gráficos y sonidos.

Para validar un sistema virtual de rehabilitación varios autores utilizan el test de usabilidad. A continuación, se mostrarán los resultados de usabilidad del sistema, los mismo que permiten determinar la aceptación o no de los pacientes, el test utilizado es el SEQ desarrollado por Gil-Gómez. (Gil Gómez, Albiol , Gil Gomez, Aula Valero, & Lozano Quilis, 2012).

El test permite obtener información de cada uno de los pacientes acerca de la usabilidad del sistema de realidad virtual en aspectos como: sensación, facilidad, seguridad, incomodes, etc.

El SEQ consta de 14 preguntas, 13 de ellas tienen una calificación de 1 a 5 puntos, mientras que la última pregunta es para que el paciente describa si se sintió incomodo al utilizar el sistema y de ser así explique las razones,

Lo recomendable es que el SEQ se llene después de realizar la primera intervención con el sistema, las preguntas Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 y Q11 se califican de 1 a 5 mientras que las preguntas Q7, Q8, Q9, Q10, Q12 y Q13 se califican de forma inversa, por lo tanto, hay que tener en cuenta el momento de tabular ya que la puntuación de 1 pasara a ser 5. Como se mencionó anteriormente la última pregunta (Q14) es abierta, para que el paciente responda con respecto al nivel de conformidad que obtuvo al utilizar el sistema.

Si el rango de los resultados está entre 40-65 se considera que el sistema desarrollado es aceptable para rehabilitación. (3D Virtual System Trough 3 Space Mocap Sensors for Lower Limb Rehabilitation, 2017)

Tabla 1

SEQ. Promedio y desviación estándar

Pregunta	Resultado (N=4)	
	Mean	SD
Q1. ¿Cuánto disfrutó su experiencia con el sistema?	4	0,71
Q2. ¿Te has sentido cómo si estuvieras dentro del sistema?	3,5	1,11
Q3. ¿Termino con éxito el Sistema?	4,75	0,43
Q4. ¿Hasta qué punto fue capaz de controlar el sistema?	3,5	0,5
Q5. ¿Qué tan real es el entorno virtual del sistema?	4,75	0,43
Q6. ¿Está clara la información proporcionada por el sistema?	5	0
Q7. ¿Ha sentido molestias durante su experiencia con el sistema?	1,25	0,43
Q8. ¿Experimentó mareos o náuseas durante su práctica con el sistema?	1	0
Q9. ¿Experimentó molestias oculares durante su práctica con el sistema?	1,25	0,43
Q10. ¿Se sintió confundido o desorientado durante su experiencia con el sistema?	1,75	1,29
Q11. ¿Cree usted que este sistema será útil para su rehabilitación?	5	0
Q12. ¿Ha encontrado la tarea difícil?	2,25	1,08
Q13. ¿Considera que los dispositivos del sistema son difíciles de usar?	1	0
PUNTUACION GLOBAL (total)	53	0,56

El sistema de rehabilitación virtual fue implementado en 4 pacientes que tienen artrosis de rodilla, la usabilidad se evaluó mediante el test SEQ con resultados de $(53 \pm 0,56)$, esto indica que el sistema de realidad virtual indica una aceptación para ser utilizado en rehabilitación, ya que los pacientes sienten inmersión y gusto en el juego, no presentan ningún tipo de molestia o dificultad al utilizarlo. (3D Virtual System Trough 3 Space Mocap Sensors for Lower Limb Rehabilitation, 2017)

3.7.1. Instrumentos

El instrumento utilizado es el teste de usabilidad SEQ Anexo 1, que recoge datos sobre como el paciente se sintió después de realizar la terapia utilizando el sistema.

CAPÍTULO IV

4. EXPERIMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Para el desarrollo del presente capítulo se utiliza las fases principales de diseño de simulación de realidad virtual sugerido por (Mejía Luna, 2012) que se muestra en la figura 19.

Al seguir estas fases de diseño se puede obtener una validación de la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto, para que el mismo sea un sistema de calidad ya que dichas fases están orientadas a la experimentación e implementación.

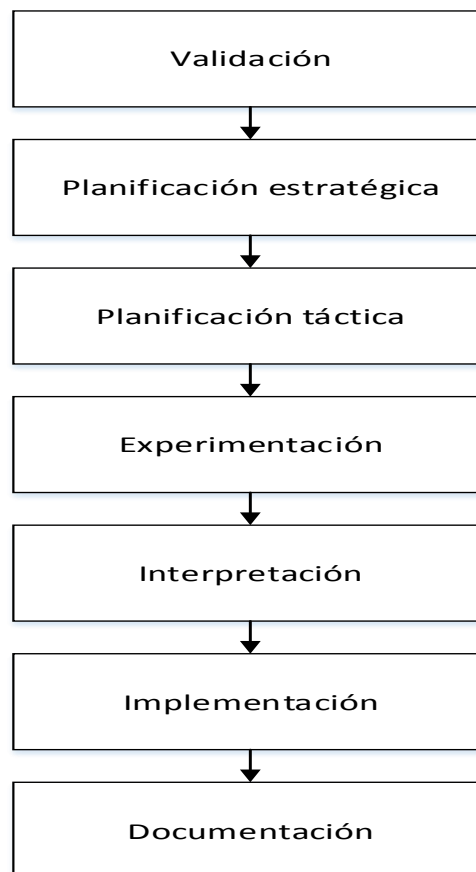


Figura 19: Fases principales del diseño de simulación

Fuente: (Mejía Luna, 2012)

4.1. Validación

Para la validación del sistema de rehabilitación virtual utilizando los sensores 3-Space Mocap se realiza una serie de pruebas las cuales consisten en evaluar distintas posiciones con el sistema de rehabilitación para posiciones evaluadas con el goniómetro físico, con lo cual se puede verificar los diversos comportamientos del sistema de rehabilitación.

Para una mejor organización y entendimiento de los datos de validación se utiliza tablas donde se indicará el error de las muestras, de esta manera se puede determinar la desviación estándar, así como también el rango de error que posee el sistema.

El análisis profundo con sus respectivas gráficas, tablas e imágenes están detalladas en el siguiente capítulo.

4.2. Planificación estratégica

Como se ha mencionado en este proyecto se presenta un sistema de rehabilitación virtual el cual permite la rehabilitación de las extremidades inferiores específicamente de las rodillas utilizando los sensores 3 Space Mocap, se diseña una interfaz mediante la cual interactúa el paciente con los video juegos proyectados a una pantalla mediante el computador, dichos juegos tienen una realimentación visual y auditiva garantizando que los ejercicios se terminen y sean realizados de forma correcta. En la figura 20 se muestra el sistema implementado.

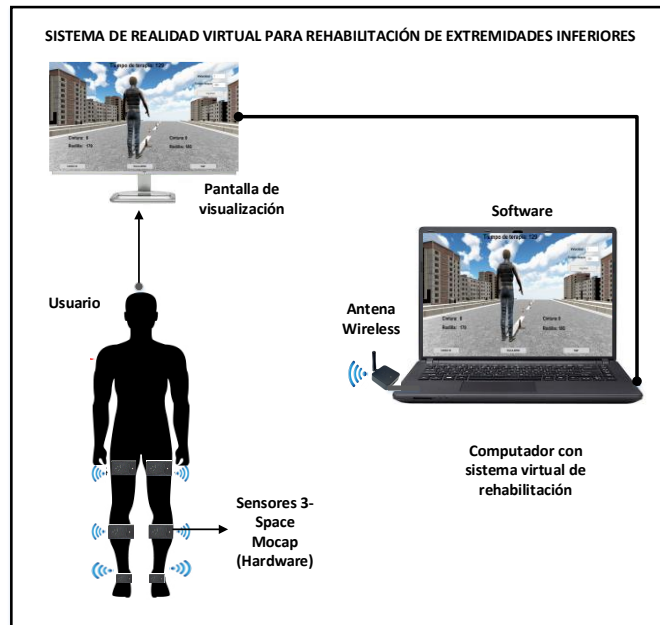


Figura 20: Sistema de rehabilitación virtual 3D para extremidades inferiores.

4.3. Planificación táctica

Para evaluar el sistema de rehabilitación virtual se obtiene la información necesaria de las posiciones adoptadas por los pacientes con sus extremidades inferiores, de esta manera se obtienen diversos ángulos, los mismos que servirán para dicha evaluación.

Se realizó varias evaluaciones de ángulos con diferentes posiciones de cada pierna, comprobando si el sistema responde de forma acertada a las mediciones tomadas por el instrumento patrón, en este caso un goniómetro.

4.3.1. Imágenes de posiciones a evaluar.

Las posiciones, así como los ángulos a ser evaluados en el experimento se las puede observar en las imágenes que se muestran a continuación.

En la primera evaluación se realiza 2 capturas, las cuales corresponden a la posición 0 y a la flexión de cadera, como se muestra en la figura 21. Las posiciones respectivas y los ángulos a ser evaluados se muestran en la tabla 2.

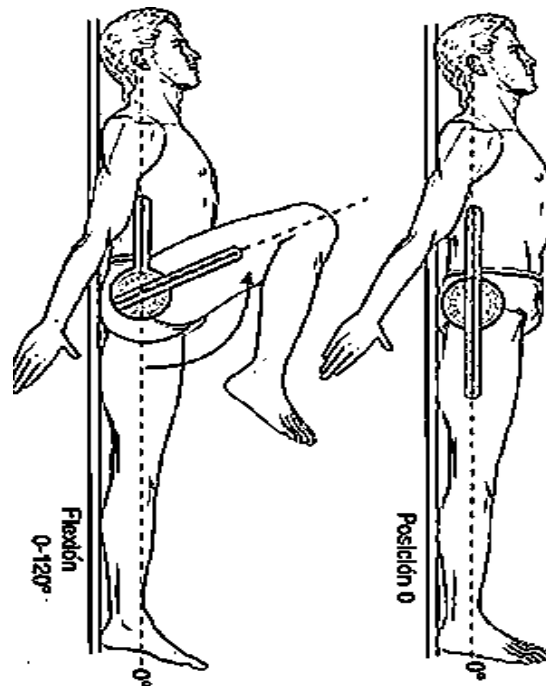


Figura 21: Flexión y posición 0 de cadera

Fuente: (Naranjo, 2011)

Tabla 2

Evaluación de cadera

Posición	Ángulo esperado
1. Posición cero	0°
2. Flexión (máx.)	120° a 135°

En la segunda evaluación se realizan tres capturas, la de posición 0, flexión y extensión de rodilla como se muestra en la figura 22 y figura 23 respectivamente. Las posiciones y los ángulos a ser evaluados se muestran en la tabla 3.

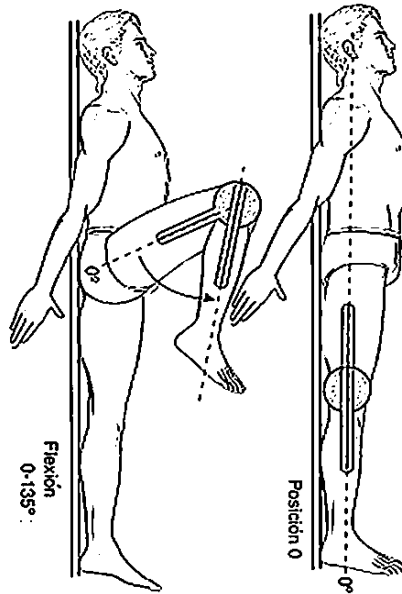


Figura 22: Flexión y posición 0 de rodilla

Fuente: (Naranjo, 2011)

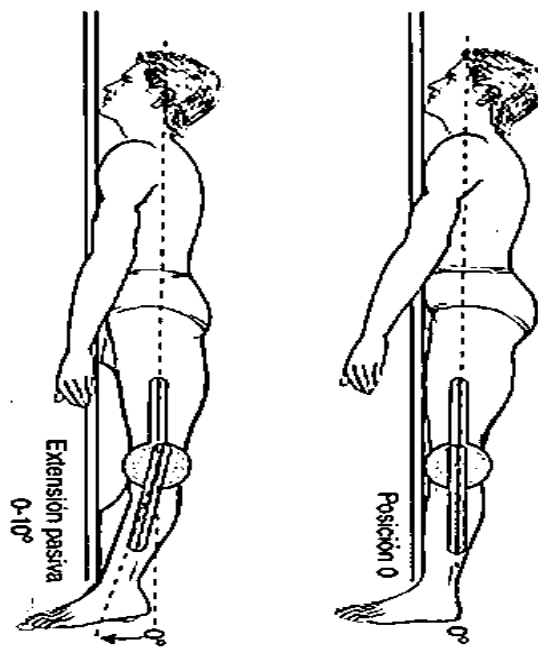


Figura 23: Extensión y posición 0 de rodilla

Fuente: (Naranjo, 2011)

Tabla 3**Evaluación de rodilla**

Posición	Ángulo esperado
1. Posición cero	0°
2. Flexión (máx.)	120° - 140°
3. Extensión	0° a 10°

4.4. Experimentación

A continuación, se describen los pasos que se toman en cuenta para la correcta realización y experimentación del sistema de rehabilitación virtual.

4.4.1. Primeros pasos antes del funcionamiento del sistema de realidad virtual.

1. El usuario a ser evaluado debe ocupar ropa deportiva, si es posible pantaloneta y camiseta para una colocación correcta de los sensores, de esta manera se podrá realizar de una forma más eficiente los ejercicios, como se muestra en la figura 24.

**Figura 24: Uso de vestimenta adecuada**

2. El usuario a ser evaluado debe tener una distancia de 3 a 4 metros respecto a la antena Wireless, esto permite la interacción correcta entre los sensores y las misma.



Figura 25: Ubicación correcta del usuario

4.4.2. Pasos a seguir para el funcionamiento del sistema

1. Ingresar al sistema y en el menú principal primero dar clic izquierdo en el botón “calibrar”, ya que en esta opción se realizará la calibración de los sensores.



Figura 26: Botón calibrar en el menú principal

- En la ventana calibrar el usuario debe leer y seguir los consejos que están descritos en la misma, posteriormente dar clic izquierdo en el botón “calibrar” y si se genera un error con la apertura del puerto de la computadora se debe desconectar y conectar nuevamente la antena.
- Esto se lo realizará hasta que no existe el error como se muestra en las figuras 27 y 28.

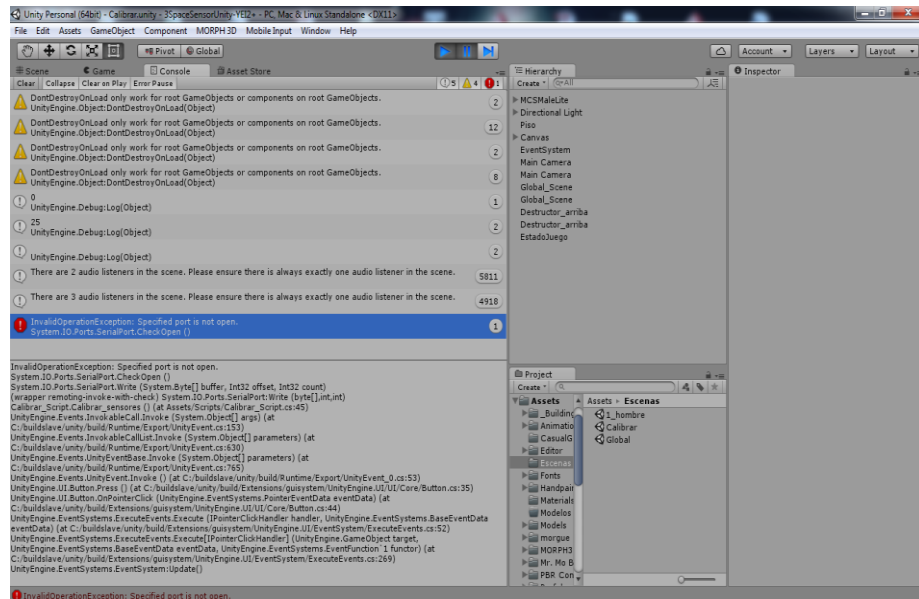


Figura 27: Error con la apertura del puerto de la computadora

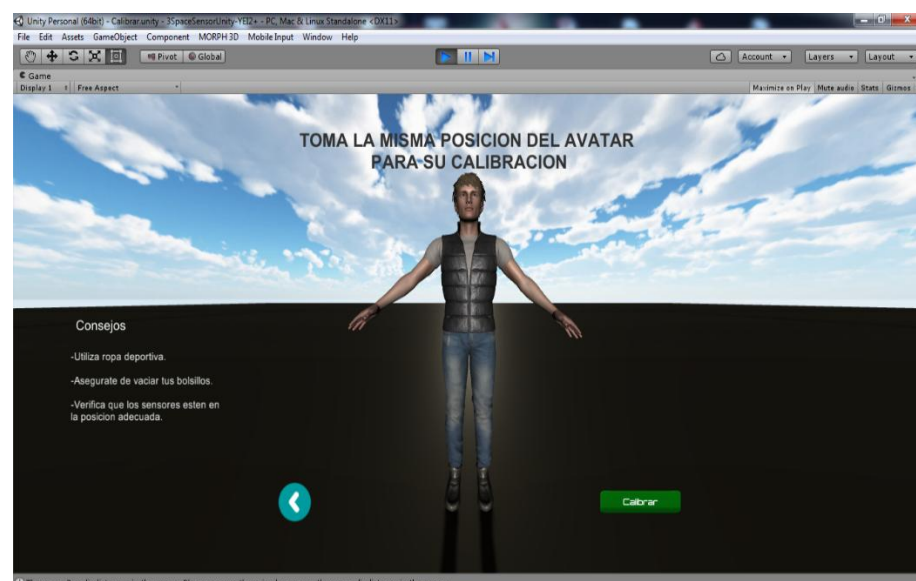


Figura 28: Sincronización correcta del computador con la antena

3. Para verificar si los sensores fueron correctamente calibrados ingresar dando clic izquierdo en el botón “jugar” como se muestra en la figura 29, en la ventana que se despliega a continuación se podrá observar el avatar con los movimientos de las piernas adquiridos por los sensores, como se muestra en las figuras 30 y 31.



Figura 29: Botón jugar en el menú principal

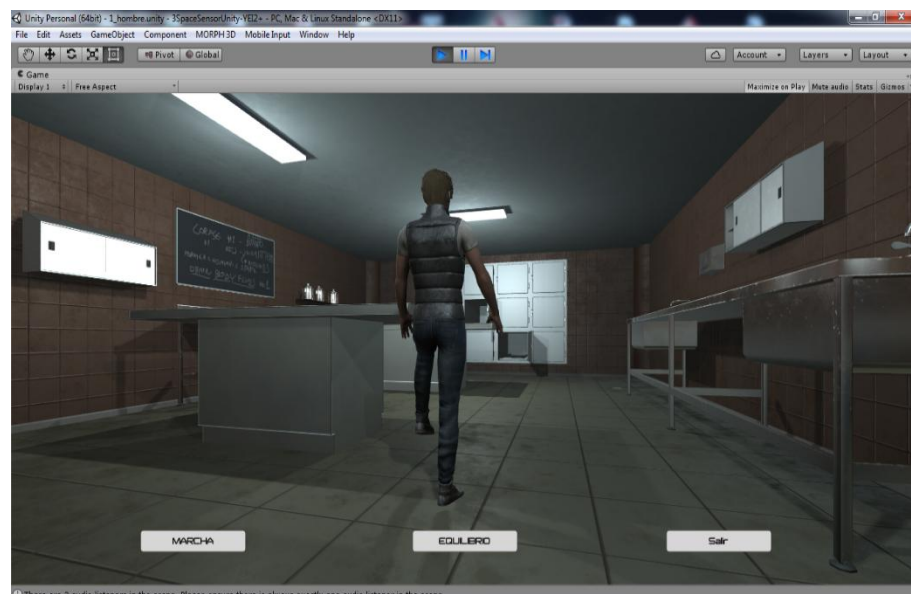


Figura 30: Calibración correcta de los sensores de la pierna izquierda

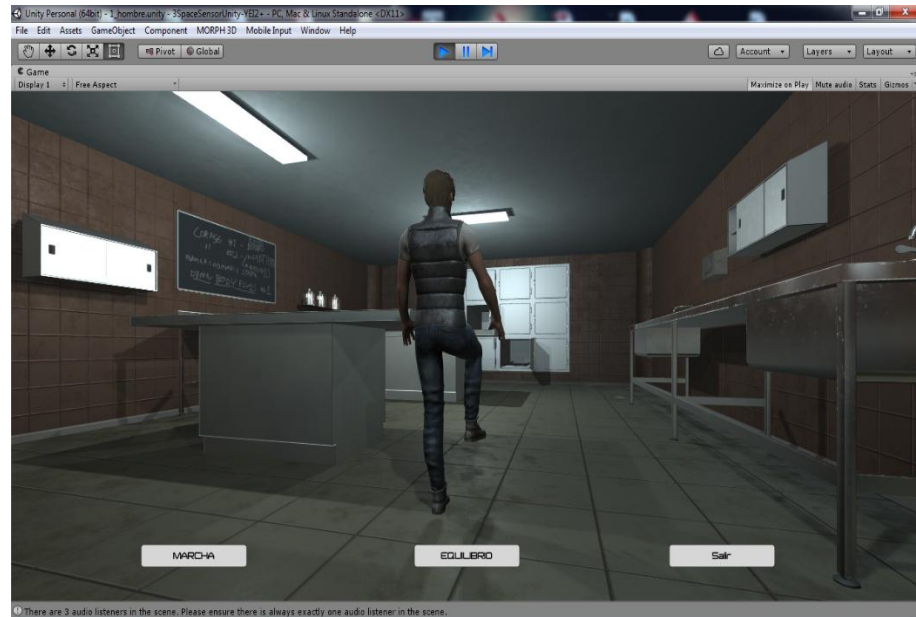


Figura 31: Calibración correcta de los sensores de la pierna derecha

4. Si los sensores no son calibrados de manera correcta, ya sea por no adoptar la posición adecuada o por no seguir los consejos como se muestran en la figura 28 se producirá una lectura errónea de la posición de las piernas como se observa en la figura 32.

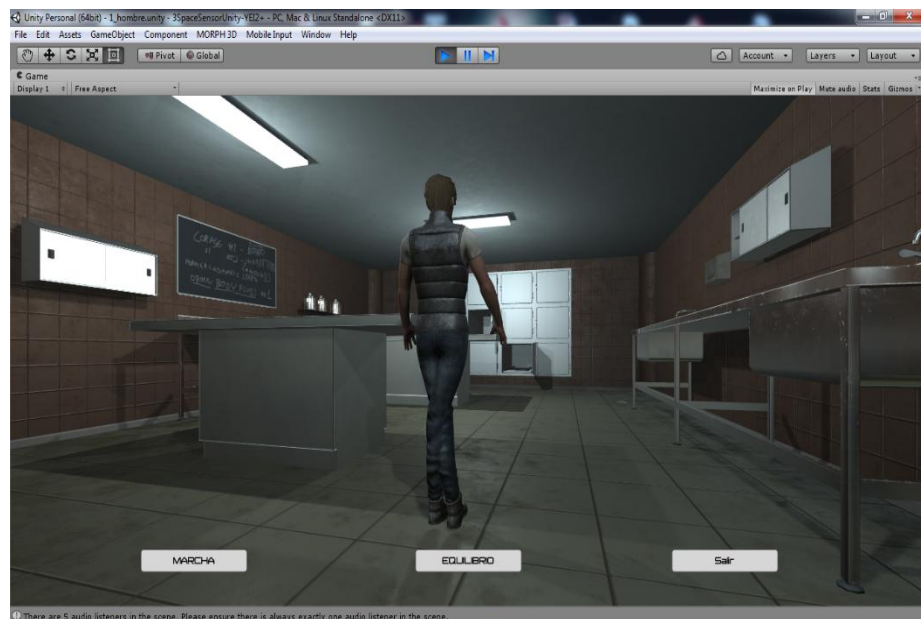


Figura 32: Calibración incorrecta de los sensores

5. En la ventana jugar se elige cualquiera de los dos juegos planteados en este sistema de rehabilitación, como es el de marcha y el de equilibrio como se muestra en las figuras 33 y 34.



Figura 33: Juego de rehabilitación por ejercicio de marcha



Figura 34: Juego de rehabilitación por ejercicio de equilibrio

6. Al final del ejercicio de rehabilitación se despliega una pantalla con los ángulos máximos de cadera y los ángulos mínimos de rodilla, con dichos ángulos el terapeuta podrá evaluar de una mejor manera al paciente como se muestra en la figura 35.

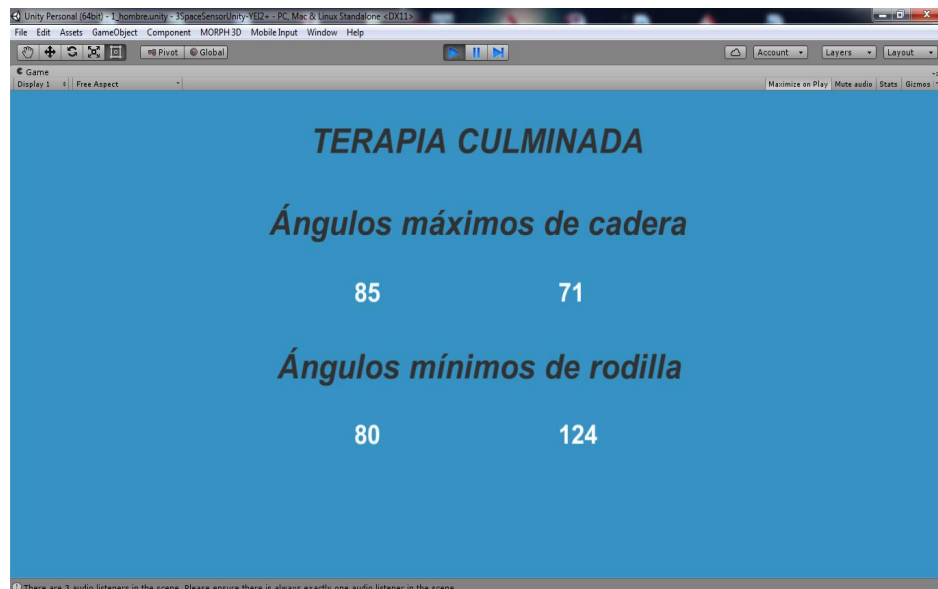


Figura 35: Resultados finales de la terapia

4.5. Interpretación

Para la interpretación de los resultados obtenidos en la evaluación de los ejercicios respectivos, se colocó cuadros de texto estáticos con mensajes de texto para que se pueda ingresar el tiempo, así como también la velocidad de la terapia como se muestra en la figura 36.

El tiempo es ingresado en segundos, mientras que la velocidad se la puede ingresar desde el valor de 1 y la misma depende del ordenador utilizado.

Además, se colocó cuadros de textos dinámicos los mismos que muestran en tiempo real los ángulos de cada una de las extremidades inferiores del usuario tanto de cadera como de rodilla como se muestra en la figura 37.



Figura 36: Ingreso de la velocidad y tiempo de terapia



Figura 37: Representación de los ángulos en tiempo real

4.6. Implementación

Para la implementación se utiliza las posiciones corporales descritas en la planificación táctica, de igual manera se debe seguir los pasos enumerados en la experimentación ya que de esta manera se

permite tener una idea lucida del funcionamiento del sistema de rehabilitación.

En la implementación se realiza las pruebas con las posiciones para cada una de las extremidades inferiores para determinar los ángulos obtenidos y compararlos con los rangos permitidos y descritos en las tablas de la planificación táctica.

4.6.1. Evaluación del área de detección correcta del usuario

Para evaluar el área de detección del usuario, se realiza pruebas donde se puede verificar el óptimo funcionamiento del sistema.

a) Posición sugerida del usuario

La distancia de 3-4 metros es la sugerida para el correcto funcionamiento del sistema y la detección adecuada de todos los sensores colocados en las extremidades inferiores como se observa en la figura 38



Figura 38: Posición correcta del usuario

b) Detección de extremidades inferiores

La distancia de 3-4 metros es la sugerida para el correcto funcionamiento del sistema y la detección adecuada de todos los sensores colocados en las extremidades inferiores como se observa en las figuras 39 y 40.



Figura 39: Detección correcta de la extremidad inferior derecha

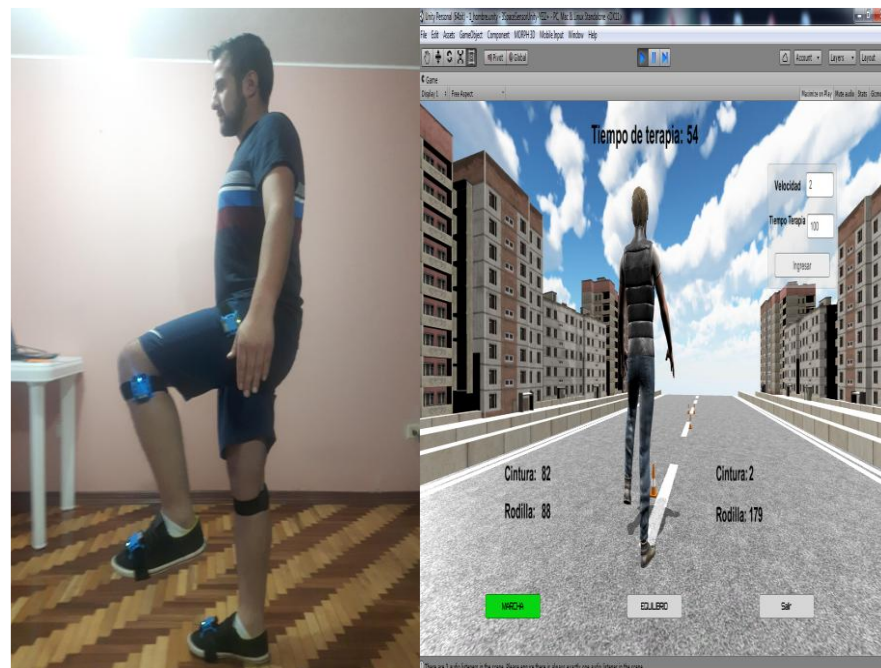


Figura 40: Detección correcta de la extremidad inferior izquierda

c) Detección de las extremidades inferiores realizando flexión

En esta prueba se realiza el ejercicio de flexión con la posición mencionada anteriormente, de esta manera se puede observar en la figura 41 los movimientos realizados por la cadera izquierda y adquiridos por el sistema.

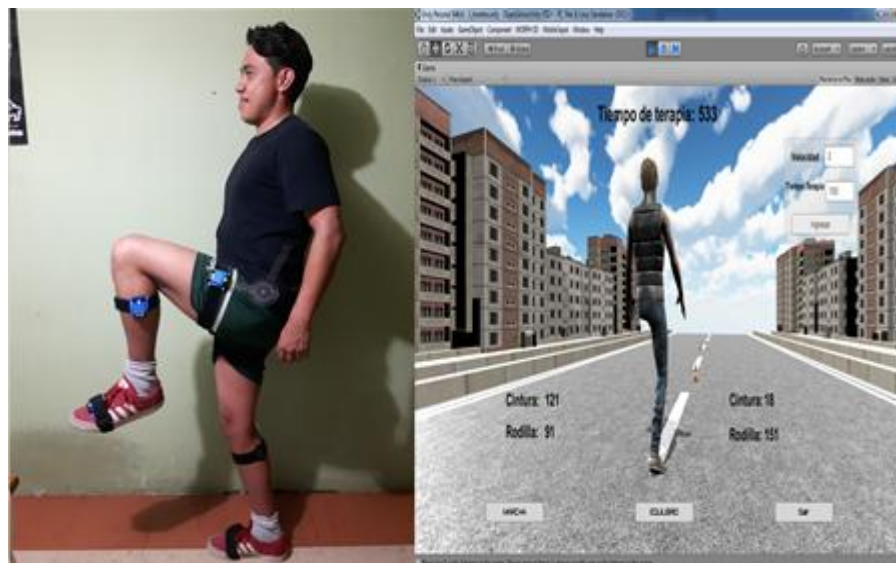


Figura 41: Posición correcta realizando flexión

4.6.2. Resultados de la implementación

El resultado obtenido de las pruebas realizadas en la implementación permite evaluar el correcto funcionamiento del sistema, así como también permite determinar si los ángulos evaluados en posiciones específicas son los correctos.

A continuación, se realizan pruebas con tres usuarios, los primeros dos usuarios sólo realizarán los ejercicios con una de sus extremidades inferiores mientras que el tercer usuario los realizará con ambas extremidades, de esta manera se puede obtener más datos para el análisis respectivo del sistema.

a. Flexión de cadera derecha (Usuario 1)

Para evaluar el movimiento de flexión en la cadera derecha es necesario realizar dicho movimiento y enfocarse en los resultados de ángulos obtenidos en la interfaz del sistema, ya que los mismos pueden ser observados en tiempo real, de igual manera al final de la terapia se podrá visualizar una pantalla donde se despliega los ángulos máximos de cadera obtenidos por el usuario como se visualiza en las figuras 42, 43 y 44, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.

Tabla 4

Evaluación de cadera derecha (Usuario 1)

Posición	Ángulo esperado	Ángulo Obtenido
1. Posición 0	0°	0°
2. Flexión máx. (120° a 135 °)	120°	120°
3. Flexión a 50°	50°	50°

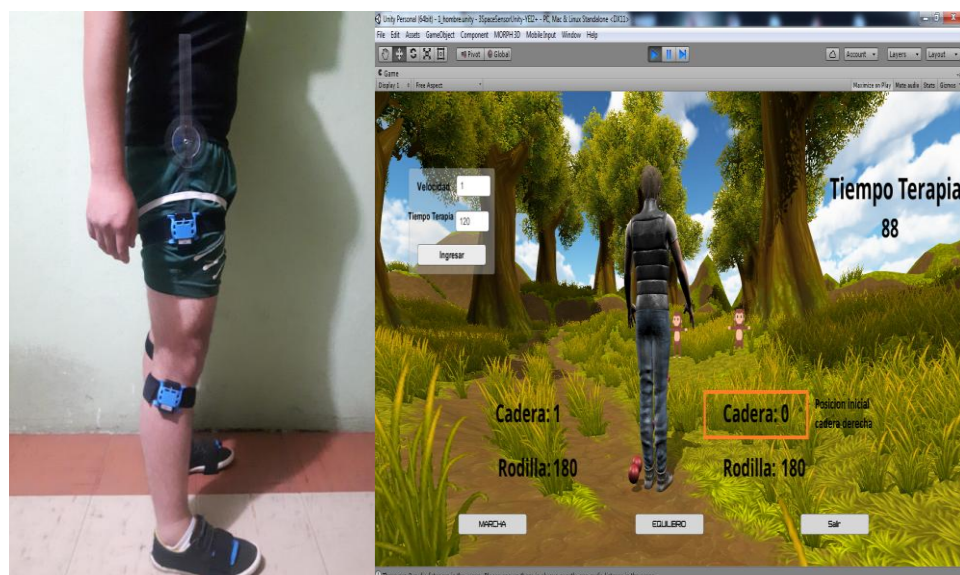


Figura 42: Posición cero de cadera derecha



Figura 43: Flexión de cadera derecha a 120°

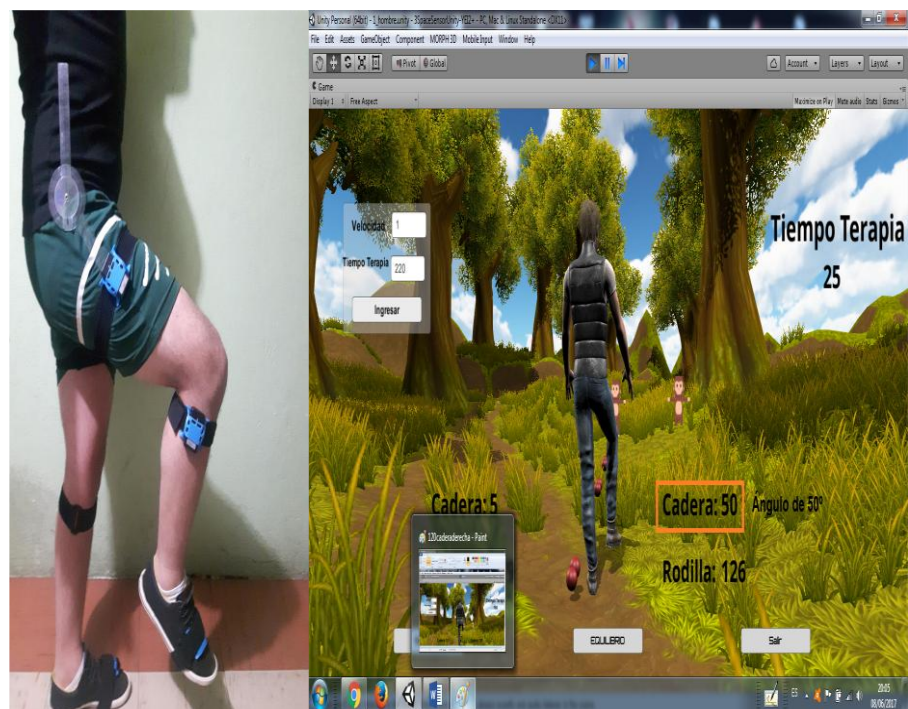


Figura 44: Flexión de cadera derecha a 50°

b. Flexión y extensión de rodilla derecha (Usuario 1)

De igual manera para evaluar la flexión y la extensión en la rodilla derecha es necesario realizar las pruebas

correspondientes y observar los ángulos obtenidos en la interfaz mediante los sensores utilizados como se muestra en las figuras 45, 46, 47 y 48, los resultados se observan en la tabla 5.

Tabla 5

Evaluación de la rodilla derecha (Usuario 1)

Posición	Ángulo esperado	Ángulo Obtenido
1. Posición 0	180°	180°
2. Flexión máx.(120° a 140°)	120°	125°
3. Flexión a 90°	90°	90°
4. Extensión máx. (0° a 10°)	180°	177°

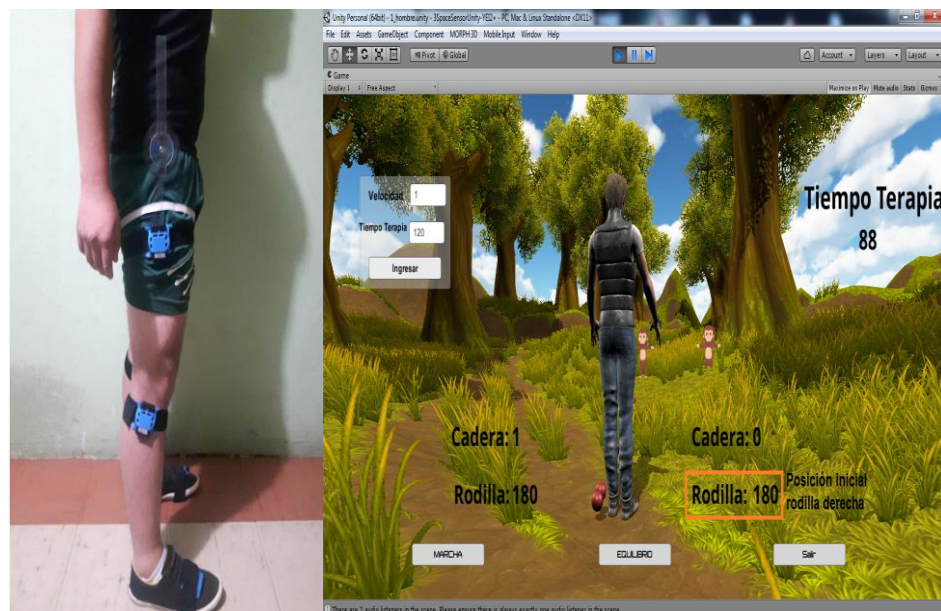


Figura 45: Posición cero de rodilla derecha

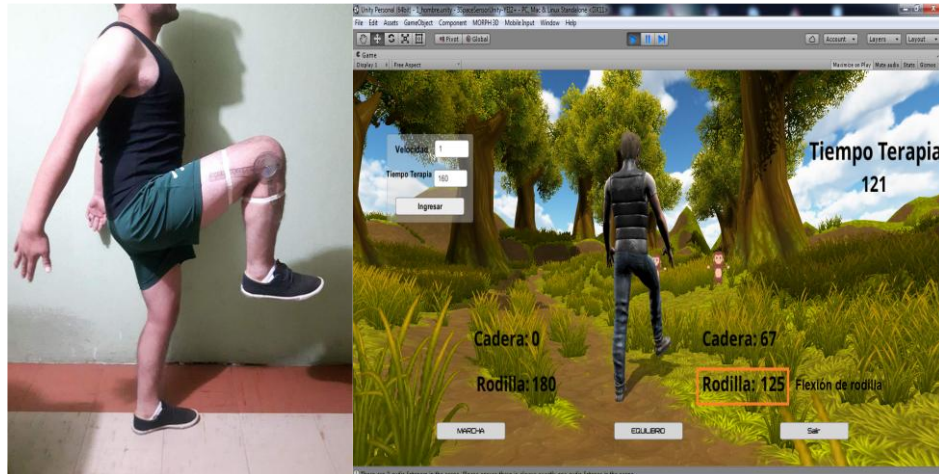


Figura 46: Flexión de rodilla derecha a 120°

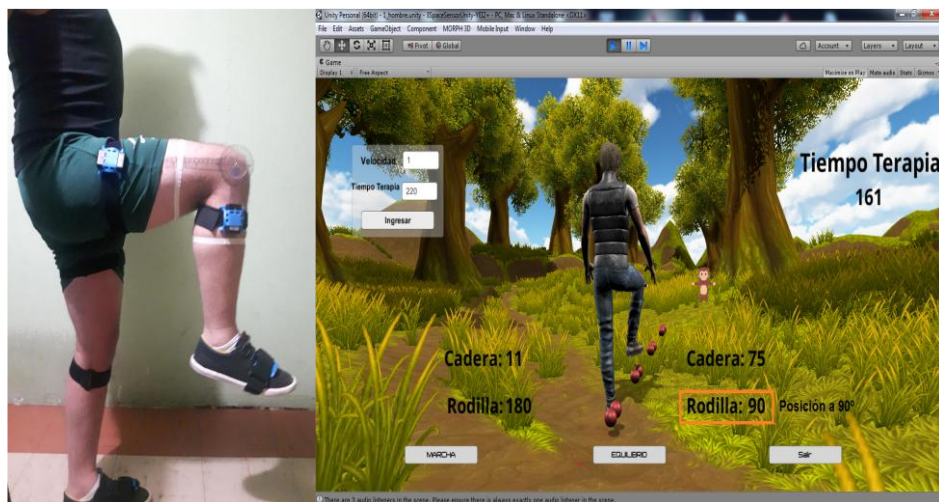


Figura 47: Flexión de rodilla derecha a los 90°

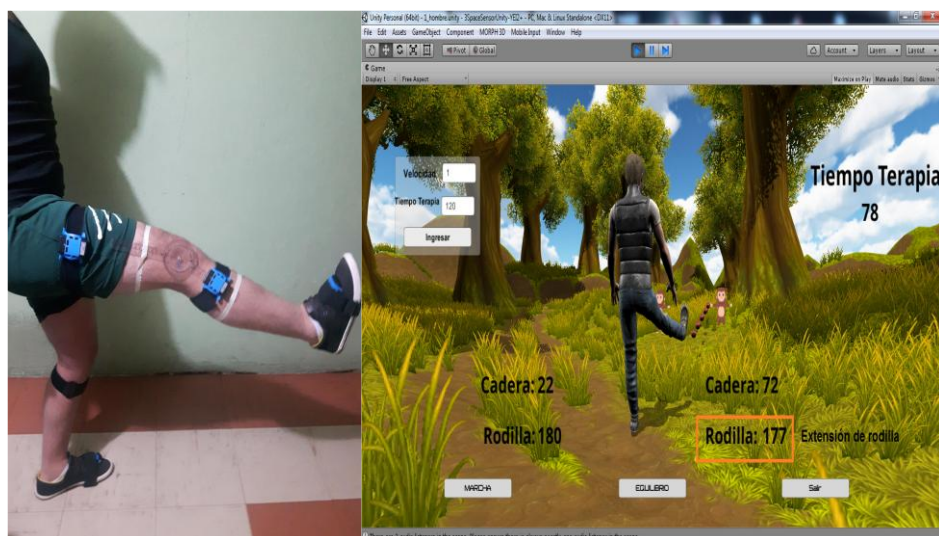


Figura 48: Extensión de rodilla derecha a 180°

c. Flexión de cadera izquierda (Usuario 2)

Al igual que en el literal (a) se realiza varias pruebas para obtener los movimientos deseados con respecto a la cadera izquierda, estas pruebas se las realizar con el usuario número 2 para verificar que el sistema funciona correctamente sin importar la persona que hace uso del mismo.

Como se sabe los ángulos se pueden visualizar en tiempo real en la interfaz al realizar la terapia, como se observa en las imágenes 49, 50 y 51, los resultados obtenidos a dichas pruebas se observan en la tabla 6.

Tabla 6

Evaluación de cadera izquierda (Usuario 2)

Posición	Ángulo esperado	Ángulo Obtenido
4. Posición 0	0°	0°
5. Flexión máx. (120° a 135 °)	120°	120°
6. Flexión a 65°	65°	70°

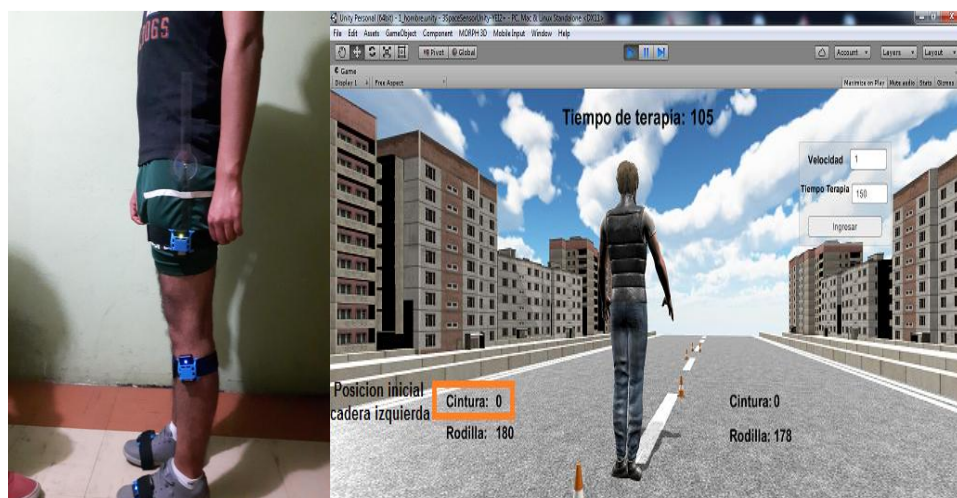


Figura 49: Posición cero cadera izquierda

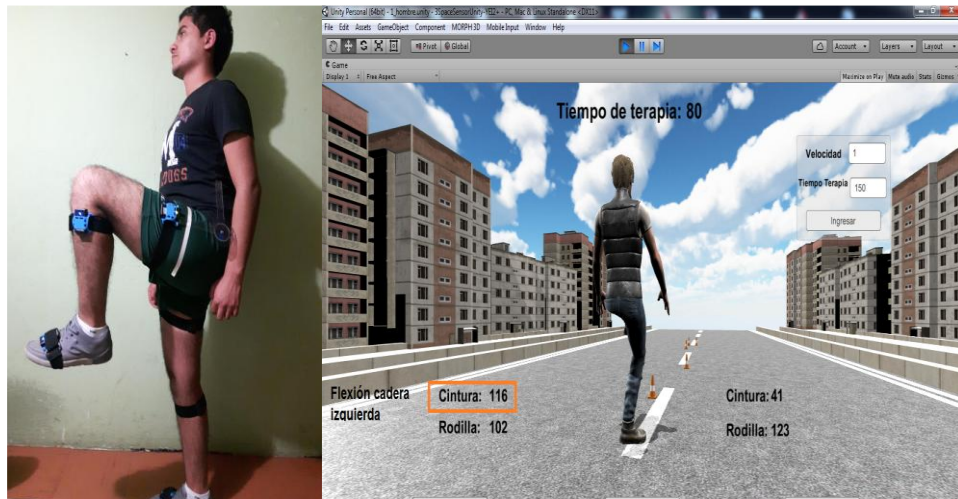


Figura 50: Flexión cadera izquierda a 120°

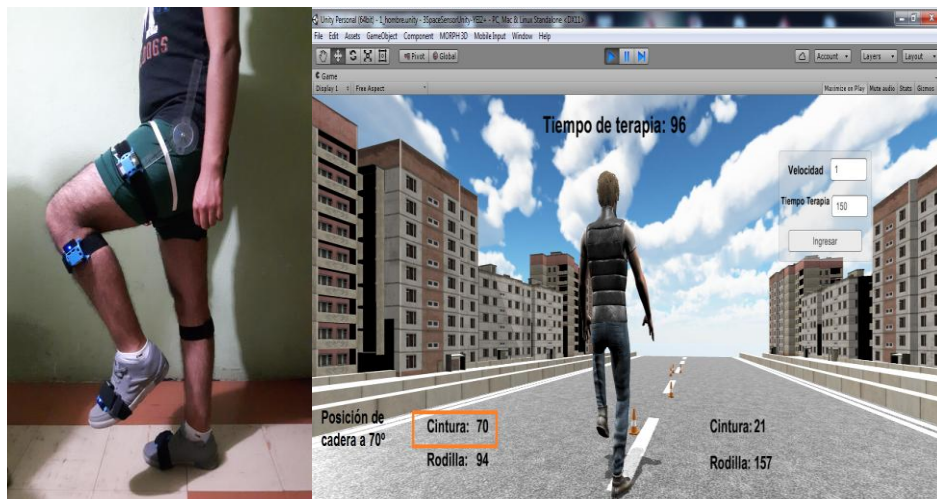


Figura 51: Flexión de cadera izquierda a 70°

d. Flexión y extensión de rodilla izquierda (Usuario 2)

En este literal se realiza los ejercicios de flexión y extensión, los ejercicios de extensión se los realiza con ángulos aleatorios mientras que el de extensión se lo realiza con un ángulo de 180°, dichos ejercicios los realiza el usuario número 2 y los ángulos obtenidos se los podrá visualizar en la interfaz del sistema como se muestra en las figuras 52, 53, 54 y 55, de igual manera los resultados obtenidos se observan en la tabla 7.

Tabla 7

Evaluación de la rodilla izquierda (Usuario 2)

Posición	Ángulo esperado	Ángulo Obtenido
1. Posición 0	180°	180°
2. Flexión a 135°	135°	135°
3. Extensión máx. (180°≈0° a 10°)	180°	176°



Figura 52: Posición cero de rodilla izquierda

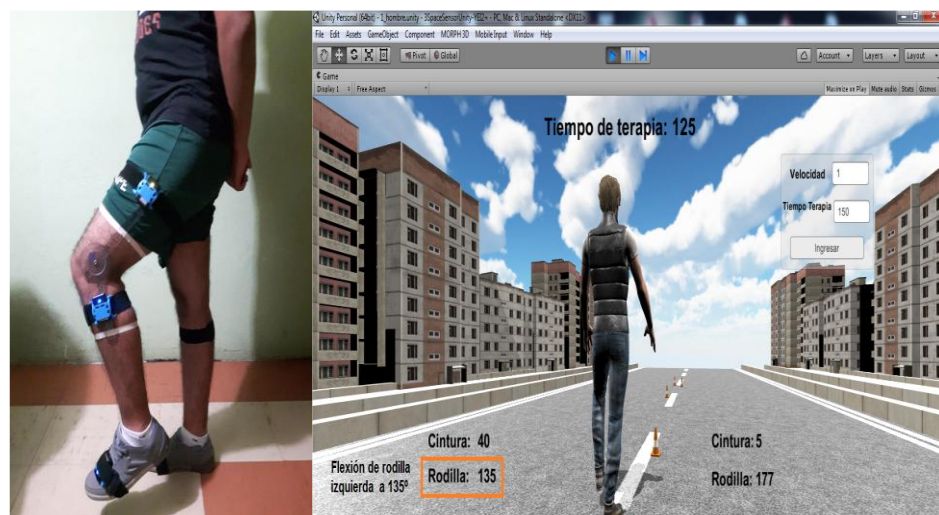


Figura 53: Flexión de rodilla izquierda a 135°

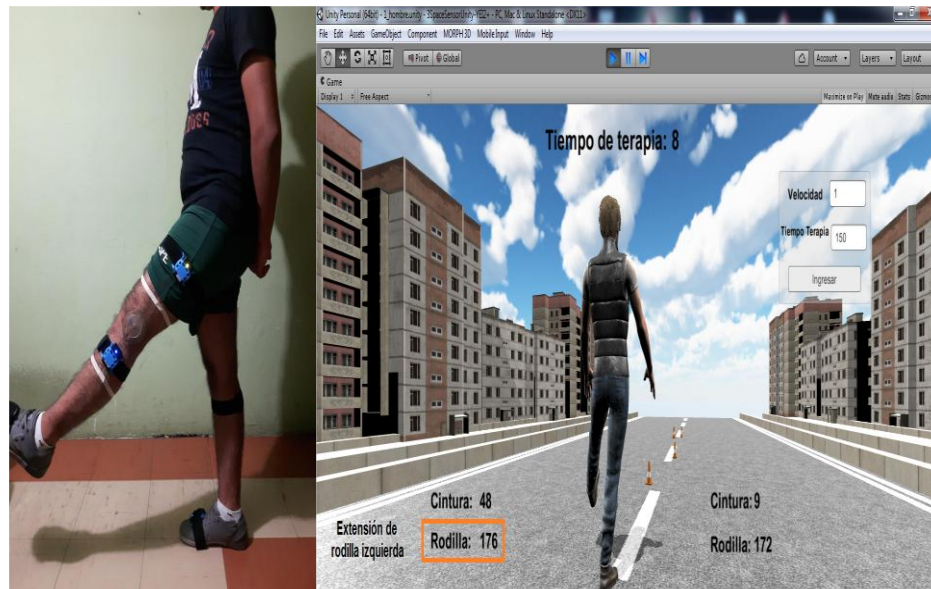


Figura 54: Extensión de rodilla izquierda a 180°

En los ítems a continuación (e) y (f) se prueba el sistema con el usuario número 3, el mismo realiza los ejercicios de cadera con la extremidad derecha y los ejercicios de rodilla con la extremidad izquierda, de esta manera se verifica que el sistema sirve para cualquier tipo de persona independientemente la extremidad que sea.

e. Flexión de cadera derecha (Usuario 3)

En este punto se realiza los ejercicios de cadera que se han venido realizando a los usuarios anteriores con diferentes ángulos de flexión, demostrando una vez más la efectividad y funcionabilidad del sistema.

Los resultados se pueden ver plasmados en la tabla 8 y los ángulos obtenidos en la terapia se pueden observar en las figuras 55, 56 y 57.

Tabla 8

Evaluación de cadera derecha (Usuario 3)

Posición	Ángulo esperado	Ángulo Obtenido
7. Posición 0	0°	0°
8. Flexión máx. (120° a 135 °)	120°	123°
9. Flexión a 85°	85°	87°

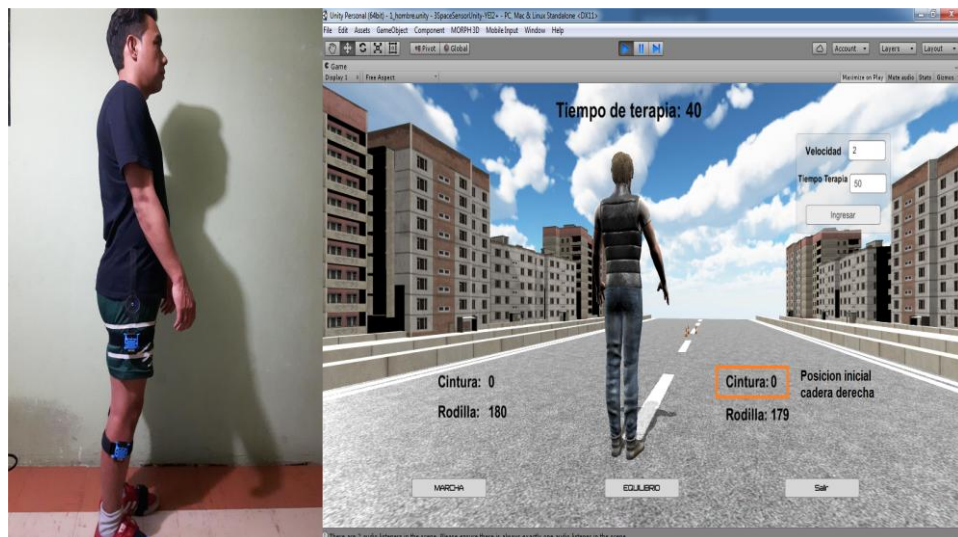


Figura 55: Posición cero cadera derecha

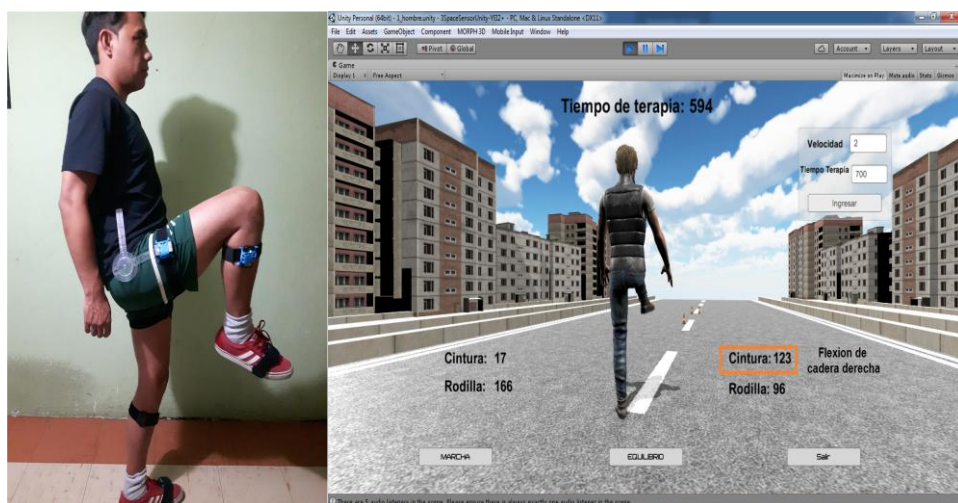


Figura 56: Flexión de cadera derecha a 120°

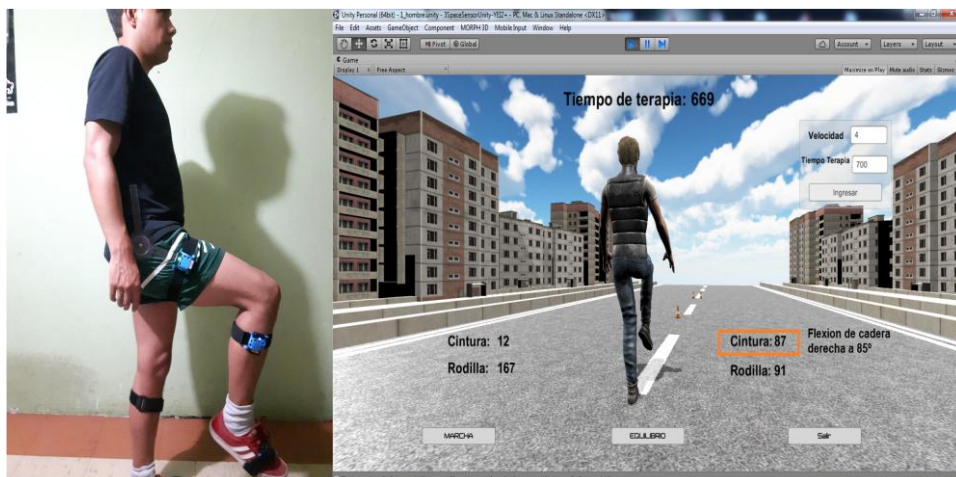


Figura 57: Flexión de cadera derecha a 85°

f. Flexión y extensión de rodilla izquierda (Usuario 3)

Como se mencionó anteriormente en este apartado se realizan los ejercicios de flexión y extensión de rodilla con el usuario número 3 en su extremidad izquierda, como se puede observar en las figuras 58, 59 y 60, los resultados se encuentran plasmados en la tabla 9.

Tabla 9

Evaluación de la rodilla izquierda (Usuario 3)

Posición	Ángulo esperado	Ángulo Obtenido
4. Posición 0	180°	180°
5. Flexión a 135°	135°	135°
6. Extensión máx (180°≈0° a 10°)	180°	176°

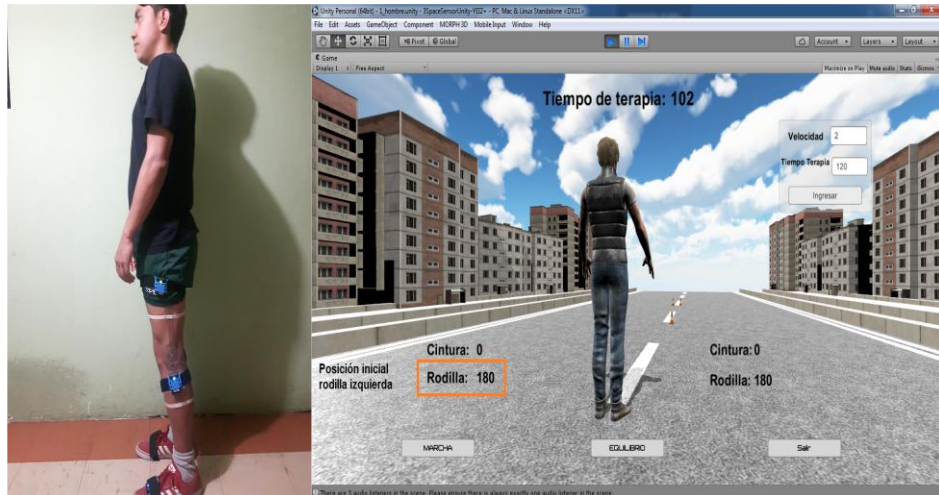


Figura 58: Posición cero rodilla izquierda

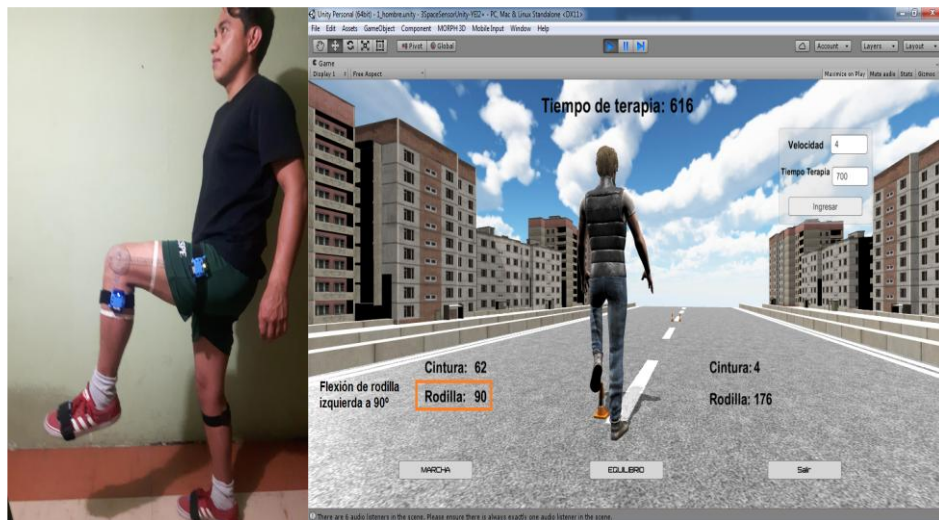


Figura 59: Flexión de rodilla izquierda a 90°

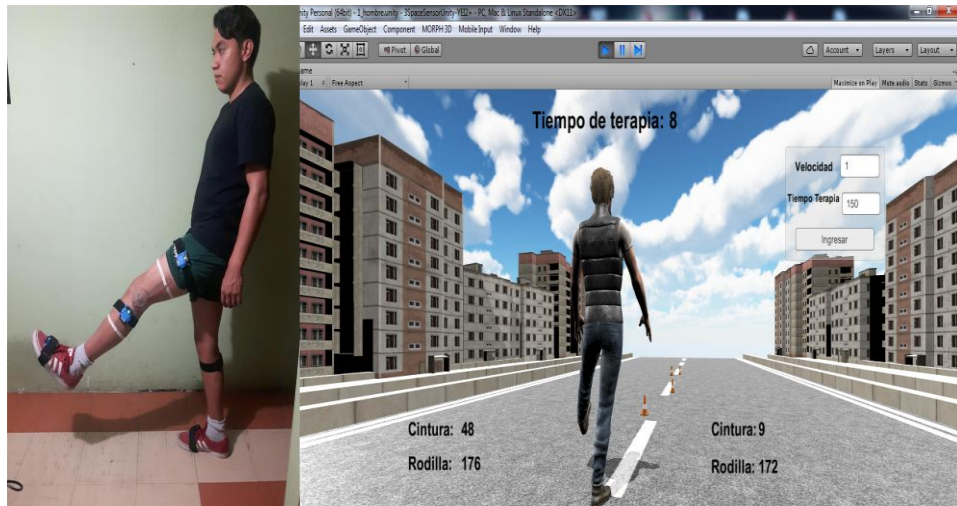


Figura 60: Extensión de rodilla izquierda a 180°

4.7. Documentación

Para la utilización fácil del sistema de rehabilitación virtual de extremidades inferiores y para dar el debido conocimiento del mismo al usuario, se ha desarrollado un manual el cual está presente en el anexo 2.

El objetivo de dicho manual es darle un conjunto de pasos a seguir al usuario para que de esta manera pueda evaluar los ángulos correspondientes a la cadera o a la rodilla independientemente sea izquierda o derecha.

Esto permite al usuario hacer el uso adecuado del sistema para obtener los resultados esperados.

CAPÍTULO V

1. RESULTADOS

1.1. Validación de la herramienta

Para la validación del sistema de realidad virtual denominado “Sistema de rehabilitación virtual para extremidades inferiores”, se desarrolló una serie de pruebas en la que las personas evaluadas toman diferentes posiciones con ángulos de flexión y extensión, los mismos que son medidos con el goniómetro físico, así como con la herramienta desarrollada, esto permite determinar el porcentaje de error y poder validar el sistema.

El método de validación consta de cuatro partes y es aplicado a 3 pacientes, las cuales son:

- Medición de ángulos cadera derecha
- Medición de ángulos cadera izquierda
- Medición de ángulos rodilla derecha
- Medición de ángulos rodilla izquierda

El experimento se lo realiza tomando los ángulos de la pierna izquierda de un paciente, la pierna derecha del segundo y ambas extremidades en el caso del tercer paciente.

Además, el experimento se lo realiza fijando el goniómetro en la extremidad a ser evaluada para así evitar modificar de alguna forma las mediciones, además todo el experimento se lo realizó con la supervisión de una licenciada en fisioterapia.

Las mediciones se las realiza en tiempo real, con una cámara se puede captar la imagen del usuario utilizando el goniómetro físico y a la vez se puede observar la imagen del avatar en el sistema para rehabilitación virtual como se observa en las figuras 61 y 62 correspondientemente.



Figura 61: Captura con Goniómetro físico



Figura 62: Captura del sistema de rehabilitación virtual

1.1.1. Toma de muestras de las pruebas realizadas con la pierna izquierda del usuario 1

Para la obtención de los datos en esta fase, se necesita que el usuario 1 se ubique en cuatro posiciones aleatorias para obtener el ángulo que se forma en la cadera y rodilla de dicha pierna. La primera posición será aproximada a 120° , la segunda entre 120° a 80° , la tercera posición entre 80° a 50° , y la última posición se encuentra en un rango de 50° a 0° , en el caso de la cadera. Para el caso de la rodilla se divide en intervalos de 20° a 60° en la primera posición, de 60° a 100° en el segundo, de 100° a 140° en el tercero y de 140° a 180° para el último. En la tabla 10 y 11 se muestra los datos resultantes del experimento en la pierna izquierda, así como también gráficos de los resultados en las figuras 63 y 64.

Tabla 10

Muestras obtenidas de la cadera izquierda

Número de muestra	Goniómetro físico	Sistema de rehabilitación	Error	Varianza	Desviación estándar
1	118	111	7	2,92	1,71
2	92	87	5		
3	73	69	4		
4	51	48	3		
		Promedio	4,75		

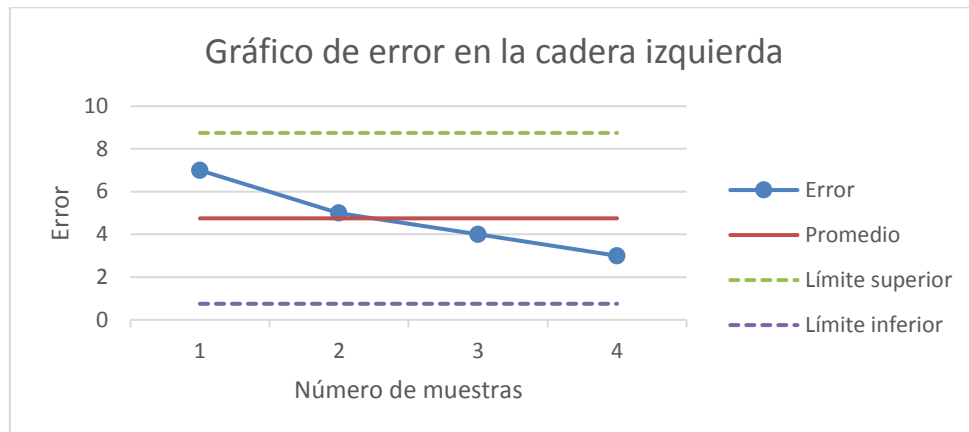


Figura 63: Gráfico de error en la cadera izquierda

Tabla 11

Muestras obtenidas de la rodilla izquierda

Número de muestra	Goniómetro físico	Sistema de rehabilitación	Error	Varianza	Desviación estándar
1	26	21	5	4,33	2,08
2	75	67	8		
3	136	130	6		
4	178	175	3		
Promedio:			5,5		

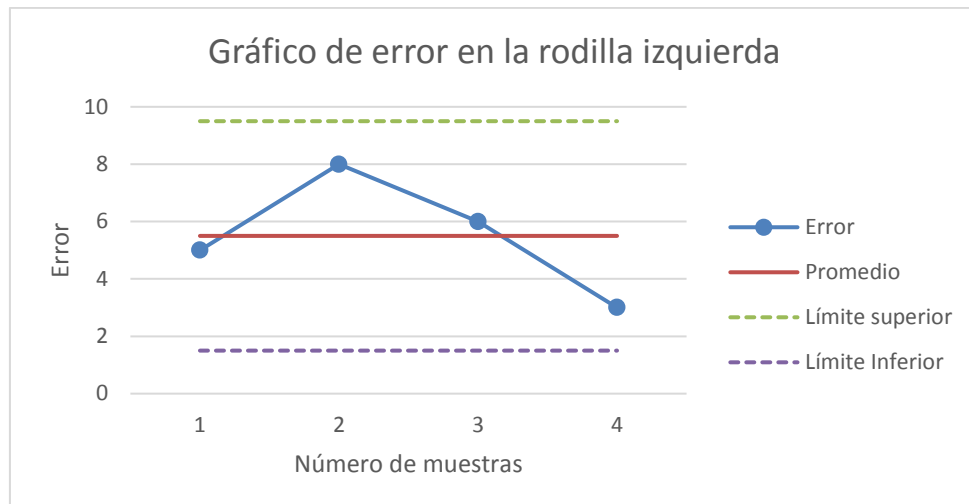


Figura 64: Gráfico de error en la rodilla izquierda

1.1.2. Toma de muestras de las pruebas realizadas con la pierna derecha del usuario 2

Para este apartado se realiza el mismo procedimiento anterior, es así que para la obtención de los datos con esta extremidad se necesita que el usuario 2 se ubique en cuatro posiciones aleatorias para obtener el ángulo que se forma en la cadera y rodilla de dicha pierna. Las posiciones serán tomadas como referencias las mencionadas para el usuario 1, la primera posición será aproximada a 120° , la segunda entre 120° a 80° , la tercera posición entre 80° a 50° , y la última posición se encuentra en un rango de 50° a 0° , en el caso de la cadera. Para el caso de la rodilla se divide en intervalos de 20° a 60° en la primera posición, en un rango de 60° a 100° en el segundo, de 100° a 140° en el tercero y un rango de 140° a 180° para el último. En la tabla 12 y 13 se muestra los datos resultantes del experimento en la pierna derecha, así como también gráficos de los resultados en las figuras 65 y 66.

Tabla 12

Muestras obtenidas de la cadera derecha

Número de muestra	Goniómetro físico	Sistema de rehabilitación	Error	Varianza	Desviación estándar
1	121	112	9	6,92	2,63
2	98	95	3		
3	57	52	5		
4	22	18	4		
Promedio:			5,25		

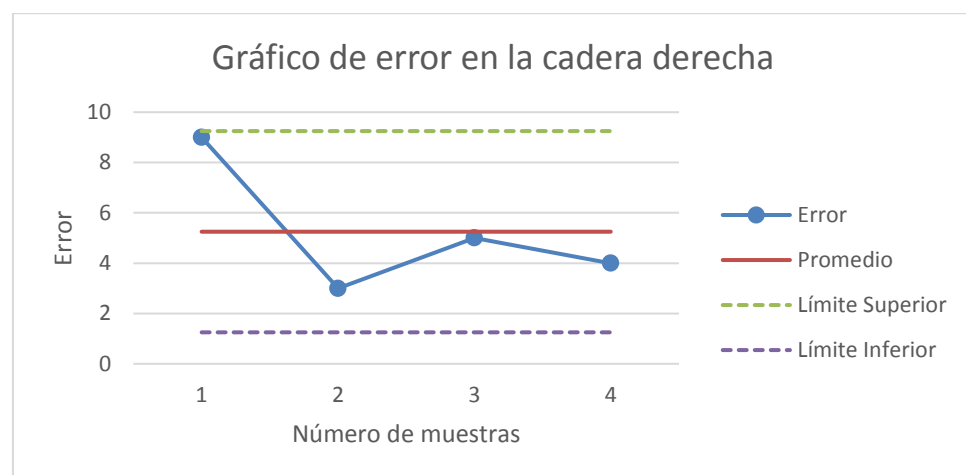


Figura 65: Gráfico de error de la cadera derecha

Tabla 13

Muestras obtenidas de la rodilla derecha

Número de muestra	Goniómetro físico	Sistema de rehabilitación	Error	Varianza	Desviación estándar
1	27	20	7	4,67	2,16
2	75	70	5		
3	148	142	6		
4	179	177	2		
Promedio:			5		

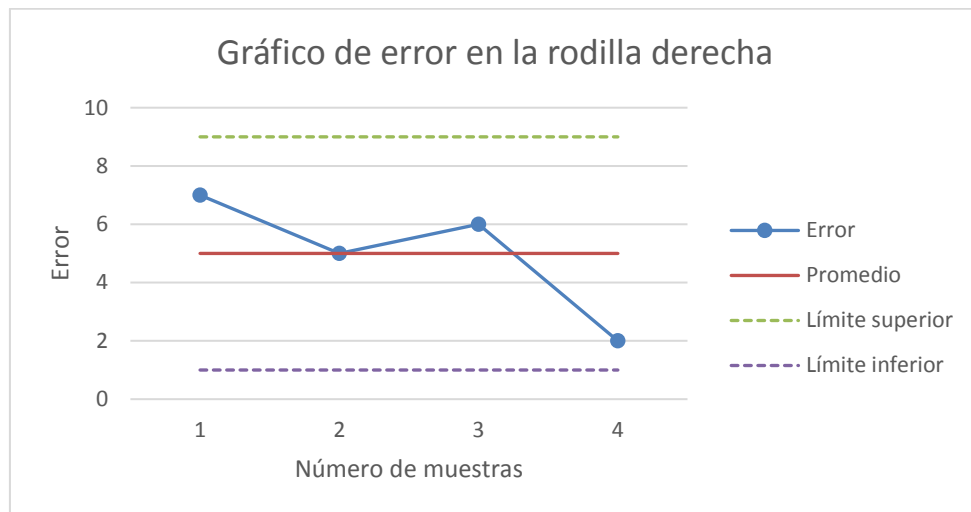


Figura 66: Gráfico de error en la rodilla derecha

1.1.3. Toma de muestras de las pruebas realizadas con las piernas izquierda y derecha del usuario número 3

En este caso se realiza exactamente el mismo procedimiento que se aplicó para el usuario 1 y 2 pero hay que tomar en cuenta que esta vez se realiza para ambas extremidades inferiores, de tal manera que se necesita que el paciente se ubique en cuatro posiciones aleatorias para obtener el ángulo que se forma en la cadera y rodilla de dicha pierna. La primera posición será aproximada a 120° , la segunda entre 120° a 80° , la tercera posición entre 80° a 50° , y la última posición se encuentra en un rango de 50° a 0° , en el caso de la cadera. Para el caso de la rodilla se divide en intervalos de 20° a 60° en la primera posición, en un rango de 60° a 100° en el segundo, de 100° a 140° en el tercero y un rango de 140° a 180° para el último. En las tablas 14 y 15 se muestra los datos resultantes del experimento en las piernas, así como también gráficos de los resultados en las figuras 67 y 68.

Tabla 14

Muestras obtenidas de la cadera izquierda y derecha

Número de muestra	Goniómetro físico	Sistema de rehabilitación	Error	Varianza	Desviación Estándar
1	124	117	7	3,43	1,85
2	127	119	8		
3	109	102	7		
4	105	100	5		
5	84	79	5		
6	81	75	6		
7	36	33	3		
8	31	28	3		
Promedio:			5,5		

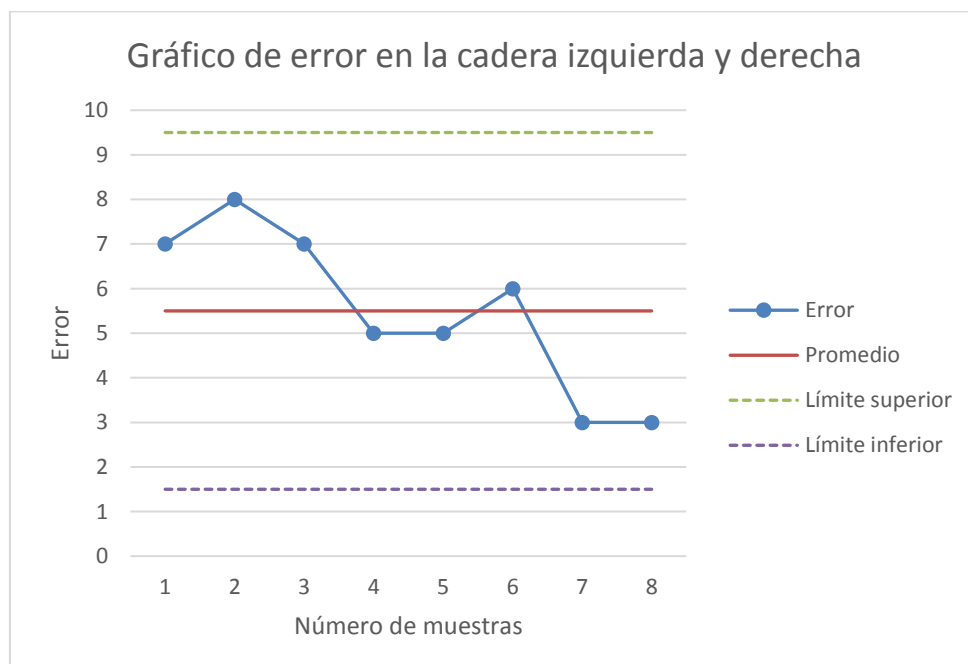


Figura 67: Grafico de error en la cadera izquierda y derecha

Tabla 15

Muestras obtenidas de la rodilla izquierda y derecha

Número de muestra	Goniómetro físico	Sistema de rehabilitación	Error	Varianza	Desviación Estándar
1	179	178	1	4,70	2,17
2	180	179	1		
3	147	144	3		
4	145	141	4		
5	81	75	4		
6	82	77	5		
7	36	30	6		
8	32	25	7		
Promedio:			3,88		

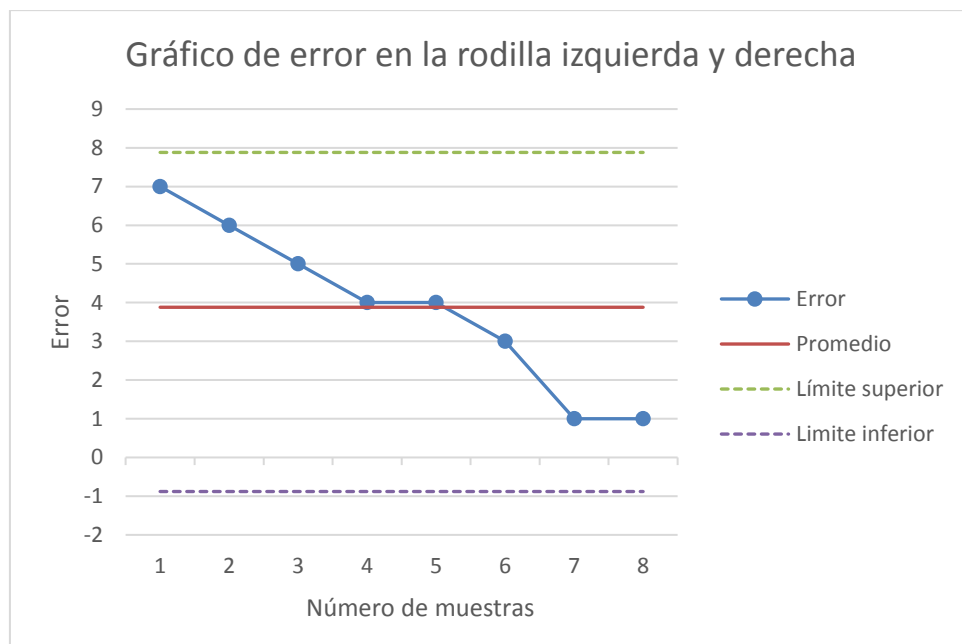


Figura 68: Gráfico de error en la rodilla izquierda y derecha

1.1.4. Recopilación de muestras

Como parte final para la validación de la herramienta “sistema de rehabilitación virtual para extremidades inferiores”, se presenta en las tablas 16 y 17 una recopilación de las muestras obtenidas en cada pierna en el experimento, así como también las gráficas finales del experimento como se visualiza en las figuras 69 y 70.

Tabla 16

Muestras obtenidas en el experimento respecto a la cadera

Número de muestra	Goniómetro físico	Sistema de rehabilitación	Error	Varianza	Desviación Estándar
1	118	111	7	3,67	1,91
2	92	87	5		
3	73	69	4		
4	51	48	3		
5	121	112	9		
6	98	95	3		
7	57	52	5		
8	22	18	4		
9	124	117	7		
10	127	119	8		
11	109	102	7		
12	105	100	5		
13	84	79	5		
14	81	75	6		
15	36	33	3		
16	31	28	3		
Promedio:			5,25		

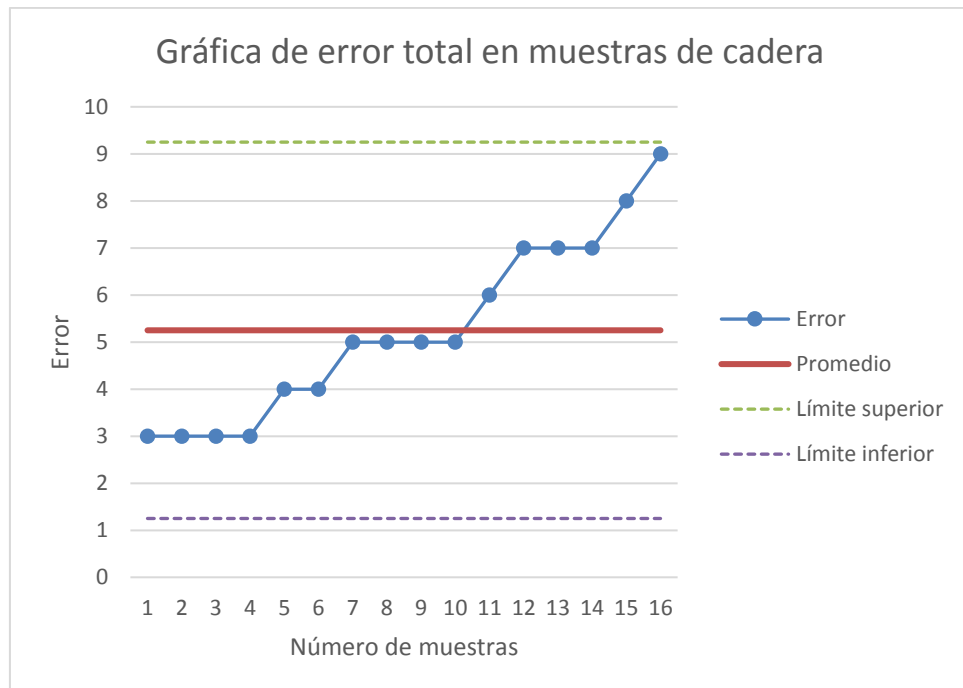


Figura 69: Gráfica de error en muestras de cadera

Tabla 17

Muestras obtenidas en el experimento respecto a la rodilla

Número de muestra	Goniómetro físico	Sistema de rehabilitación	Error	Varianza	Desviación Estándar
1	26	21	5	4,53	2,13
2	75	67	8		
3	136	130	6		
4	178	175	3		
5	27	20	7		
6	75	70	5		
7	148	142	6		
8	179	177	2		
9	179	178	1		
10	180	179	1		
11	147	144	3		
12	145	141	4		

CONTINÚA



13	81	75	4
14	82	77	5
15	36	30	6
16	32	25	7
Promedio:			4,56

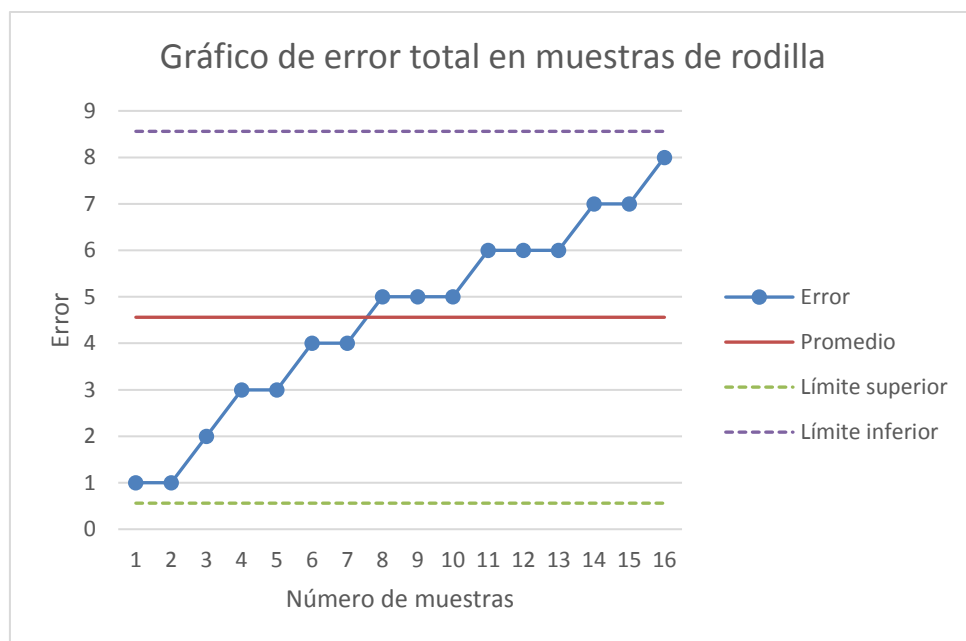


Figura 70: Gráfico de error total en muestras de rodilla

1.2. Análisis de resultados

Para la validación de los datos se realizaron un total de 32 muestras, de las cuales 16 corresponden a la pierna izquierda y 16 a la pierna derecha, con una división de 4 muestras para rodilla y 4 para cadera por cada paciente. Todas las muestras tienen un error positivo con diferentes valores, notándose que aumenta su valor de error en ángulos grandes en el caso de cadera y aumenta su valor de error en ángulos pequeños en el caso de rodilla. Además, se analizó la desviación estándar para cada grupo, así como también para el conjunto en total.

En las figuras 63 y 64 se puede observar las cuatro muestras obtenidas del primer sujeto de prueba, para rodilla y cadera

respectivamente. En el caso de cadera se tiene una media de 4.75 y una desviación estándar de 1.71, se determinó un error máximo de 6.46 con respecto al goniómetro físico en la evaluación del ángulo de flexión de la cadera. Para el caso de rodilla se tiene una media de 5.5 y una desviación estándar de 2.08, se determinó un error máximo de 7.58 con respecto al ángulo de flexión de rodilla.

En la imagen 65 y 66 se puede observar las cuatro muestras obtenidas del segundo sujeto de prueba, para rodilla y cadera respectivamente. En el caso de cadera se tiene una media de 5.25 y una desviación estándar de 2.63, se determinó un error máximo de 7.88 con respecto al goniómetro físico en la evaluación del ángulo de flexión de la cadera.

Para el caso de rodilla se tiene una media de 5.0 y una desviación estándar de 2.16, se determinó un error máximo de 7.16 con respecto al ángulo de flexión de rodilla. El segundo sujeto de prueba muestra mayor error con respecto a los demás.

En la imagen 67 y 68 se puede observar las cuatro muestras obtenidas del tercer sujeto de prueba, para rodilla y cadera respectivamente. En el caso de cadera se tiene una media de 5.5 y una desviación estándar de 1.85, se determinó un error máximo de 7.35 con respecto al goniómetro físico en la evaluación del ángulo de flexión de la cadera. Para el caso de rodilla se tiene una media de 3.88 y una desviación estándar de 2.17, se determinó un error máximo de 6.05 con respecto al ángulo de flexión de rodilla.

En la imagen 69 y 70 se observa la recopilación del total de muestras de todos los sujetos de prueba para cadera y rodilla respectivamente, se puede visualizar que existe un aumento del error en el caso de cadera cuando el ángulo aumenta, con una media de 5.25 y una desviación estándar de 1,91, se comprobó un error del sistema con respecto al goniómetro físico en extremidades inferiores de ± 7.16

aproximado a ± 7 . En el caso de la rodilla el error aumenta al disminuir el ángulo., con una media 4.53 y una desviación estándar de 2.13, se comprobó un error del goniómetro físico con respecto al sistema para extremidades inferiores de ± 6.66 aproximando a ± 7 .

1.3. Comprobación de la hipótesis

Con los resultados obtenidos en la implementación del sistema de rehabilitación virtual y con la información generada por las muestras del experimento de validación, se puede concluir y afirmar que el sistema tecnológico mediante realidad virtual sirve para la rehabilitación de pacientes con alteraciones neurológicas en extremidades inferiores.

CONCLUSIONES

- Los sensores Yei 3-Space Sensor son unidades de tracking inercial de gran precisión y alta fiabilidad, permitiéndoles ser dispositivos de mucha ayuda en proyectos de evaluación corporal humana.
- Para realizar la programación del sistema se debe transformar los datos obtenidos como ángulos cuarternión a Euler, de ésta manera se mejora la obtención de las señales adquiridas por los sensores
- Para proyectos de realidad virtual y específicamente de rehabilitación, en comparación al Kinect es mejor utilizar los sensores 3 Space Mocap ya que los mismos presentan alta sensibilidad y no hay fallas con respecto a las imágenes captadas por el kinect.
- El sistema de realidad virtual para extremidades inferiores es un instrumento funcional para la utilización en el área de fisioterapia y fisioterapia, ya que las pruebas realizadas se observan en tiempo real, obteniendo los ángulos de movimiento
- Mediante un experimento de 32 muestras con los distintos sujetos de prueba, se determinó que el sistema de rehabilitación virtual para extremidades inferiores tiene un error de $\pm 7^{\circ}$ con respecto al goniómetro físico, dando a conocer así la precisión del instrumento.
- La fácil utilización del sistema, denominado “Sistema tecnológico mediante realidad virtual, para la rehabilitación de pacientes con alteraciones neurológicas en extremidades inferiores”, permite evaluar de forma más rápida los ángulos de movimiento, ya que con el goniómetro físico se debe ubicar en una sola posición con las manos y dificulta la evaluación.

- La programación del sistema de realidad virtual está realizada totalmente en Microsoft Visual Studio, ya que gracias a los comandos y librerías del software fue posible realizar la comunicación entre los sensores y la plataforma Unity.
- Para el paquete 3 Space Mocap es ideal utilizar la plataforma unity ya que gracias al tipo de lenguaje de programación que utiliza es viable adquirir las señales de los sensores, ya que otras plataformas no lo permiten.

RECOMENDACIONES

- El sistema operativo del ordenador a utilizar debe ser Windows Xp, Windows Vista o Windows 7, para que no exista error de comunicación entre los sensores y la computadora.
- Para el correcto funcionamiento del sistema en el ordenador a utilizar, se debe instalar el software de Yost Labs 3-Space Sensor Software Suite.
- Se recomienda que el ordenador posea una memoria RAM de 6 Gb, un procesado i5 o i7 y con tarjeta gráfica dedicada, como requisitos mínimos, todo esto para que no ocurra ningún problema de ejecución.
- La postura del paciente es muy importante, ya que esto permite que la detección de las piernas sea correcta, por lo que se debe adoptar la posición mostrada en el sistema, si se observa algún error, se debe regresar a la pestaña calibrar y realizar el proceso nuevamente hasta que se resuelva el error.
- Es necesario que el usuario a ser evaluado no use ropa holgada o jeans, ya que obstruye la correcta obtención de datos de las extremidades inferiores, se recomienda usar ropa deportiva, idealmente usar una pantaloneta.
- El usuario a evaluar debe estar a una distancia máximo de 5m de la antena, esto permite evaluar con normalidad las extremidades inferiores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3D Virtual System Trough 3 Space Mocap Sensors for Lower Limb Rehabilitation. (2017). En U. d. Espe. Sangolqui: Fragmento Augmented Reality, Virtual Reality, and computer Graphics.
- Abásolo Guerrero, M. J. (2011). Realidad virtual y realidad aumentada. España: EDULP.
- Adacebur. (22 de Septiembre de 2014). adacebur. Obtenido de Asociación de Daño Cerebral Burgos: Obtenido de <http://www.adacebur.org/dca/>
- Asamblea Constituyente del Ecuador. (2009). Asamblea Constituyente del Ecuador. Manabi. Recuperado el 13 de 09 de 2016
- BIDASOA, U. (05 de 11 de 2015). Urgencias Bidasoa. Recuperado el 26 de 09 de 2016, Obtenido de <https://urgenciasbidasoa.wordpress.com>
- cka. (7 de Agosto de 2009). cka. Recuperado el 21 de Febrero de 2017, Obtenido de <http://cka.co/work/modal-nodes-human-motion-music-sequencer/attachment/7/>
- Cueto, J., & Vera, C. (10 de Abril de 2014). adacen.El daño cerebral adquirido, imprescindible actuar cuanto antes: Obtenido de <http://www.adacen.org/blog/index.php/la-importancia-de-la-rehabilitacion-en-dano-cerebral/>
- discapnet. (2009). discapnet. Recuperado el 22 de 09 de 2016, de Obtenido de <http://salud.discapnet.es/>
- Gil Gómez, J. A., Albiol , P. S., Gil Gomez, H., Aula Valero, C., & Lozano Quilis, J. A. (2012). «SEQ: Suitability Evaluation Questionnaire for Virtual Rehabilitation Systems. Application in a Virtual Rehabilitation System for Balance Rehabilitation». Valencia.

- lescer, F. (16 de Marzo de 2014). Incidencia del DCA. Obtenido de infodca: http://www.infodca.com/ficha_show/610
- medlineplus. (22 de 04 de 2016). medlineplus. Recuperado el 19 de 09 de 2016, Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/rehabilitation.html>
- Mejía Luna, J. N. (12 de Septiembre de 2012). educacionsuperior. Obtenido de REALIDAD VIRTUAL, Estado del Arte y analisis critico: Obtenido de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/515/1/T-SENESCYT-0326.pdf>
- Mendoza, L. J. (2016). Validación de movimientos de coordinación en extremidades superiores para rehabilitación virtual usando pendientes lineales. scielo, 5.
- Naranjo, S. (9 de Noviembre de 2011). slideshare. Obtenido de Goniometria <https://es.slideshare.net/Santiago1027/goniometria>
- neurorhb. (29 de Octubre de 2012). neurorhb. Recuperado el 20 de 02 de 2017, Obtenido de <https://www.neurorhb.com/blog-dano-cerebral/realidad-virtual-para-la-rehabilitacion-del-brazo/>
- Ortín, C. (2017). Las gafas de realidad virtual ayudan a pacientes con lesiones motoras a recuperar el movimiento. eldiario, 5-6.
- paraplejas. (2011). paraplejas. Recuperado el 25 de 09 de 2016, de Obtenido de <http://www.paraplejas.es/>
- pcpuntofijo. (2015). pcpuntofijo. Recuperado el 12 de 09 de 2016, de Obtenido de <http://www.pcpuntofijo.blogspot.com>
- rehabilitacionymedicinafisica. (13 de Diciembre de 2010). rehabilitacionymedicinafisica. Recuperado el 21 de Febrero de 2017, Obtenido de <https://rehabilitacionymedicinafisica.wordpress.com/category/robot/>

- Sánchez Ortiz, J. J. (14 de Septiembre de 2010). enbuenasmanos.
Tecnica y ejercicios de rehabilitación de la fisioterapia: Obtenido de
<http://www.enbuenasmanos.com/ejercicios-de-rehabilitación>
- toyra. (26 de Agosto de 2013). Recuperado el 02 de 15 de 2017, de toyra:
Obtenido de [http://todossomosuno.com./](http://todossomosuno.com/)
- UHU Grado en Gestión Cultural. (2016). Recuperado el 02 de 12 de 2017,
Obtenido de <http://cultura.ikemas.net/realidad-o-ficcion/>
- UNED. (1992). Rehabilitación Profesional. En UNED. EUNED.
- UNITY DOCS. (2016). Recuperado el 19 de 02 de 2017, Obtenido de
<https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/class-Avatar.html>
- yostlabs. (2015). yostlabs. Recuperado el 28 de 09 de 2016, Obtenido de
<https://yostlabs.com/yost-labs-3-space-mocap-studio/>
- yostlabs. (2016). Yost Labs Inc. Recuperado el 12 de 09 de 2016,
Obtenido de <https://www.yostlabs.com>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor **HAMILTON ALEXANDER ANGUETA PACHECO** y **CRISTIAN FERNANDO HERNÁNDEZ FUELTALA**.

En la ciudad de Latacunga, a los **10 días del mes de agosto del 2017**.

Ing. Marco Antonio Pilatasig Panchi
Director del Proyecto

Aprobado por:

Ing. Franklin Manuel Silva Monteros
Director de Carrera

Dr. Rodrigo Vaca Corrales
Secretario Académico