



**Plataforma de rehabilitación para lesión del manguito rotador basado en juegos
serios utilizando un sistema de captura de movimiento**

Angie Camila Becerra Serna

20561725691

Camila Andrea Revelo Camacho

20561715468

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Popayán, Colombia

2021

**Plataforma de rehabilitación para lesión del manguito rotador basado en juegos serios
utilizando un sistema de captura de movimiento**

Angie Camila Becerra Serna

Camila Andrea Revelo Camacho

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Biomédico

Director (a):

Ph.D. Cesar Augusto Quinayas Burgos

Línea de investigación:

Ingeniería de rehabilitación

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Biomédica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Popayán, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL DIRECTOR

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Popayán, noviembre del 2021

DEDICATORIA

Mi título está dedicado principalmente a Dios, a mis padres por su gran esfuerzo y motivación, a mi hermano que es el motor que me impulsa a salir adelante, a mi abuela y a mi novio por ser las personas que me han apoyado y han estado en los momentos difícil que ha implicado estar en la carrera, y a todas las personas que con sus conocimientos aportaron a que este proyecto se realizará.

Angie Camila Becerra Serna

Dedico este este título principalmente a Dios; a mis padres, por ser el principal apoyo y mi razón de salir día a día a cumplir un sueño que hoy es posible; a mis hermanas, por darme la fuerza y motivación para seguir; a mis abuelos por creer en mí y sentir este triunfo como suyo; y a todas las personas que estuvieron aportaron a mi desarrollo como persona y como profesional.

Camila Andrea Revelo Camacho

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al señor de los milagros por darme la fuerza y sabiduría para que este proyecto cumpliera con sus objetivos y estar presente en mi diario vivir.

A mi madre Sandra Serna por su esfuerzo y apoyo a lo largo de mi carrera, por ayudarme a cumplir esta meta tan anhelada, A mi padre Fredy Becerra por su apoyo y por darme la oportunidad de tener una excelente educación y estar presente a lo largo de mi vida.

A mi hermano Juan Esteban Becerra que es la persona que me impulsa a salir adelante, es mi principal motivación por la cual hice cada esfuerzo para llegar a esta meta, mi abuela Clelia Bermúdez por brindarme sus oraciones y palabras de aliento que me motivaron a seguir con mi carrera a pesar de muchos obstáculos que se han presentado.

A mi novio Milton Flórez por ser la persona que me ha apoyado desde que comencé mi carrera y ha estado presente en las etapas de la misma y su amor incondicional.

A mi director de tesis César Quinayas por brindarnos sus asesorías y conocimientos para que este proyecto llegara a su objetivo.

Finalmente, a mis familiares, amigos y compañeros por estar presente en cada etapa de mi carrera profesional y personal, brindándome su apoyo incondicional.

Angie Camila Becerra Serna

Agradezco a Dios por haberme dado la vida, la sabiduría y las capacidades para afrontar día a día nuevos retos y cumplir con el sueño de culminar mi carrera como profesional.

A mis padres, Jaime Revelo y Cielo Camacho, quienes me motivaron, me llenaron de fuerza para afrontar cada obstáculo, quiénes con su esfuerzo me han dado la oportunidad de tener un mejor futuro, gracias por estar detrás de cada uno de mis logros.

A mis hermanas, María Revelo y Karol Revelo, a mis abuelos, Gilberto Camacho y Elvia Ruiz, quienes siempre me apoyaron, me acompañaron y motivaron a seguir adelante, gracias por ser mi motor y razón de ser.

A mi novio, Johao Diaz, quien me brindó su amor, compañía y apoyo en el transcurso de este sueño, junto con nuestro perrito Tito, quién me dio su fiel compañía en noches de desvelo.

A mi tutor, Cesar Quinayas, gracias por el apoyo y dedicación para llegar a la meta en nuestro proyecto.

Camila Andrea Revelo Camacho

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	12
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	20
1.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	20
2. OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GENERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. JUSTIFICACIÓN	22
4. ESTADO DEL ARTE	23
5. MARCO TEÓRICO	27
5.1 DEFINICIONES GENERALES	27
5.1.1 Telerehabilitación	27
5.1.2 Realidad virtual	28
5.1.3 Juegos Serios	29
5.2 ANATOMÍA Y BIOMECÁNICA DEL HOMBRO	29
5.2.1 Huesos, músculos y tendones del hombro	29
5.2.2 Articulaciones	32
5.2.3 Cinemática	35
5.2.4 Ritmo Escapulo-humeral	36
5.2.5 Estabilidad	37
5.2.6 Rangos de movimiento del hombro	38
5.3 LESIONES DEL HOMBRO	39
5.3.1 Síndrome del manguito rotador (Tendinitis)	39
5.3.2 Ejercicios según la literatura	43
5.4 GAMIFICACIÓN	45
5.4.1 Mecánicas del juego	45

5.4.2 Tipos de jugadores	45
5.4.3 Beneficios	46
5.5 PLATAFORMAS DE JUEGOS SERIOS	46
5.5.1 Plataforma de desarrollo en tiempo real (Unity):	46
6. MATERIALES Y MÉTODOS	50
6.1 MATERIALES	50
6.1.1 Sistemas de interacción	50
6.1.2 Windows kinect	50
6.1.3 Interfaz ASSET v2 con MS-SDK	52
6.1.4 Microsoft Visual Studio 2019	53
6.1.5 Entorno de pruebas	53
6.2 MÉTODOS	54
6.2.1 Protocolo de ejercicios	54
6.3 DESARROLLO DE LA PLATAFORMA	57
6.3.1 Estiramiento en la plataforma	58
6.3.2 Juegos de rehabilitación	58
6.4 OBTENCIÓN DE LOS DATOS	63
6.4.1 Velocidad del movimiento	64
6.4.2 Aceleración del movimiento	64
7. ANÁLISIS Y RESULTADOS	66
7.1 VALIDACIÓN DE LA PLATAFORMA	66
7.1.1 Pruebas a pacientes sanos	66
7.1.2 Pruebas a pacientes patológicos	69
7.2 RESULTADOS OBTENIDOS	70
7.2.1 Resultados pacientes sanos	70
7.2.2 Resultados pacientes patológicos	72
8. CONCLUSIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXOS	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 5-1 Anatomía del hombro.....	32
Figura 5-2 Articulación del hombro con los músculos, huesos y dos de las cuatro articulaciones que componen el complejo articular: glenohumeral, acromio-clavicular.....	33
Figura 5-3 Articulación glenohumeral.....	34
Figura 5-4 El movimiento de elevación del brazo actúa de una forma coordinada, por cada 15° de movimiento, 10° radican en el glenohumeral y 5° en la rotación escapular manteniendo la relación de 2:1.	36
Figura 5-5 Manguito de los rotadores.....	37
Figura 5-6 Movimiento del hombro y ejes relacionados.....	39
Figura 5-7 Tendinitis de manguito rotador.....	40
Figura 5-8 Colocación de la sonda para la exploración del tendón del supraespinoso. (A) eje longitudinal; (B) eje transversal.....	42
Figura 5-9 Movimiento de abducción y aducción del hombro.....	44
Figura 5-10 Movimiento de rotación del hombro.....	44
Figura 5-11 Extensión y flexión del hombro.....	44
Figura 5-12 Logo Unity.....	47
Figura 6-1 Sensor Kinect Xbox One.....	51
Figura 6-2 Adaptador para Windows Kinect.....	51
Figura 6-3 Componentes del sistema.....	52
Figura 6-4. Esqueletización obtenida mediante el Kinect. Fuente propia	54
Figura 6-5 Entorno de pruebas. Fuente propia.....	54
Figura 6-6 Altura del Kinect. Fuente propia.....	54
Figura 6-7 Primer ejercicio, realizando aducción y abducción del hombro. Fuente propia.....	55
Figura 6-8 Segundo ejercicio, realizando flexión del hombro. Fuente propia.....	55
Figura 6-9 Tercer ejercicio, realizando fortalecimiento del hombro. Fuente propia	56
Figura 6-10 Primera etapa para los estiramientos. Fuente propia.....	56
Figura 6-11 Segunda etapa de estiramientos. Fuente propia	56
Figura 6-12 Plataforma principal del juego. Fuente propia	58

Figura 6-13 Video instructivo para los estiramientos necesarios antes y después de la terapia. Fuente propia.....	58
Figura 6-14 Demostración de los resultados obtenidos. Fuente propia	59
Figura 6-15 Juego de obstáculos. Fuente propia.....	61
Figura 6-16 Movimiento de abducción y aducción evaluadas en la plataforma. Fuente propia.....	61
Figura 6-17 Juego de salto de plataformas. Fuente propia	62
Figura 6-18 Movimientos de flexión. Fuente propia	62
Figura 6-19 Juego en "T" para salto en la plataforma. Fuente propia	63
Figura 6-20 Movimiento de fortalecimiento. Fuente propia.....	63
Figura 7-1 Entrada, desinfección y explicación del estudio de los participantes. Fuente propia.....	67
Figura 7-2 Estiramiento y preparación de los participantes. Fuente propia.....	67
Figura 7-3 Sesión 1 en participantes sanos. Fuente propia	68
Figura 7-4 Sesión 2 en participantes sanos. Fuente propia	68
Figura 7-5 Entrada, desinfección y explicación del estudio de los participantes patológicos. Fuente propia.....	69
Figura 7-6 Estiramiento y preparación de los participantes patológicos. Fuente propia	70
Figura 7-7 Sesiones para cada juego. Fuente propia.....	70
Figura 7-8 Velocidades y aceleraciones promediadas en relación a las edades. Fuente propia.....	72
Figura 7-8 Promedios del juego 1. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia.....	75
Figura 7-10 Promedios del juego 2. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia	75
Figura 7-11 Promedios del juego 3. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia	76
Figura 7-12 Promedios del juego 1. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia	79
Figura 7-13 Promedios del juego 2. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia	79
Figura 7-14 Promedios del juego 3. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia	80
Figura 7-15 Promedios del juego 1. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia	83
Figura 7-16 Promedios del juego 2. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia	84
Figura 7-17 Promedios del juego 3. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1 Desarrollo de una aplicación Serious Game para rehabilitación motora.....	23
Tabla 4-2 Telemonitorización y telerehabilitación del hombro de las enfermedades músculo-esqueléticas del hombro mediante sistemas portátiles.	23
Tabla 4-3 Un desarrollo de juego interactivo basado en Kinect para la rehabilitación de lesiones en el hombro.....	24
Tabla 4-4 Rehabilitación del hombro congelado con Microsoft Kinect.	24
Tabla 4-5 Sistema de seguimiento y gestión de pacientes con tendinopatía de hombro en rehabilitación usando Kinect 2.0.....	25
Tabla 4-6 Rehabilitación de la flexión del hombro en pacientes como Monoparesia usando un juego de ejercicios.....	25
Tabla 4-7 Realidad virtual aplicada a la rehabilitación física.	26
Tabla 6-1 Componentes del sistema de rehabilitación. Fuente propia.....	59
Tabla 7-1 Resultados de los promedios de los participantes sanos. Fuente propia.....	71
Tabla 7-2 Resultados para las cuatro sesiones del paciente 001. Fuente propia.....	73
Tabla 7-3 Promedios del juego 1. Fuente propia	74
Tabla 7-4 Promedios del juego 2. Fuente propia	75
Tabla 7-5 Promedios del juego 3. Fuente propia	76
Tabla 7-6 Resultados por sesiones del paciente 2. Fuente Propia.....	77
Tabla 7-7 Promedios juego 1. Fuente propia	78
Tabla 7-8 Promedio de juego 2. Fuente propia	79
Tabla 7-9 Promedio de juego 3. Fuente propia	80
Tabla 7-10 Resultados por sesiones del paciente 003. Fuente propia.....	82
Tabla 7-11 Promedio del Juego 1. Fuente propia	83
Tabla 7-12 Promedio del Juego 2. Fuente propia	84
Tabla 7-13 Promedio del Juego 1. Fuente propia	84
Tabla 7-14 Evolución de la amplitud articular. Fuente propia.....	85

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A Formulario de consentimiento para pacientes	96
ANEXO B Listado de Formatos firmados para el Consentimiento Informado.....	98
ANEXO C Diagrama de flujo de la Plataforma Interactiva	104

RESUMEN

Las lesiones en el hombro, son una de las causas más frecuentes de la visita al fisiatra; tanto así que, en Colombia, se estima que el 10% de las consultas médicas se relacionan con algún tipo de patología en el hombro. Sin embargo, el éxito de la recuperación depende de la constancia y la correcta aplicación de los ejercicios postulados por el profesional en fisioterapia. No obstante, la ruptura parcial del ligamento en el manguito rotador, es un tipo de lesión que requiere de un número considerable de terapias (dependiendo de la evolución de cada paciente), lo cual induce a la deserción del paciente al no encontrar resultados satisfactorios de su evolución a corto plazo.

El presente proyecto, está enfocado en implementar una alternativa para la rehabilitación de las lesiones en el hombro; basado en juegos serios, que permitan cuantificar la evolución del paciente; para lo cual se utilizó una herramienta de interacción o sensor (Kinect para XBOX ONE), que permite captar los movimientos de la articulación (hombro) del paciente; con el fin de identificar la postura correcta en cada ejercicio de rehabilitación y de esta forma apoyar en el proceso de recuperación.

Mediante el entorno de desarrollo UNITY 3D, se crea la plataforma de interacción que, junto al sensor de movimiento, permite medir parámetros cinemáticos como: velocidad, posición angular y desplazamiento; esenciales para la comprobación de las posturas adecuadas en cada ejercicio terapéutico. De igual forma, cada procedimiento establecido en el juego, es guiado y supervisado por un profesional en fisioterapia, quien establece el tipo de ejercicio de acuerdo a las características de una lesión o patología y verifica los movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción, realizados por el paciente.

Finalmente, se realizan pruebas para la validación de la plataforma, donde se crea una serie de sesiones en las que trata a 14 pacientes de los cuales 3 son diagnosticados con tendinitis en el hombro: “ruptura parcial de tendones en el hombro”. Cada sesión es supervisada y asesorada por el profesional en fisioterapia, mientras que la plataforma cuantifica los parámetros cinemáticos resultantes de los ejercicios desarrollados por el paciente, durante la sesión. En la primera sesión, se crean los parámetros iniciales de cada paciente, identificando la posición angular, para los movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción. Durante las tres sesiones siguientes, se le pide al paciente que siga los movimientos de los brazos indicados en el juego, mientras se capturan dichos parámetros y se evalúa el avance sesión tras sesión.

Palabras claves: *Rehabilitación, Juegos serios, Kinect, manguito rotador, captura de movimiento.*

ABSTRACT

Therapies focused on the recovery of mobility in the shoulder are one of the most frequent causes of visiting the physiatrist; so much so that, in Colombia, it is estimated that 10% of medical consultations are related to some type of pathology in the shoulder. However, the success of the recovery depends on the perseverance and the correct application of the exercises postulated by the professional in physiotherapy. However, the partial rupture of the ligament in the rotator cuff is a type of injury that requires a considerable number of therapies (depending on the evolution of each patient), which induces the patient to drop out as satisfactory results are not found. its short-term evolution.

This project is focused on implementing an alternative for the rehabilitation of shoulder injuries; based on serious games, which allow quantifying the evolution of the patient; for which an interaction tool or sensor (Kinect for XBOX ONE) was used, which allows to capture the movements of the joint (shoulder) of the patient; in order to identify the correct posture in each rehabilitation exercise and thus support the recovery process.

Through the UNITY 3D development environment, the interaction platform is created which, together with the motion sensor, allows the measurement of kinematic parameters such as: speed, angular position and displacement; essential for checking the proper postures in each therapeutic exercise. In the same way, each procedure established in the game is guided and supervised by a professional in physiotherapy, who establishes the type of exercise according to the characteristics of an injury or pathology and verifies the movements of flexion, extension, abduction and adduction, performed by the patient.

Finally, tests are carried out for the validation of the platform, where a series of sessions is created in which it treats 14 patients diagnosed with tendonitis in the shoulder: “partial rupture of tendons in the shoulder”. Each session is supervised and advised by the physiotherapy professional, while the platform quantifies the kinematic parameters resulting from the exercises developed by the patient during the session. In the first session, the initial parameters of each patient are created, identifying the velocity, the angular position and the displacement of the forearm, for the movements of flexion, extension, abduction and adduction. During the next three sessions, the patient is asked to follow the arm movements indicated in the game, while these parameters are captured and progress is evaluated session after session.

Keywords: *Rehab, Serious Games, Kinect, Rotator Cuff, Motion Capture.*

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la OMS (Organización mundial de la salud), alrededor de mil millones de personas padecen de algún tipo de discapacidad; es decir, casi un 15% de la población mundial presenta un problema de salud que le impide desarrollar labores cotidianas sin experimentar algún tipo de dolor (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020). Una de las patologías más comunes, es la lesión de hombro o síndrome del manguito rotador; aunque también se asocian las bursitis de hombro y tendinitis calcificante del hombro. En Colombia, este tipo de patología es una de las causas más frecuentes en que el paciente requiere de consulta médica (10% de las consultas médicas reportan algún tipo de lesión en el hombro). Además, una de cada diez consultas al fisiatra se asocia a dolores en el hombro (Villa, 2016). El tratamiento para las lesiones de hombro asociadas al manguito rotador varía de acuerdo al nivel de daño, puesto que puede ir desde una elongación atípica de los tendones hasta la ruptura total de los mismos (Ahsan et al., 2016). De igual forma, se puede tratar con terapia física o, en los casos de desprendimiento del tejido, se realizan procedimientos quirúrgicos de reconstrucción tisular. Sin embargo, los procedimientos terapéuticos o de rehabilitación, están ligados al correcto balance entre la ejecución de los ejercicios dictaminados por el fisioterapeuta y la constancia de esto (Fundación Santa Fe de Bogotá, s.f.).

En la práctica, el fisioterapeuta plantea una serie de ejercicios agrupados en sesiones, que se intensifican, tanto en repeticiones como en esfuerzo, de acuerdo a la evolución del paciente. No obstante, los datos obtenidos en la evolución son netamente apreciativos (cualitativos); dado que no se cuenta con una herramienta que identifique el avance entre cada sesión, lo cual conlleva a la pregunta: “¿Cómo se siente el paciente?”. En los casos que no muestre mejoría, no se logra identificar si fue una acción mal hecha por el paciente o un ejercicio propuesto que le haya generado un retroceso en la evolución.

Con el presente proyecto, se busca generar una alternativa práctica e interactiva que incida en la rehabilitación de forma positiva y le permita, tanto al terapeuta como al paciente, mantener una trazabilidad de la evolución en la recuperación del manguito rotador. Con el sistema de rehabilitación propuesto, se pretende incluir una serie de ejercicios (que implican movimientos como: flexión-extensión, abducción-aducción) que serán realizados por el paciente mediante diferentes juegos para rehabilitar a personas que sufren de tendinitis del hombro. El tiempo de rehabilitación del paciente puede llegar a ser menor, la constancia en la terapia es importante para un mejor rendimiento y una recuperación en corto tiempo.

En términos prácticos, el proyecto se enfoca en una plataforma dedicada a la rehabilitación para la articulación del hombro mediante un sistema de captura de movimientos utilizando el sensor KINECT de Xbox One y la plataforma UNITY 3D. En la plataforma, el usuario podrá encontrar diferentes ejercicios de apoyo para la movilidad en las articulaciones de hombro, los ejercicios serán asesorados o planteados por un fisioterapeuta, con el fin de mejorar la movilidad articular y rehabilitar de una manera más didáctica y divertida para el paciente, es importante resaltar que la patología que se desea rehabilitar es la tendinitis del hombro.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El manguito rotador es una estructura corporal ubicada en el hombro, el cual consta de músculos y tendones (subescapular, supraespinoso, infraespinoso y el redondo menor) que envuelven la cabeza humeral, lo cual posibilita el movimiento del brazo en diversas posiciones (Mayo Clinic, s.f.). Dado que la morfología de esta estructura está sometida a una fricción constante con la zona ósea del acromion (estructura ósea perteneciente al humero) es inevitable que, en algún momento de la vida, se presente alguna lesión o enfermedad en esta sección del hombro (Loew et al., 2015). Estas lesiones son más frecuentes en personas que realizan trabajos repetitivos enfocados en la carga de elementos utilizando los brazos (Beickert et al., 2016) o en deportistas que utilizan el movimiento constante de los brazos para desempeñar su ejercicio (Aguilar, 2001); lo cual desata un dolor intenso en el hombro y una pérdida sustancial de la fuerza que pueda ejercer el brazo afectado. La prevalencia de las lesiones parciales del manguito se sitúa entre un 13 y un 32%, siendo aproximadamente un 4% en menores de 40 años, y superior al 30% en mayores de 60 años (Pedret et al., 2020).

De acuerdo con Pedret et al., (2020), el tratamiento depende del nivel de afectación de los tendones que componen la estructura del manguito rotador. En el caso más leve, se detecta una tendinopatía, la cual es causada por un sobresfuerzo o sobrecarga de energía en las extremidades superiores. La detección se efectúa mediante una valoración de la movilidad libre del brazo, detectando el músculo afectado para luego realizar una resonancia magnética o ecografía en la zona de interés. Sin embargo, la terapia recomendada se basa en una serie de ejercicios de fortalecimiento, guiadas por el fisioterapeuta; comúnmente los tratamientos son extensos y la recuperación es lenta y costosa. En otros casos, se presenta la rotura parcial

o total del músculo supraespinoso, el cual desata un dolor intenso en la zona afectada, causada por una extensión excesiva del rango operatorio del brazo (comúnmente causado por un accidente). Para identificar el tipo de desgarre, se toma una radiografía o resonancia magnética, luego se clasifica de acuerdo a la cantidad de tendones que hayan sufrido rupturas (Se toma en cuenta la clasificación de Snyder para agruparlas) (Loew et al., 2015). Finalmente, el médico determina si existe la posibilidad de realizar un tratamiento con terapia física o requiere de una intervención quirúrgica.

Se utilizan diversas técnicas para la rehabilitación del miembro superior; cada una depende de la complejidad de la lesión y es tratada por el fisioterapeuta, el cual dictamina el tipo de ejercicio a desarrollar. Además, se apoyan en herramientas como el robot Alex (es un robot creado con el fin de optimizar la recuperación de la movilidad), ayudando a la persona a realizar los ejercicios (Kinetek, s.f.), otro trabajo innovador para la recuperación del miembro superior lo realiza el Centro de Rehabilitación Cognitiva de Enfermedades Cognitivas (Crecen), este equipo trabaja con la Terapia en espejo, "se trata de "engañar" al cerebro, haciéndole creer que está moviendo el lado afecto, mientras que está visualizando los movimientos realizados con el lado sano (brazo sano), y así activar las zonas corticales cerebrales que se encargan de realizar ese movimiento (Centro de rehabilitación cognitiva de enfermedades neurológicas [CRECEN], 2020). Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con una herramienta que permita cuantificar la evolución del paciente, separando los parámetros observados por el fisioterapeuta, como es: la velocidad y la aceleración del mismo; al momento de realizar los ejercicios propuestos en cada sesión. Adicionalmente muchas personas no asisten a terapias convencionales debido a la monotonía de estas, pero

hoy en día existen plataformas interactivas que le permiten al paciente realizar las terapias de una forma más divertida y agradable, cumpliendo con los mismos objetivos.

1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué beneficios se obtienen al incluir una herramienta tecnológica para la identificación del movimiento en el tratamiento y recuperación progresiva de la lesión del manguito rotador”?

1.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto está enfocado en la línea de Ingeniería de rehabilitación en donde se incluye la instrumentación virtual y diseño de plataformas interactivas con técnicas de gamificación; para la rehabilitación de tendones al sufrir lesiones en el manguito rotador.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un entorno tridimensional basado en juegos serios para la rehabilitación de lesiones en el manguito rotador, desarrollando una serie de ejercicios que permitan medir las variables cinemáticas como: amplitud articular, velocidades y aceleraciones, para cuantificar la evolución del paciente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar ejercicios de rehabilitación con apoyo del fisioterapeuta para el tratamiento de las lesiones en el manguito rotador.
- Diseñar un sistema de rehabilitación mediante la plataforma UNITY 3D, utilizando un sistema de captura de movimiento (Kinect) para extraer parámetros cinemáticos de la articulación del hombro.
- Evaluar el sistema de rehabilitación propuesto a través de una comparación entre los parámetros normales y los obtenidos por el sistema durante el proceso de rehabilitación.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, son muy comunes aquellas lesiones laborales en las que se ven afectados los tendones, los huesos, los ligamentos o discos intervertebrales, entre otros sistemas musculoesqueléticos, debido al tipo de actividad que el usuario realiza y el periodo de tiempo que este tenga para reposar. Es por esto que gran parte de las lesiones musculoesqueléticas no se deben a accidentes aislados, sino que son resultado de pequeños traumatismos repetidos en el tiempo (Fundación Laboral de la Construcción, s.f.). De acuerdo con el Observatorio Nacional de Discapacidad, en Colombia se registran anualmente alrededor de 570.306 casos de pacientes que padecen algún tipo de discapacidad en alguno de sus miembros y requieren el servicio de rehabilitación, de los cuales, al menos el 5% recibe los tratamientos; mientras que, el porcentaje restante convive con la discapacidad sin ningún tratamiento. Las causas más comunes que manifiestan los pacientes para no recibir tratamiento van desde la falta de dinero hasta desconocimiento del servicio. Además, se encontró que a 21.041 personas no les gusta asistir a servicios de rehabilitación (Nava y Ramos, 2014).

Las técnicas de rehabilitación actualmente se fundamentan en una serie de ejercicios que son formulados por un fisioterapeuta y realizados por el paciente bajo su supervisión, en donde, con ayuda de este, el paciente realiza cada ejercicio con el fin de mejorar la movilidad.

Puesto que los ejercicios terapéuticos, comúnmente son repetitivos y constantes, se le pide al paciente que mantenga una rutina en caso de no asistir a las terapias. Sin embargo, con el avance tecnológico; se puede monitorear el desempeño de cualquier tipo de rehabilitación, tan sólo con tener las herramientas adecuadas para evidenciar la terapia, teniendo en cuenta los ejercicios propuestos por el terapeuta y la forma en que los ejecuta el paciente; y todo esto sin necesidad de contar con el fisioterapeuta en tiempo completo.

4. ESTADO DEL ARTE

A través de una búsqueda bibliográfica, se lograron identificar trabajos relacionados con la rehabilitación mediante juegos serios, que contribuyen a su desarrollo y resaltan la importancia de implementar diferentes técnicas para mejorar la movilidad de los pacientes:

Tabla 4-1 Desarrollo de una aplicación Serious Game para rehabilitación motora.

Fecha	Octubre, 2017.
Ciudad/País	Madrid, España.
Resumen	Se aspira una nueva herramienta complementaria para la realización de una terapia física en el proceso de rehabilitación. El cual está basado en el test Fugl-Meyer, el cual tiene como objetivo evaluar el desempeño físico de los pacientes con daño cerebral adquirido. Por medio de este se obtuvo el progreso del paciente en las actividades desarrolladas en las terapias. Implementando el sensor de Microsoft Kinect y el software Unity. La extracción de parámetros dentro del sistema permite que el fisioterapeuta realice el diagnóstico de una forma más fácil y en menos tiempo.
Contribución	La implementación e inclusión de test evaluadores de movimiento dentro de un entorno digital, facilita el procesamiento y la captura de movimientos ejercidos por el cuerpo humano.
Diferenciación	La utilización del test de Fugl-Meyer dentro de la aplicación, se basa en la evaluación del movimiento del paciente y cuantifica el nivel de evolución en las terapias.

Fuente: Fernández (2017).

Tabla 4-2 Telemonitorización y telerehabilitación del hombro de las enfermedades músculo-esqueléticas del hombro mediante sistemas portátiles.

Fecha	2018
Ciudad/País	Italia
Resumen	El desarrollo y pruebas de una plataforma de rehabilitación remota de varias enfermedades músculo-esqueléticas del hombro. Implementando el uso de sensores inerciales para la captura de movimientos y ejercicios personalizados de rehabilitación física con una supervisión remota del especialista (fisioterapeuta). Validando el sistema de ejercicios, donde se determina que es capaz de diferenciar en el tipo de movimiento.
Contribuciones	El sistema utiliza sensores que es capaz de corregir errores en la rehabilitación realizada por el usuario, permitiendo compensar, guiar al usuario e informar al fisioterapeuta encargado.

Diferenciación	El uso de sensores inerciales para la captura de movimiento que se reproducirá dentro del entorno realizado y conexión directa con el fisioterapeuta.
----------------	---

Fuente: Carbonaro et al., (2018)

Tabla 4-3 Un desarrollo de juego interactivo basado en Kinect para la rehabilitación de lesiones en el hombro.

Fecha	2018
Ciudad/País	Mataram, Indonesia.
Resumen	Las lesiones del hombro ocurren muchas veces por entrenamientos excesivos o actividades que se realizan con un soporte de dicha articulación. Al registrar los movimientos mediante sensores de capturas de movimiento como lo es el Kinect en este caso, se logra desarrollar un sistema de rehabilitación. Es así cómo se investiga el hecho de que esos sensores aportan al proceso de rehabilitación y cómo a través de filtros implementados en niveles de un juego, con el fin de obtener un porcentaje de precisión.
Contribución	El suavizado exponencial es el método que brinda mejores resultados al ajustar la jugabilidad en los juegos diseñados para rehabilitar lesiones del hombro.
Diferenciación	La utilización del filtro kalman y el método de suavizado exponencial para lograr mayor precisión en el sistema.

Fuente: Arif et al., (2018)

Tabla 4-4 Rehabilitación del hombro congelado con Microsoft Kinect.

Fecha	2017
Ciudad/País	Coimbatore, India
Resumen	En este artículo se desarrolla un sistema de rehabilitación para la enfermedad de hombro congelado, el cual consta de un sistema de captura Microsoft Kinect; donde existen dos aplicaciones, donde una nos permiten obtener los ángulos del hombro y otra los ejercicios que debe realizar el usuario. Es importante resaltar que la combinación de los ejercicios y videojuegos es una experiencia real que permite que el paciente realice de una manera diferente este tipo de ejercicios siendo esta la más interactiva. Se tendrá en cuenta el coeficiente Pearson, RMSE y el gráfico Bland Altman para poder obtener los resultados de nuestra aplicación mediante el goniómetro.
Contribución	Este sistema tiene funciones de guardar y navegar para que el paciente pueda guardar el ángulo en tiempo real y después compararlos.
Diferenciación	Utilizan el goniómetro para medir manualmente los ángulos articulares.

Fuente: Kumar et al., (2017)

Tabla 4-5 Sistema de seguimiento y gestión de pacientes con tendinopatía de hombro en rehabilitación usando Kinect 2.0.

Fecha	2019
Ciudad/País	Lima, Perú
Resumen	Se implemente un sistema que permite un seguimiento con la fisioterapia mediante el Kinect 2.0 a pacientes (18 a 65 años), que sufren de tendinopatía del hombro, este sistema tiene varios módulos el cual permite al paciente la gestión de las sesiones y evaluación de los ejercicios establecidos por el personal de salud a cargo. Finalmente se realiza una validación con 10 usuarios, el cual tiene una efectividad del sistema de un 80% ayudando al fisioterapeuta en la gestión de cada terapia que el paciente necesite.
Contribución	Es de gran ayuda para que el fisioterapeuta tome decisiones acerca de cada sesión y evalúe los ejercicios que el paciente está realizando, teniendo un alto porcentaje de efectividad de la plataforma.
Diferenciación	Utiliza un módulo que permite la gestión de cada terapia para que el fisioterapeuta tome decisiones para las siguientes terapias buscando una mejora al paciente.

Fuente: Gutiérrez et al., 2019

Tabla 4-6 Rehabilitación de la flexión del hombro en pacientes como Monoparesia usando un juego de ejercicios.

Fecha	2014
Ciudad/País	Pereira, Colombia.
Resumen	El desarrollo de un sistema de rehabilitación para el síndrome piramidal es un trastorno que afecta a las personas mayores de edad, es por esto que el sistema combina dos métodos, la realización de una serie de terapias y un análisis biomecánico a través de un software; esto en Para la realización de este se requiere el uso de Microsoft Kinect. Este se desarrolló con los pacientes afectados por lesión de la neurona motora superior (es decir sufrieron de monoparesia) en pacientes de la Clínica Dolor del Eje Cafetero. En este caso los pacientes mostraron un 21% de mejoría en el ángulo de flexión del hombro y la resistencia muscular, además demostró un gran avance en el control de la extremidad afectada.
Contribución	Tiene un diario digital donde se puede observar el desempeño que tuvo el paciente en la terapia, el estado de ánimo y finalmente el resultado.
Diferenciación	La implementación del software Bio-Cirac para el análisis del movimiento y cuantificación de la mejoría en el proceso de rehabilitación. Además, cuando se realiza la primera flexión se muestra en el videojuego la fatiga, donde nos permite observar la resistencia muscular.

Fuente: Bedoya et al., (2014)

Tabla 4-7 Realidad virtual aplicada a la rehabilitación física.

Fecha	24 febrero 2015
Ciudad/País	Madrid, España
Resumen	<p>En esta tesis nos habla de la elaboración de un videojuego de realidad virtual para la lesión del hombro, el cual utiliza unas gafas llamadas Oculus Rift que permite que el paciente se sienta en la realidad y pueda de manera interactiva rehabilitar la lesión del hombro. Adicionalmente se tiene una cámara con el fin de captar el esqueleto del paciente, donde está realizara el tracking (Movimiento). Finalmente existe un servidor para acceder al video juego establecido, donde el usuario debe realizar los movimientos y obtener una puntuación del mismo.</p> <p>Este sistema ayudará a una rehabilitación adecuada del manguito rotador de manera fácil e interactiva, además realiza un proceso automático no requiere de una supervisión presencial.</p>
Contribución	El paciente puede realizar los ejercicios de forma interactiva ya sea con o sin la supervisión del fisioterapeuta.
Diferenciación	Permite la realización de movimientos mediante la cámara, pero adicionalmente debe contar con unas gafas de Oculus Rift.

Fuente: Aguado (2015)

5. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se menciona las definiciones generales relacionadas con los tratamientos para la lesión del hombro. En cuanto al proceso de rehabilitación del manguito rotador se deben realizar una serie de ejercicios que nos permite mejorar la movilidad del hombro. De igual forma se identifican las tecnologías usadas para el tratamiento de lesiones, basados en la gamificación y los juegos serios.

5.1 DEFINICIONES GENERALES

El proceso de rehabilitación del paciente que padece una lesión de hombro, está ligado a factores que son no controlables: malformaciones genéticas o enfermedades degenerativas y controlables: terapias de fortalecimiento, cirugías reconstructivas o cualquier actividad extra que sugiera el fisioterapeuta. Para este último factor, existen diversas herramientas que el paciente puede acceder y evaluar los mejores resultados para su recuperación.

5.1.1 Telerehabilitación

La telerehabilitación, como su nombre lo indica, es la unión entre la rehabilitación y la telecomunicación, debido a esto se puede emplear no necesariamente en el hospital, si no que se amplía para realizarlo desde la casa del paciente. Actualmente hay muchas tecnologías en la rama de la tele rehabilitación basadas en aplicaciones móviles, plataformas en internet, entre otras. Existen muchos obstáculos en la atención de salud, por lo que la mayoría de las personas no optan por tomar la rehabilitación o terapias. Al estar en casa, le permite al paciente realizar las terapias en su tiempo libre y en la comodidad de su hogar. Por lo cual, diversos estudios avalan la eficiencia de la tecnología enfocada a la telemedicina, mostrando métodos ágiles que dinamizan los procesos como: las consultas, la prevención y diagnósticos a distancia para el buen desarrollo de la rehabilitación de un usuario; mejorando el sistema de salud (Pinillos et al., 2017).

Gracias al uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICS) se pueden brindar los servicios de telerehabilitación. El uso de estas en la rehabilitación surge de la telemedicina, con el fin de prestar un mejor servicio de salud y la continuidad de la atención a personas con discapacidad. Dentro de la telerehabilitación se incluyen los procesos de evaluación y diagnóstico, teleconsulta, monitorización, terapia, entre otras. Los servicios deben ser prestados por las instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS) (Millán y Lasso, 2020).

5.1.2 Realidad virtual

La realidad virtual (RV) se emplea en las tecnologías que pueden verse reflejadas en los juegos de ordenador, muchas personas aún no tienen conocimiento de esta aplicación, sin embargo, ha sido de gran utilidad en los últimos años, Según Roehl en 1996, la Realidad Virtual es una simulación de un ambiente en tres dimensiones la cual es generada por computadoras, donde el usuario es capaz de ver y manipular el contenido del ambiente. Los sistemas RV se pueden probar con pequeños dispositivos como hardware, tarjetas 3D (gráficas, sonidos), localizadores, entre otros. Es importante resaltar que se necesita de un software para utilizar los datos entregados por el ambiente. Para que el usuario tenga una sensación real los ordenadores deben tener la capacidad de visualizar datos sensoriales, bien sea a través de elementos externos.

Anteriormente estos sistemas pudieron llegar a ser muy costosos, pocas personas tenían accesibilidad a estos, pero hoy en día con el desarrollo de la tecnología, este tipo de sistemas ha avanzado de manera muy rápida, generando que muchas más personas tengan accesibilidad de estos desde sus computadoras personales. Y así los usuarios pueden sumergirse en el ambiente e interactuar con los diferentes objetos presentes, desde sus casas (Escartín, 1999).

5.1.3 Juegos Serios

Los Serious Games o más conocidos como juegos serios están diseñados con un fin formativo, al decir serios nos referimos a videojuegos que se utilizan para fortalecer el ámbito científico, educativo, salud, entre otros. En 1970, Clark C. Abt, un investigador estadounidense quién fue el autor de Serious Game, donde identifica factores importantes que se deben incluir para mejorar la relación enseñanza-aprendizaje, agregando a esta el componente de la diversión. Estos también son conocidos como “juegos formativos” ya que mejoran el aprendizaje de habilidades en concreto, los juegos educativos por ejemplo pueden llegar a facilitar el aprendizaje de un idioma o incluso en áreas específicas como las matemáticas. Sin embargo, existen prejuicios sobre el uso de videojuegos, esto debido a que algunos videojuegos no están diseñados para brindar aprendizaje al usuario, en el caso de la educación, los juegos serios tienen estrategias que permiten al docente enganchar a los estudiantes con los contenidos educativos presentes en estos y así divertirse mientras aprende. En la actualidad los juegos serios han ganado popularidad y están siendo ejecutados por instituciones educativas, de salud y empresas, en busca de motivar al aprendizaje (Fuerte, 2018).

5.2 ANATOMÍA Y BIOMECÁNICA DEL HOMBRO

El hombro es la articulación con mayor movilidad del cuerpo humano, debido a que posee tres grados de libertad, permitiendo así el movimiento en los tres planos del espacio, sin embargo, se considera la articulación más inestable y propensa a lesiones (Suárez y Osorio, 2013). La composición anatómica está representada por los siguientes tejidos:

5.2.1 Huesos, músculos y tendones del hombro

Un conjunto de músculos, nervios y tendones son los que conforman el hombro y permiten el movimiento de éste. Según Gramstad (2014), son:

5.2.1.1 Huesos

El hombro está compuesto por los siguientes huesos:

- **Clavícula:** En la quinta semana de gestación se osifica, esto quiere decir que adquiere consistencia ósea puede convertirse en hueso. En el periostio existe el suministro de sangre, pero no existe ninguna arteria presente (Pontificia Universidad Católica de Chile, s.f.).
- **Cuerpo de la escápula:** En esta solo encontramos la articulación acromio-clavicular, la osificación está presente en la octava semana de gestación y el movimiento del hombro es dos tercios en la parte glenohumeral y un tercio en el escapulotorácico.
- **Acromion:** Este hueso es el resultado de la continuación de la espina de la escápula, el acromion está formado por muchas partes en la zona superior e inferior. Adicionalmente está formado por dos costados en la parte inferior y exterior, también existe una esquina donde se encuentran los costados de acromion (Vértice del acromion) (Fisioonline, s.f.).
- **Glenoides:** En este encontramos el hueso subcondral que es de forma plana y su concavidad articular va creciendo mediante el labrum y cartílago, este se encuentra a 5° en retroversión con el eje del cuerpo de la escápula. (Gramstad, 2014).
- **Complejo suspensorio (Superior del hombro):** Permite una unión entre el esqueleto axial y la escápula. Está compuesto por la apófisis coracoides, el glenoides, los ligamentos, la clavícula y la articulación Acromio-clavicular y acromion (Gramstad, 2014).
- **Húmero Proximal:** Este presenta osificación en la cabeza humeral.

Tanto la tuberosidad menor y mayor facilita la unión entre los tendones del manguito (rotadores) (Gramstad, 2014).

5.2.1.2 Músculos

El manguito rotador es el conjunto de músculos más profundos del hombro, el nombre manguito, hace referencia a envoltura, siendo más apropiado para describir la forma en la que los tendones envuelven la cabeza humeral y brindan estabilidad y movimiento (Fierro, s.f.).

El grupo de músculos que conforman el manguito rotador son:

- **Músculo Supraespinoso:** Se origina en la fosa supraespinosa de la escápula, con inserción en el tubérculo mayor del húmero (troquiter) (Faes, 2011). Además, cumple con la función de elevar el brazo.
- **Músculo Infraespinoso:** Se origina en la fosa infraespinosa de la escápula, con Inserción en el tubérculo mayor del húmero (troquiter). Cumple con la función de rotación externa del brazo (Faes, 2011).
- **Músculo Redondo Menor:** Se origina en el borde externo de la escápula por la parte posterior (cresta de los redondos), con inserción en el tubérculo mayor del húmero (troquiter). Permite el movimiento de rotación externa del brazo (Faes, 2011).
- **Músculo Sub-Escapular:** Se origina en la fosa subescapular con inserción en el tubérculo menor del húmero. Permite el movimiento de rotación interna del brazo. (Faes, 2011).

Además, el músculo deltoides es el más grande, fuerte y le da la forma redondeada al hombro, este es considerado el motor del hombro gracias a la fuerza que ejerce para levantar el brazo.

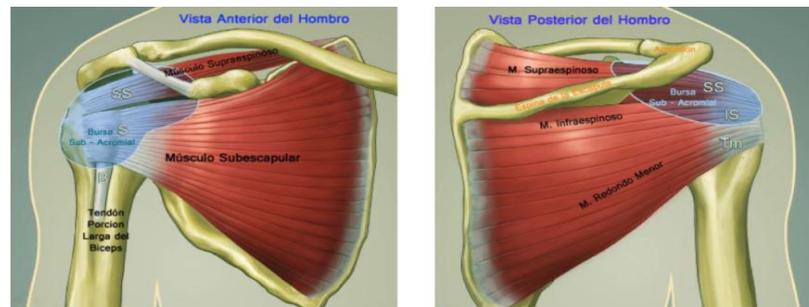


Figura 5-1 Anatomía del hombro.

Fuente: Fierro (s.f.)

5.2.1.3 Tendones

Estos son los que conectan el músculo con los huesos, en el hombro tenemos varios tendones, los cuales recubren el manguito rotador y ayudan a la movilidad del hombro. Este está conformado por el total de 4 tendones, conectando cada capa de músculos con el húmero permitiendo centrar la cabeza humeral durante el movimiento y así evitar el desplazamiento del húmero, de igual forma estos ayudan a controlar la traslación anteroposterior (ALAI, Sport Medicine Clinic, s.f.).

5.2.2 Articulaciones

El hombro está compuesto por cuatro articulaciones: glenohumeral (GH), acromio-clavicular (AC), externo-clavicular (EC) y escapulo-torácica (ET). La articulación externo-clavicular es la que conecta el hombro con el esqueleto axial (Suárez y Osorio, 2013).

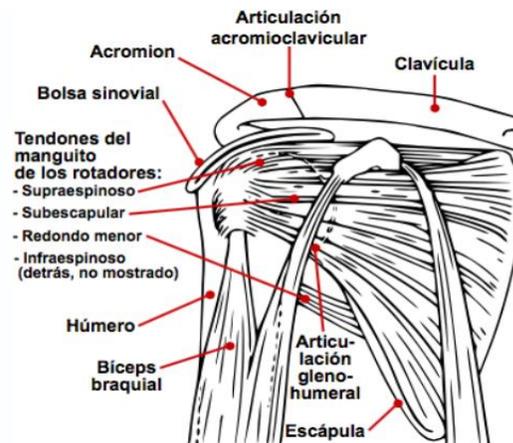


Figura 5-2 Articulación del hombro con los músculos, huesos y dos de las cuatro articulaciones que componen el complejo articular: glenohumeral, acromio-clavicular.

Fuente: Wikipedia Commons, s.f.

5.2.2.1 Articulación glenohumeral

La articulación glenohumeral (GH), es también conocida como hombro. Si bien hablamos de esta articulación mecánicamente es tipo bola-encaje, posee tres grados de libertad rotacional. Está compuesta por la cabeza del húmero y una concavidad glenoidea ubicada en la escápula, permitiendo una mejor movilidad al cuerpo humano, un ligamento coracohumeral y la musculatura correspondiente como se muestra en la Figura 5-3. La fosa glenoidea es el segmento proximal de la articulación glenohumeral, por esto, un movimiento en la escápula y su interdependencia con acromio-clavicular y esternoclavicular afectan las funciones de la articulación glenohumeral (Suárez y Osorio, 2013).

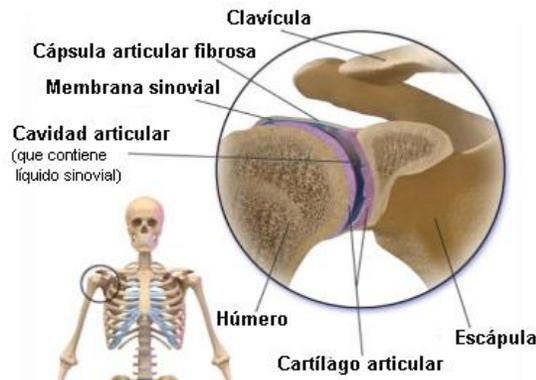


Figura 5-3 Articulación glenohumeral.

Fuente: Blausen Medical, 2014

5.2.2.2 Articulación Acromio-clavicular

La articulación acromio-clavicular (AC) es la unión entre la clavícula y la escápula, la articulación está conformada por la carilla articular acromial de la clavícula y la clavícula el acromion. Este tipo de articulación se desplaza en dos direcciones: Anterior-posterior y Superior-inferior. Las personas adultas cuentan con 19 mm en dirección anterior posterior y 9 mm de manera vertical, Además cuenta con un grosor de 1 - 3 mm, pero va disminuyendo poco a poco con la edad, su función Es mantener las fases de elevación entre la clavícula, la escápula y el rango de rotación. Cuando el brazo está elevado hacia arriba y dirigido a un lado, la articulación permite la combinación de los movimientos. (Cuéllar y Cuéllar, 2015).

5.2.2.3 Articulación externo-clavicular

La articulación externo-clavicular (EC) Esta articulación es la única que está presente entre el tronco y el miembro superior de tamaño muy pequeño, la cual está compuesta por la clavícula articular con el manubrio del esternón y el cartílago de la primera costilla y siendo una articulación de tipo sinovial plana (Suárez y Osorio, 2013). Permitiendo la movilidad en la cintura escapular (Dumontier et al., 2013). Debido a su composición se ve más afectada por las lesiones artrósicas y reumatoideas la afectan con frecuencia, además de algunas

enfermedades como el síndrome SAPHO, hiperostosis, entre otras. Pero siguen siendo las lesiones traumáticas las más comunes en afectar esta articulación, como las luxaciones y los desprendimientos epifisarios, los cuales se pueden presentar a una edad muy temprana (Dumontier et al., 2013).

5.2.2.4 Articulación Escapulo-torácica

La articulación escapulo-torácica como su nombre lo indica es la unión entre la escápula con el tórax, en la anatomía no es conocida como una articulación debido a que une tejidos fibrosos, sinoviales, cartilagosos, pero tienen movimiento. La función de esta articulación es facilitar el movimiento presente en la cintura escapula (Cuéllar y Cuéllar, 2015). Este tipo de articulación pertenece en los grupos de sisarcosis, ya que están formados por músculos las superficies articulares, el músculo subescapular está presente en la escápula mientras que músculo serrato mayor presente en la pared torácica, estos músculos son el encargado de delimitar los espacios que permite los movimientos de la cintura escapular (Acevedo et al., 2007).

5.2.3 Cinemática

En los campos de rehabilitación y bioingeniería se considera que la cinemática del cuerpo humano es un factor importante para realizar aplicaciones clínicas, donde se puede llegar a evaluar o diagnosticar a través de los movimientos patológicos (Roldán, 2017). Además, permite evaluar la evolución de tratamientos o en este caso la evolución obtenida mediante el uso de sistemas de rehabilitación. Si bien, clínicamente la cinemática de una articulación se la asocia a la velocidad y aceleración del movimiento, ofreciendo información esencial para el análisis de un sistema de rehabilitación y lograr cuantificar el acierto del sistema. En la actualidad se estudia dichos parámetros gracias a la ayuda de los sensores inerciales los que permiten obtener dichos valores y además, con la ayuda de protocolos se han logrado desarrollar herramientas que logran recuperar efectivamente la movilidad de la articulación.

5.2.4 Ritmo Escapulo-humeral

Según Codman en 1934, se le dice ritmo Escapulo-humeral al movimiento ejercido en las articulaciones glenohumeral y escapulo-torácica (G-SE, s.f.). El ritmo escapulo-humeral permite la elevación hasta los 180° . Por otro lado, en la elevación del brazo en rotación está presente el tubérculo mayor y al tendón supraespinoso bajo el arco acromial, creando pinzamiento acromial. De forma inversa, la elevación del brazo en supinación separa al tubérculo mayor y al supraespinoso del arco acromial, disminuyendo el pinzamiento subacromial (Suárez y Osorio, 2013).

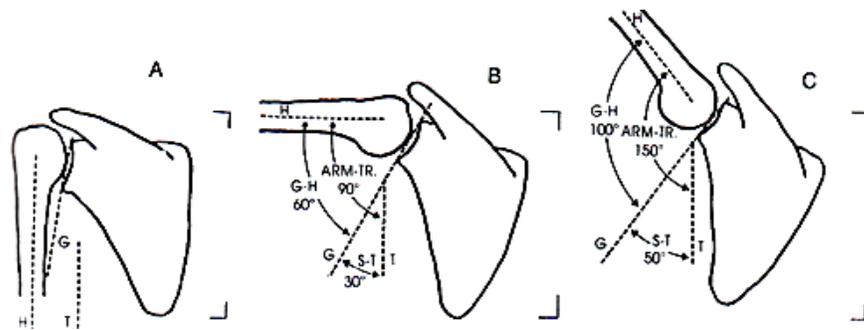


Figura 5-4 El movimiento de elevación del brazo actúa de una forma coordinada, por cada 15° de movimiento, 10° radican en el glenohumeral y 5° en la rotación escapular manteniendo la relación de 2:1.

Fuente: G-SE

Al realizar el movimiento sin tener en cuenta el plano se presentan varios centros de rotación, por ejemplo, en la abducción del hombro, la articulación glenohumeral se identifica la rotación, rodamiento y la traslación. Siendo posible la determinación de una trayectoria de los centros instantáneo de rotación (CIR) mediante la toma de radiografías en los diferentes grados de abducción, para determinar el primer centro instantáneo de rotación (Suárez y Osorio, 2013).

5.2.5 Estabilidad

El hombro tiene diferentes estructuras que le permite tener estabilidad, por ejemplo:

- Limitantes Pasivos: En esta parte se encuentra el líquido sinovial y la presión intra-articular negativa
- Elementos Estabilizadores estáticos: Encontramos la superficie articular de gran tamaño como la cabeza humeral y de menor tamaño en la cavidad glenoidea, situadas a 20-30°, el labrum glenoideo, es el encargado de aumentar la cavidad glenoidea en su profundidad y ayuda a la cápsula articular a tener continuidad; donde se insertan los ligamentos glenohumerales, las cápsulas y ligamentos.
- Elementos estabilizadores dinámicos: Donde encontramos el manguito de los rotadores que son estabilizadores que van desde la cabeza del húmero hasta el brazo, el cual permite que se encuentren de forma sincrónica con el deltoides. En los deportes como la natación o lanzadores existe una degeneración en los tendones debido a esfuerzos en la estabilización. En el bíceps encontramos el tendón largo que es el encargado de evitar la traslación en la parte de la cabeza del húmero (superior y anterior), mediante la abducción y rotación externa (Cuéllar y Cuéllar, 2015).

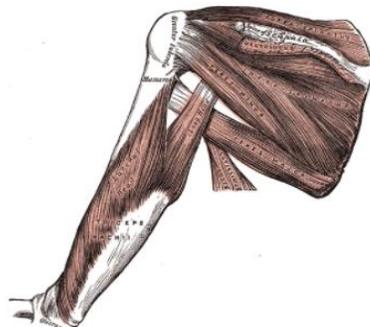


Figura 5-5 Manguito de los rotadores.

Fuente: Wikimedia Commons, s.f.

5.2.6 Rangos de movimiento del hombro

El hombro es una de las articulaciones con un rango de movilidad muy alto, esto se debe a más de 4 articulaciones que la conforman, donde podemos destacar la escapulo-torácica la cual está entre la escápula y la reja costal y el glenohumeral se encuentra entre la escápula en posición glenoidea y la cabeza del húmero (Fierro, s.f.).

Los movimientos del hombro:

- **Flexión:** Este movimiento se ejerce en el eje transversal y ocurre cuando se eleva el brazo hacia adelante. El ángulo en este caso se cuantifica a través del ángulo que se forma entre el brazo y el eje longitudinal en el plano de Flexión-Extensión (Rodríguez et al., 2005). En la posición anatómica la flexión del hombro es nula. El rango de movimiento está entre 0°-180°. (en el plano Sagital)
- **Extensión:** Es el movimiento opuesto a la flexión, es cuando el brazo se mueve en la parte posterior del cuerpo (Rodríguez et al., 2005). El rango de movimiento es entre 0°- 45°. (en el plano Sagital)
- **Abducción y Aducción:** Este movimiento se ve cuando el brazo se aleja del cuerpo (Abducción) y cuando se acerca (Aducción) (Rodríguez et al., 2005). El rango de movilidad para este movimiento está entre 0°-180° (Fierro, s.f.). El rango de movimiento se mide entre el brazo y el eje longitudinal.
- **Rotación interna y externa:** Este movimiento está en el eje longitudinal del miembro, donde la extremidad rota sobre su mismo eje. En el caso de la rotación interna el movimiento se dirige a la línea media (Fierro, s.f.). Y la rotación externa el movimiento se aleja de la línea media.

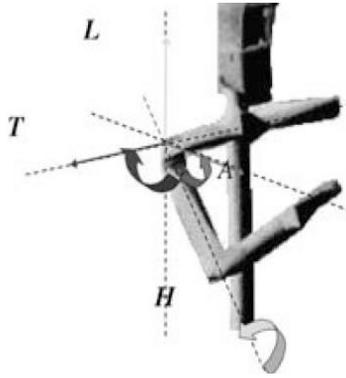


Figura 5-6 *Movimiento del hombro y ejes relacionados.*

Fuente: Rodríguez et al., 2005

5.3 LESIONES DEL HOMBRO

En este segmento hablaremos de las lesiones del hombro, además de sus síntomas, causas, diagnóstico y tratamiento para la tendinitis en el manguito rotador. Donde se ha considerado la frecuencia y la incapacidad que genera este tipo de lesiones.

5.3.1 Síndrome del manguito rotador (Tendinitis)

La lesión de tendinitis del manguito rotador es una de las más frecuentes y dolorosas, debido a que el tendón (supraespinoso) hace contacto con el acromion y consigo se amplía en los músculos presentes en este. Los movimientos son afectados (primeras semanas o días) según su clasificación aguda o crónica, estos se ven afectados por la inflamación del tendón siendo el movimiento de abducción la forma más crónica (es la más afectada). Anatómicamente la lesión está ubicada en la zona menor de vascularización en el tendón supraespinoso, debido a que existe susceptibilidad de padecer isquemias en el injerto del húmero (situado a 1 cm).

La zona nombrada anteriormente se ve afectada constantemente por la conexión del acromion y el ligamento coracoacromial, que se ve reflejado en los movimientos cotidianos como es la flexión y abducción. Es frecuente cuando las personas realizan un alto nivel de esfuerzo en la parte deportiva o laboral. Lo que provoca traumas grandes o pequeños. Se estima que el

30% de los pacientes presentan desgarro de las fibras tendinosas (Manguito rotador). Está presente en personas mayores de 40 años que han realizado actividades repetitivas del hombro e incluso ha ocurrido en jóvenes que han realizado altos esfuerzos. Adicionalmente se presentan cuando las personas han sufrido traumas en las articulaciones (movimientos bruscos o forzados, caída), En otros casos no hay signos de una lesión previa si no que el paciente empieza a sentir dolor en el tercio superior del brazo en una altura donde se encuentra la inserción del deltoides (Oliveira et al., 2007).



Figura 5-7 Tendinitis de manguito rotador.

Fuente: Drugs.com (2021)

5.3.1.1 Síntomas

En la tendinitis del manguito rotador es muy común el dolor sucesivo en el arco de movilidad del hombro, esto quiere decir que en la mitad de la amplitud articular hay dolor, pero en el inicio o finalización del movimiento no existe dolor, lo que permite indicar que una de las estructuras queda presionada con las cavidades óseas, donde el tendón se roza con el acromion. Al inicio de la enfermedad el dolor en la noche es pequeño, pero después de un tiempo el dolor se incrementa, lo que conlleva a la capsulitis adhesiva.

Los movimientos que ocasionan dolor con mayor frecuencia son la elevación y la rotación; cuando el paciente tiene el brazo activo puede sentir dolor en el arco (70° a 100°), pero el dolor va desapareciendo cuando el ángulo disminuye. En otras ocasiones el paciente para no

sentir dolor restringe la movilidad del hombro lo que permite que se forme un edema que imposibilite al paciente mediante la flexión y la abducción llegar hasta un ángulo de 180°. En la cabeza del húmero existe un punto que ocasiona dolor la cual está cerca de la inserción y la tuberosidad mayor del húmero, donde ocasiona dolor debido a que el tendón se comprime entre el acromion, ligamento y la cabeza del húmero ocasionando inflamación o fractura en las fibras tendinosas (Oliveira et al., 2007).

5.3.1.2 Causas

Entre las causas posibles en una tendinitis del hombro están las lesiones deportivas, por el uso repetitivo y excesivo de los tendones, por una lesión inesperada. En el caso de los jugadores de béisbol profesional y otros deportes que demanden el uso excesivo de las extremidades superiores existe la posibilidad de sufrir este tipo de lesiones, ya que como en cualquier otro deporte el uso excesivo de los tejidos puede contribuir a una lesión. Pero, no siempre los deportistas son los únicos que sufren este tipo de lesiones, como las personas que trabajan levantando objetos pesados, las personas que realizan trabajo en la altura, personas que en su diario vivir hace varias repeticiones y esfuerzo sus tendones puede llegar a desarrollar una tendinitis, hasta un golpe directo en el área del hombro puede llegar a causar este tipo de lesiones (Giménez, 2004).

5.3.1.3 Diagnóstico

Normalmente el diagnóstico de este tipo de lesiones se realiza a través de imágenes, con ayuda de un ecógrafo o en algunos casos una resonancia magnética. En el caso de la ecografía es un método menos invasivo y además se puede dar el diagnóstico de forma inmediata, siendo estos uno de los más utilizados actualmente (Suárez y Osorio, 2013). Para realizar la exploración o diagnóstico del tendón del supraespinoso, el paciente tiene el hombro en la posición de Crass y se realiza el estudio ecográfico del supraespinoso, iniciándose habitualmente en el eje longitudinal (Iriarte et al., 2014). Como se muestra en la figura 5-8A.

Luego se realizan varios barridos a lo largo del eje longitudinal y pasa posteriormente al eje transversal, rotando así la sonda 90°. Como se muestra en la figura 5-8B.

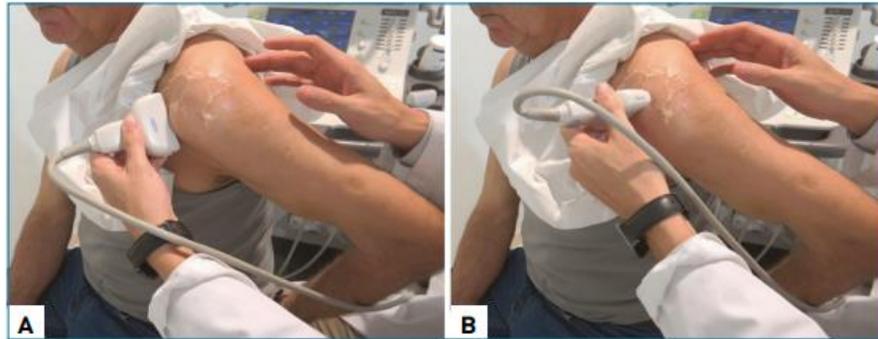


Figura 5-8 Colocación de la sonda para la exploración del tendón del supraespinoso. (A) eje longitudinal; (B) eje transversal.

Fuente: Iriarte et al., 2014

Luego, se analizan las imágenes obtenidas y según las propiedades visualizadas se logra determinar el tipo de lesión existente y poder así brindarle el tratamiento necesario para la recuperación total de la articulación. En las tendinopatías se identifica especialmente en el cambio de tamaño o el engrosamiento focal en el tendón. Esto puede estar acompañado de otro tipo de cambios, como la pérdida del patrón típico fibrilar o hipocogenicidad para tendinopatías recientes e hiperecogenicidad para las tendencias crónicas (Iriarte et al., 2014).

5.3.1.4 Tratamiento

El tratamiento para las tendinitis del manguito rotador consiste en la realización de un proceso que determina cómo será la rehabilitación. Una vez obtenido el diagnóstico correcto.

Principalmente el tratamiento se basa en ejercicios y acompañamiento de un fisioterapeuta, donde se tienen en cuenta que la recuperación de este tipo de lesiones puede llegar lento, sin embargo, las terapias llegan a tener efectos desinflamatorios y pueden aliviar el dolor (Iriarte et al., 2014).

5.3.2 Ejercicios según la literatura

Para los ejercicios según la literatura se debe tener en cuenta y respetar la consecución de la flexibilidad óptima, la fuerza suficiente para la unión musculo tendinosa (UMT), el dolor y la carga. Es necesario cumplir ciertos requisitos antes de comenzar una rutina de recuperación de movilidad, primero, se debe tener en cuenta que la articulación debe estar desinflamada y segundo, que sea capaz de soportar el trabajo que se ejercerá en la articulación.

Antes de realizar una rutina de ejercicios, debe tener en cuenta:

- **Calentamiento:** En esta etapa se eleva la temperatura corporal. El calentamiento previo no causa dolor ni malestar en la lesión, si no se pueden realizar ejercicios se puede realizar aumentar la temperatura mediante bolsas calientes (Jurado y Medina, 2008).
- **Estiramiento:** Esta es necesaria para prevenir lesiones, cuando el músculo alcanza su máxima longitud suele aparecer dolor. La falta de flexibilidad puede generar una tendinopatía, ya que incrementa la viscosidad tendinosa. El estiramiento debe ser con intervalos de 10 y 20 segundos (Jurado y Medina, 2008).
- **Ejercicio específico:** Son los ejercicios realizados específicamente para la lesión a tratar, según la literatura, los fisioterapeutas están capacitados para determinar las sesiones según la necesidad del paciente, como pueden llegar a existir terapias con 3 series y cada uno con 4 a 10 repeticiones, con breves descansos entre esta. El nivel de dolor puede disminuir según el caso de las terapias, determinando así si necesita más repeticiones, si es necesario aumentar carga o velocidad al ejercicio realizado (Jurado y Medina, 2008).

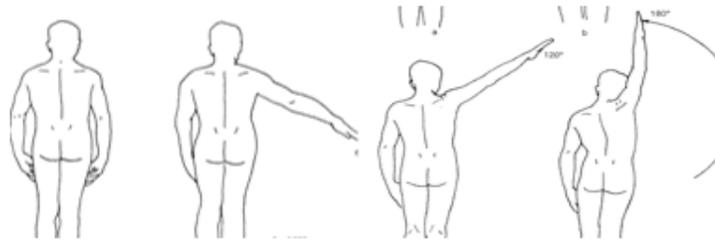


Figura 5-9 Movimiento de abducción y aducción del hombro.
Fuente: Kapandji, 2006

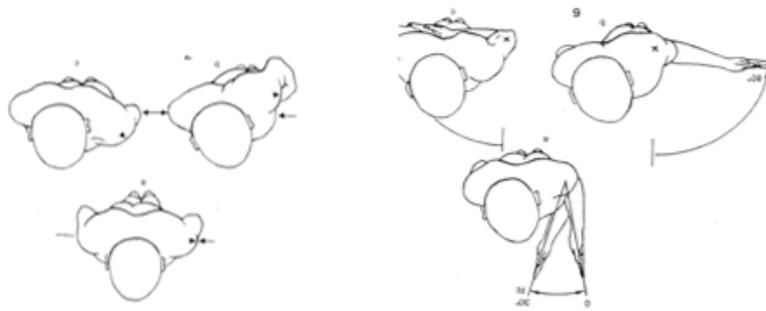


Figura 5-10 Movimiento de rotación del hombro.
Fuente: Kapandji, 2006

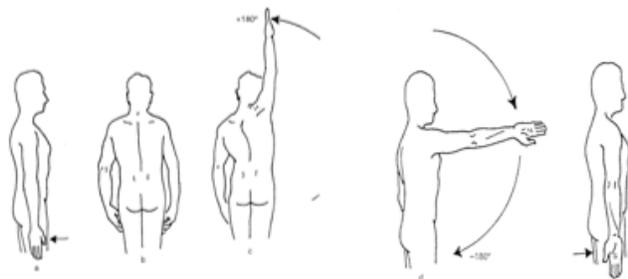


Figura 5-11 Extensión y flexión del hombro.
Fuente: Kapandji, 2006

5.4 GAMIFICACIÓN

De acuerdo a Zicherman & Cunningham, (2011, como se citó en Borrás, 2015 y a Werbach & Hunter (2012), citados por el mismo autor, la gamificación usa mecanismos y técnicas para diseñar juegos con el fin de resolver los problemas que presente el usuario. El juego utilizado se aparta de la realidad, pero la gamificación tiene como finalidad involucrar al individuo, se puede jugar mediante el círculo nombrado anteriormente teniendo en cuenta los límites. Existen numerosos juegos que motivan a los usuarios a realizar actividades diarias, esto se ve muy común en los niños (lavar manos, cepillarse, realizar tareas). Se conoce una teoría denominada “teoría de juegos” donde se utiliza lenguaje de programación o planeamiento para realizar la toma de decisiones, en los videojuegos se puede encontrar diferentes componentes (Avatares, clasificaciones, niveles entre otros) (Borrás, 2015).

5.4.1 Mecánicas del juego

Las mecánicas del juego están asociadas a la interacción del usuario con este, las animaciones, los elementos o incentivos están involucrados, esto permite que el usuario tenga una motivación y además, dentro del entorno del juego relacionan la acción y reacción del usuario, permitiendo así un mejor desarrollo del juego (Pedraz, s.f.). Estas se combinan entre sí para generar la dinámica del juego, es por esto que hablamos de los elementos visibles como una puntuación, retos, calificaciones, etc. pueden llegar a permitir una mejor relación entre el jugador y el juego (Fernández s.f.).

5.4.2 Tipos de jugadores

Existen varios tipos de jugadores en la gamificación, cada uno de estos se relaciona según el objetivo a alcanzar (Playmotiv, 2020). Por ejemplo, los Socializadores, Son aquellos jugadores que crean relaciones con el entorno o interactúan con otros jugadores. Es decir, crea relaciones sociales.

5.4.3 Beneficios

Los juegos serios se pueden usar en varias áreas de trabajo, generando situaciones para amenizar la carga laboral y divertirse a la vez. Este tipo de juegos generan seguridad psicológica y además permite que el usuario desarrolle su creatividad, capacidad de innovar y adquiera nuevos conocimientos (Adesio, s.f.). En el caso de la rehabilitación o incluso en la prevención de enfermedades laborales (como el síndrome del túnel carpiano, tendinitis del manguito rotador, etc.), los juegos serios pueden aportar a los trabajadores ejercicios con los que se puedan divertir y mejorar su calidad de vida. En varias organizaciones se han implementado este tipo de sistemas, que son utilizados para la prevención de enfermedades musculares causadas por el estrés y mejorar el rendimiento laboral con actividades lúdicas en un entorno creativo. Además, jugar y crear espacios donde las personas libran la tensión, exploran nuevas actividades y mejoran las relaciones personales (Adesio, s.f.).

5.5 PLATAFORMAS DE JUEGOS SERIOS

Existen plataformas que ayudan a crear juegos, que pueden aportar a la sociedad, como lo son los juegos serios. Dentro de estas plataformas encontramos Unity, a continuación, se muestra el funcionamiento y sus propiedades.

5.5.1 Plataforma de desarrollo en tiempo real (Unity):

La plataforma Unity es un software que permite mediante la programación realizar videojuegos que cuentan con diseños y entornos interactivos. Esta plataforma cuenta con ambientes 2D y 3D, animaciones, sonidos, incluso utiliza la inteligencia artificial (Blog Master D, s.f.).



Figura 5-12 Logo Unity.

Fuente: Blog Masted D, s.f.

5.5.1.1 Descripción

Unity 3D es un software que permite visualizaciones arquitectónicas en tiempo real, este programa permite que los juegos se puedan efectuar en consolas, sistemas operativos (Mac, Windows, Xbox 360, PlayStation 3, Linux) y dispositivos móviles (iPhone, Android). Este sistema cuenta con un editor que permite el diseño y un editor donde se pueden observar las acciones contenidas en el juego (SG, s.f.). Adicionalmente este software cuenta con diferentes lenguajes de programación que ayudan a realizar los videojuegos de una manera sencilla como:

- **Boo:** Este lenguaje se basa en objetos (estáticos) desarrollados para su infraestructura de lenguaje en entornos virtuales, teniendo sintaxis en Python, este cuenta con licencia de tipo MIT/BSD y está unido con Microsoft.Net (Academia Android, 2015).
- **JavaScript:** Este lenguaje se desarrolla en objetos, prototipos de forma dinámica, cuenta con navegadores web con el fin de brindar al usuario una mejor interfaz. Actualmente los navegadores ejecutan JavaScript con el fin de aplicar el DOM (Academia Android, 2015).
- **C#:** Este lenguaje aplica objetos de Microsoft para plataformas net, con el fin de implementar lenguajes en entornos virtuales para diferentes aplicaciones en las que pueden ser ejecutadas en Microsoft, este lenguaje sólo sirve en la ejecución del mismo (Academia Android, 2015).

5.5.1.2 Características

Unity permite exportar en diferentes plataformas, no solo permite trabajar con MacOS, Windows, o Linux, si no que permite crear y editar nuestro juego con un promedio mayor a 25 plataformas. Este no cuenta con procesos automáticos ya que al exportar en consolas tiene diferente forma de trabajo ya que cada plataforma cuenta con requisitos diferentes (Erosa, 2019).

5.5.1.3 Interfaz de usuario en Unity

Permite crear diferentes escenas del usuario y características del sistema de Unity como:

- **File:** Nos permite crear, guardar o abrir un proyecto, una escena, también nos permite el acceso a build settings y build and run, donde se ajusta el juego y selecciona características finales (Academia Android, 2015).
- **Assets:** En esta parte se pueden crear propiedades de cada uno de los objetos establecidos en el videojuego, permite la interacción entre el objeto y el entorno (Academia Android, 2015).
- **GameObject:** Nos permite la creación de GameObjects, donde se puede definir objetos, determinar las propiedades de estos, además permite escoger algunos de los elementos predeterminados y colocarlos en las escenas del juego (Academia Android, 2015).

5.5.1.4 Interfaz de usuario IU

Permite crear diferentes escenas del usuario con diferentes características del sistema de Unity como:

- **Canvas:** En esta parte en donde están todos los objetos denominados GameObject, esta muestra un rectángulo el cual posiciona cada uno de los objetos para poder visualizar el juego (Unity Documentation, s.f.).

- **Componentes Visuales:** Son los componentes básicos para la creación de secciones. Como: Text (Texto), es conocido como Label, es donde agrega el texto a mostrar en pantalla, donde se puede configurar el tamaño de letra, fuente y otras opciones de texto e Image (Imagen), en esta sección se pueden subir imágenes y cambiar sus características, además de su escala o material.
- **Integración de Animación:** Permite la animación utilizando el sistema de unity, según las propiedades se pueden animar sincrónicamente. Se debe tener en cuenta que para utilizar una animación de transición este necesita de un controlador seleccionando (Auto Generate Animacion). Adicionalmente se configura para ser guardados (Unity Documentation, s.f.).

5.5.1.5 Animation clips:

Este es un elemento importante para las animaciones de Unity, gracias a este se pueden importar animaciones de fuentes externas y permite crear animaciones propias desde cero. Se cuenta con animaciones externas las cuales tienen movimientos humanoides gracias a un sistema de captura de movimiento y las animaciones creadas y editadas dentro de Unity permite crear y editar animaciones. Pueden animar rotación, escala y posición de los objetos, las propiedades de los objetos como el color, intensidad de luz, etc; propiedades de los scripts, como las variables flotantes, vectoriales y booleanas, sincronización de activación de funciones dentro de los scripts (Unity Documentation, s.f.).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 MATERIALES

6.1.1 Sistemas de interacción

Son sistemas que permiten la comunicación entre uno o más dispositivos, con el fin de captar o entregar información referente a un proceso, permitiendo reconocer, en el caso de los sistemas de captura de movimiento, gestos realizados por el usuario y estos son reflejados en un juego (Espinosa y Buitrago, 2014). Los sistemas de interacción tienen componentes como la interfaz: la cual permite al usuario interactuar con el ambiente realizado a lo largo del juego; el Kinect nos permite identificar las acciones a realizar según los movimientos y finalmente el usuario interactúa con los dos anteriores y juntos desarrollan las actividades dentro del sistema, generando un aprendizaje.

6.1.2 Windows kinect

El Kinect Xbox one es un sensor que permite la realización de videojuegos debido a que capta los movimientos del usuario; adicionalmente, permite reconocer la voz, los gestos, el movimiento y el rostro de los usuarios debido a que cuenta con un sistema basado en cámaras y sensores infrarrojos que, en conjunto con el software, generan un mapa en tres dimensiones del entorno visual. Cuenta con una barra horizontal que le permite estar en esa posición y en la parte interna está compuesta por el Hardware que cuenta con una cámara RGB, micrófono, tecnología de luz infrarroja, Firmware, finalmente un procesador que permite mediante algoritmos procesar las imágenes en tres dimensiones, obteniendo la captura del movimiento (Tobes y Fernández, 2017).

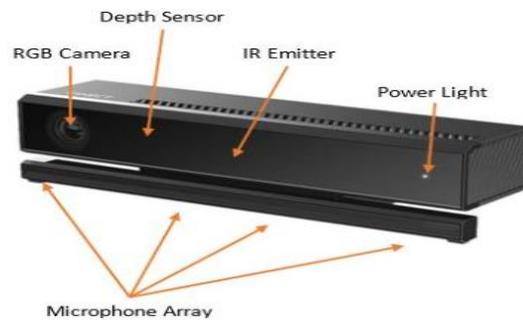


Figura 6-1 Sensor Kinect Xbox One.

Fuente: Crussel, s.f.

Al desarrollar este sistema cuenta con diferentes beneficios en su nivel tecnológico como una alta resolución y seguimiento de los movimientos del cuerpo, resolución detallada, rango del sensor (Profundidad), velocidad en el puerto (USB 3.0), un mejor sonido y además percibe los movimientos en ambientes oscuros

Las personas encargadas de Microsoft hicieron el lanzamiento del SDK 2.0 lo que permitió conectar el Kinect con Pc o portátil que tenga el sistema operativo compatible con el sistema operativo, mediante la conexión 3.0 a través de un adaptador (Tobes y Fernández, 2017).

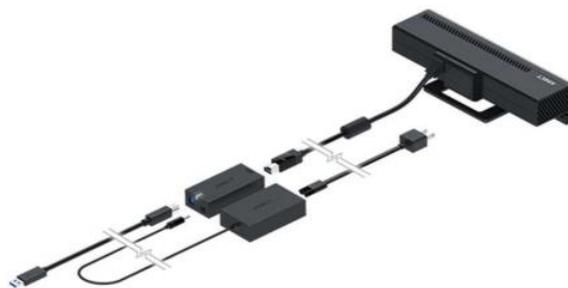


Figura 6-2 Adaptador para Windows Kinect.

Fuente: Tobes y Fernández, 2017

Se realizó una investigación previa y asesoramiento con el profesional de salud en cuestión (fisioterapeuta), quién orienta y propone una estrategia para la rehabilitación del miembro

superior, basada en ejercicios y actividades que faciliten dicha rehabilitación. Adicionalmente se crea una plataforma en Unity 3D (software) y elementos hardware como el Kinect, el cual permite captar los movimientos, como se muestra en la figura 6-3. Permitiendo realizar la interacción entre el paciente y el sistema desarrollado. Luego, se realizan pruebas con personas sanas y con personas que sufren del manguito rotador para evaluar su efectividad. Finalmente se genera el “análisis de recuperación del paciente” en donde se muestra en un documento .txt entregado por el sistema y de esta manera se observa la rehabilitación remota del mismo.



Figura 6-3 Componentes del sistema.
Fuente propia

6.1.3 Interfaz ASSET v2 con MS-SDK

El Kinect -V2, también llamado Kinect Xbox One, tiene varios scripts los cuales cuentan con más de 30 paquetes (escenas), siendo compatibles con sensores. Gracias a las escenas que este contiene se pueden utilizar avatares, los cuales son controlados gracias al sensor Kinect y se pueden observar los gestos que la persona realiza, crear vestuarios, superposiciones, entre otras. Es importante resaltar que el paquete es compatible con todas las versiones que actualmente se encuentran en la plataforma Unity (Unity Asset Store, s.f.).

6.1.4 Microsoft Visual Studio 2019

Es un entorno de desarrollo integrado (IDE) la cual funciona de manera gratuita o permite el acceso con el correo perteneciente a Microsoft, fue creado para Windows y MacOS, es compatible con varios lenguajes de programación, como C++, Java, Python y PHP, entre otros. Este permite crear sitios y aplicaciones web, es así como gracias a herramientas como estas se puede desarrollar diferentes aplicaciones de diferentes tipos y mejorar las comunicaciones (Microsoft Ignite, 2021).

6.1.5 Entorno de pruebas

Para el desarrollo del sistema de rehabilitación para tendinitis del manguito rotador; se tuvo en cuenta el ambiente en el que se realizó la toma de pruebas a cada uno de los pacientes, logrando una mayor precisión en la toma de datos. El ambiente cuenta con un área de (2.5m × 3.9m) 9.75m², El sensor se ubicó a la altura de la cadera del paciente el cual varía entre 1m - 0.85m, con una distancia mínima de detección de 1.4 m del sistema (mostrado en la figura 6-5). Gracias a la posición del Kinect se pudo obtener una esqueletización óptima (Como se muestra en la figura 6-4) para el desarrollo del sistema de rehabilitación. Además, se cuenta con un televisor de 32" y un computador Asus Core i5 que permite visualizar el juego. Como se muestra en la figura 6-6.

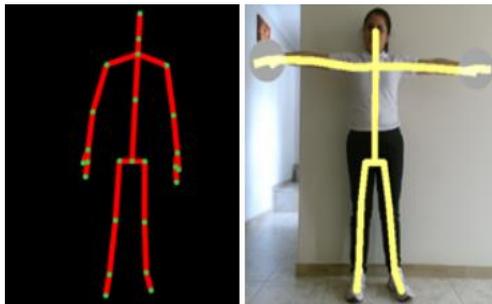


Figura 6-4. Esqueletización obtenida mediante el Kinect. Fuente propia



Figura 6-5 Entorno de pruebas. Fuente propia



Figura 6-6 Altura del Kinect. Fuente propia

6.2 MÉTODOS

6.2.1 Protocolo de ejercicios

Se deben establecer ejercicios de recuperación, los cuales debe realiza el paciente, teniendo en cuenta la postura adecuada para captar el movimiento a través del Kinect, los ejercicios a realizar en los juegos fueron seleccionados gracias al acompañamiento de la fisioterapeuta María Cristina Pérez Hurtado, quien es especialista en mano y miembro superior, labora en la clínica de fracturas ubicado en el barrio el recuerdo de la ciudad de Popayán y además es docente de la universidad del Cauca en el programa de fisioterapia, cada uno de los ejercicios cuenta con la medición de variables cinemáticas como la velocidad, la cual permite evaluar

la capacidad de una articulación para realizar un movimiento y la aceleración es la variación de dicha capacidad, es por esta razón que la especialista recomienda implementar estas variables en el videojuego.

Se realizó una terapia para la recuperación de la tendinitis del manguito rotador, con el fin de seleccionar ejercicios que aporten de forma analgésica en la lesión y luego sean capaz de fortalecer la articulación. Como se observa en la figura 6-7, 6-8 y 6-9.



Figura 6-7 Primer ejercicio, realizando aducción y abducción del hombro. Fuente propia.



Figura 6-8 Segundo ejercicio, realizando flexión del hombro. Fuente propia



Figura 6-9 Tercer ejercicio, realizando fortalecimiento del hombro. Fuente propia

Adicionalmente, se realizan 5 ejercicios de estiramiento, como se muestra en la figura 6-10 y 6-11.



Figura 6-10 Primera etapa para los estiramientos. Fuente propia

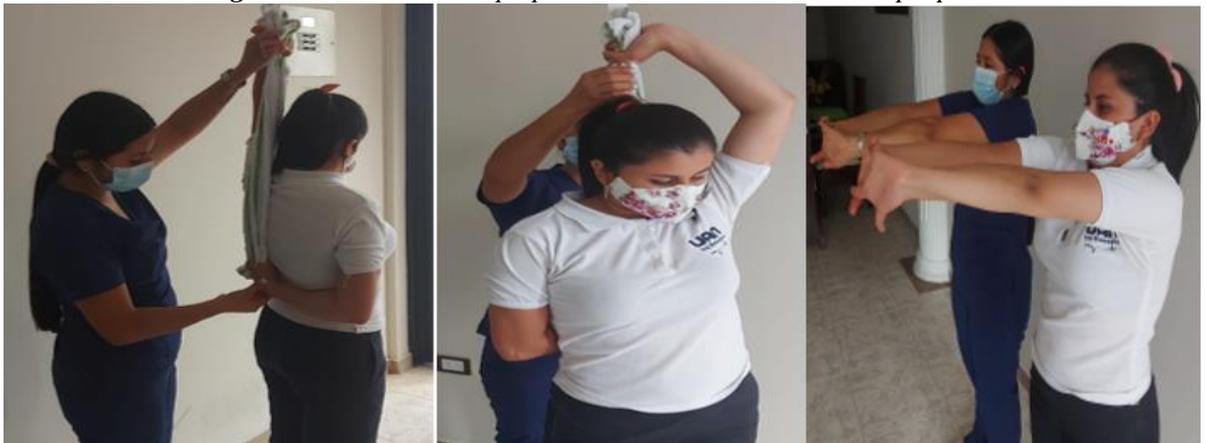


Figura 6-11 Segunda etapa de estiramientos. Fuente propia

6.3 DESARROLLO DE LA PLATAFORMA

Basándose en los ejercicios realizados por la fisioterapeuta, se implementó una forma didáctica para rehabilitar el manguito rotador. Simplificando la secuencia de ejercicios, se crea un diagrama de flujo (Ver ANEXO C), en donde se establece el orden de los ejercicios y el modelo de interacción de acuerdo a los eventos que realice el paciente o usuario. Inicialmente, se establece la opción para que el paciente pueda realizar 5 ejercicios de estiramientos, para lo cual se muestra una serie de videos instructivos que demuestran las posturas y los movimientos adecuados para iniciar la terapia. Luego, se incluyen tres tipos de ejercicios, que le permiten al paciente ejecutar la terapia de forma gradual. Cuando se ingresa al primer ejercicio, se activa el sensor Kinect, para la detección del movimiento, sin embargo, la secuencia del juego queda a la espera de presionar el botón “Start”, para iniciar. Al detectar el movimiento de los brazos, la plataforma lo replica mediante un avatar el cual se mueve con un efecto espejo; además, destaca los movimientos adecuados con puntajes positivos. Si logra cumplir con el puntaje idóneo, se califica como exitoso el ejercicio; de lo contrario, genera una mala ejecución de los ejercicios y se reinicia el procedimiento.

De igual forma se establecen en los ejercicios dos y tres; sin embargo, en este último, Al iniciar el ejercicio, el paciente debe estar en posición de “T”, es decir con los brazos abiertos, haciendo un ángulo de 180° un brazo con respecto al otro. En caso de que el sistema no detecte la posición adecuada, pasado un tiempo, se reinicia el ejercicio al menú inicial.

En el entorno de desarrollo Unity, se crean las plantillas que establecen la secuencia del juego de forma interactiva. En la figura 6-12, se visualiza un menú inicial, con 3 juegos enfocados a dicha rehabilitación y un botón de estiramiento.



Figura 6-12 Plataforma principal del juego. Fuente propia

6.3.1 Estiramiento en la plataforma

Una vez el paciente de inicio a su terapia debe realizar un estiramiento previo, el cual consiste en 4 ejercicios, de los cuales se hace 3 series por 10 segundos. Con estos ejercicios se busca preparar y calentar el músculo, además se deben realizar los mismos estiramientos una vez se termine la sesión, con el fin de prevenir cualquier dolor posterior a la terapia. Para dar paso al proceso de estiramiento, debe seleccionar el botón de “estiramiento”, el cual reproducirá un video instructivo. Como se muestra en la figura 6-13.



Figura 6-13 Video instructivo para los estiramientos necesarios antes y después de la terapia. Fuente propia

6.3.2 Juegos de rehabilitación

El desarrollo de los videojuegos se realizó según las recomendaciones de la fisioterapeuta, donde se proponen unas metas en cada sesión, empezando las terapias desde un ángulo pequeño y a medida que se va realizando la terapia el ángulo cambiará. Al finalizar cada

ejercicio de la terapia se obtiene un archivo .txt con la velocidad y aceleración promedio del movimiento, con el fin de obtener una validación del sistema y llegar a medir la efectividad en el paciente. Además, se incluyeron sonidos a la plataforma, cuando el avatar recorre cada uno de los ejercicios, esto con el fin de lograr una mejor interacción y diversión al sistema.

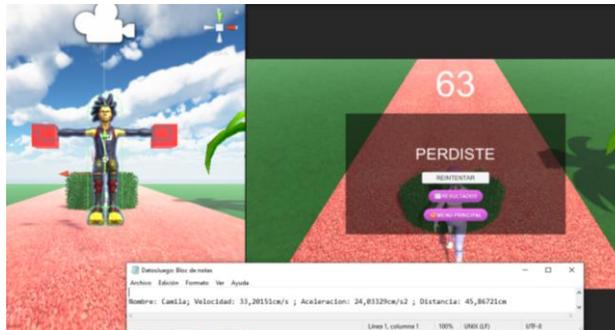
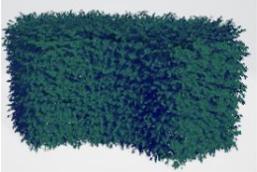


Figura 6-14 Demostración de los resultados obtenidos. Fuente propia

A continuación, se muestran los elementos que hacen parte de cada uno de los juegos incluidos en el sistema rehabilitación, gracias a estos se logra crear una interacción y cumplir con una finalidad en específico.

Tabla 6-1 Componentes del sistema de rehabilitación. Fuente propia

Componentes	Figura
<p>Personaje principal: Se descargó un personaje de una plataforma gratuita llamada www.mixamo.com; esta plataforma permite utilizar los personajes y animaciones, siempre y cuando no se vendan dichos personajes y animaciones, el personaje tiene como objetivo correr y esquivar obstáculos en cada uno de los 3 juegos, el usuario se identifica con el avatar y lo controla a través de sus movimientos</p>	
<p>Arbustos: Indica al avatar que debe esquivar los arbustos con el fin de no perder las vidas, por lo tanto, si el usuario los esquivará ganará el juego.</p>	
<p>Pista de carrera: Es la parte donde el personaje correrá en el juego, brindando un suelo firme.</p>	
<p>Césped: Permite al avatar saltar en las diferentes plataformas creadas con dicho césped, esto con el fin de no caer al mar y avanzar en el juego.</p>	

Cronómetro: texto en la parte superior que indica al usuario el tiempo que debe lograr para poder ganar el juego.	
Vidas: Indican los desaciertos y limitan al jugador a equivocarse.	

Para el desarrollo del sistema de rehabilitación se construyó un algoritmo que permite realizar acciones controladas por el sistema de captura de movimientos (Kinect), a través del Assets (Kinect v2 Examples with MS-SDK), se utiliza un código de captura de movimiento establecido dentro de dicha herramienta. La codificación se realizó en base a C# y el entorno se creó con un conjunto de estructuras realizadas gracias a GameObjects y otros modelos en 3D preestablecidos.

Para lograr que el personaje principal de cada juego realice ciertos movimientos es necesario contar con animaciones. Dichas animaciones son llamadas y activadas mediante la función `Animator.Play` ("nombre de la animación"), estas son descargadas de manera gratuita en la página www.mixamo.com, la cual, permite descargar personajes y animaciones libres de derechos de autor para proyectos personales, comerciales y sin ánimo de lucro. La función `Instantiate` permite que el personaje reproduzca los códigos con los que ha sido guardado y además, esta función permite crear objetos transitorios dentro de la interfaz, es decir, dichos objetos aparecen y desaparecen mientras el personaje recorre una pista o realiza una acción. Cada uno de los juegos tiene como finalidad terminar el conteo regresivo sin perder las 3 vidas establecidas, haciendo uso de *Triggers as Colliders* se logra que los objetos no se comporten como un objeto sólido y permite que otros objetos pasen a través de este. Al detectar una acción incorrecta o un paso inadecuado, se pierde un valor, en este caso una vida y con la ayuda de la función `Transform.position` y unas coordenadas preseleccionadas, el personaje volverá a la posición inicial.

6.3.2.1 Primer ejercicio

A través de este ejercicio, el paciente realiza el movimiento de aducción y abducción del hombro. El objetivo de este primer juego es esquivar los arbustos que irán saliendo de forma

aleatoria sobre la pista de carreras, para así poder ganar el juego. Se gana una vez el paciente termine los noventa segundos del juego, este proceso se repite entre cinco y diez veces según lo recomiende el fisioterapeuta; además cuenta con tres vidas para llegar el final (Como se muestra en la figura 6-15).



Figura 6-15 Juego de obstáculos. Fuente propia

Para que el avatar realice el movimiento, el paciente debe llegar a un ángulo determinado, el cual está marcado por los cubos rojos dentro del juego, si el paciente llega al ángulo izquierdo, el avatar del juego irá hacia la izquierda y así mismo para el ángulo derecho, si toca el ángulo derecho, el avatar irá a la derecha (Como se muestra en la figura 6-16).

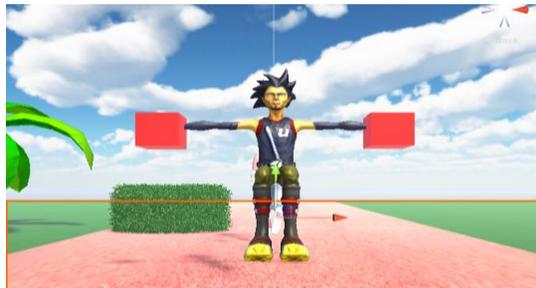


Figura 6-16 Movimiento de abducción y aducción evaluadas en la plataforma. Fuente propia

6.3.2.2 Segundo ejercicio

El paciente, a través de este ejercicio, realiza el movimiento de flexión del hombro. El objetivo de este segundo juego es saltar a cada plataforma ubicadas en un orden determinado frente al avatar sobre el mar. Una vez el paciente caiga al mar, perderá una de las tres vidas

asignadas; al igual que en el primer juego, el paciente tendrá noventa segundos para realizar el ejercicio y las repeticiones serán designadas por el fisioterapeuta (Como se muestra en la figura 6-17).



Figura 6-17 Juego de salto de plataformas. Fuente propia

En este caso, el paciente debe llegar a los cubos verdes, los cuales tendrán al igual que el juego anterior un ángulo designado, permitiendo así el movimiento del avatar hacia la izquierda y derecha (Como se muestra en la figura 6-18).



Figura 6-18 Movimientos de flexión. Fuente propia

6.3.2.3 Tercer ejercicio

Finalmente, el tercer ejercicio es un juego que ayudará a fortalecer la articulación. En este juego el paciente tomará una posición distinta a los demás, con sus brazos él deberá tomar forma de “T”, iniciando en esta posición. Una vez el paciente baje los brazos, el avatar saltará

a la siguiente plataforma y deberá volver nuevamente a su posición inicial para ganar impulso y saltar nuevamente. Al igual que los anteriores juegos, el paciente cuenta con tres vidas y noventa segundos de juego (Como se muestra en la figura 6-19).



Figura 6-19 Juego en "T" para salto en la plataforma. Fuente propia

El paciente en posición de "T" deberá tocar la barra blanca para alcanzar el objetivo propuesto en este ejercicio de fortalecimiento (Como se muestra en la figura 6-20).

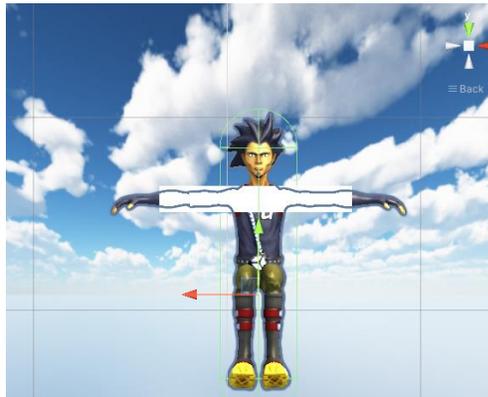


Figura 6-20 Movimiento de fortalecimiento. Fuente propia

6.4 OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Los datos se obtuvieron mediante la mecánica de articulación del hombro, con el fin de almacenar los parámetros de velocidad y aceleración. Se estudia la cinemática de la misma, donde se analizan los aspectos geométricos del movimiento. Primero definimos nuestra posición inicial o el punto de referencia a lo largo del plano cartesiano (x, y, z) ubicado dentro

de la trayectoria a trazar obtenidos a través a la esqueletización y lo representamos de la siguiente forma:

$$r(t) = x(t)i + y(t)j + z(t)k \quad (1)$$

Donde:

$r(t)$: Es el vector de posición.

$x(t), y(t), z(t)$: Coordenadas del vector de posición respecto al tiempo.

i, j, k : Son los vectores unitarios en las direcciones de los ejes OX, OY y OZ.

Una vez obtenido el vector de posición se puede calcular la velocidad y aceleración del movimiento.

6.4.1 Velocidad del movimiento

La velocidad del movimiento dentro de la articulación del hombro corresponde a una magnitud física vectorial que relaciona la distancia y el tiempo en recorrerla. Esta se obtiene calculando la primera derivada.

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{d_x(t)}{dt}i + \frac{d_y(t)}{dt}j + \frac{d_z(t)}{dt}k \quad (2)$$

Donde:

v : Velocidad del movimiento.

$\frac{dr}{dt}$: Variación del desplazamiento en el tiempo.

$\frac{d_x}{dt}$: Variación de posición en el eje x con respecto al tiempo.

$\frac{d_y}{dt}$: Variación de posición en el eje y con respecto al tiempo.

$\frac{d_z}{dt}$: Variación de posición en el eje z con respecto al tiempo.

i, j, k : Son los vectores unitarios en las direcciones de los ejes.

6.4.2 Aceleración del movimiento

La aceleración es el cambio de magnitud de la velocidad respecto al tiempo, también conocida como la derivada de la velocidad.

$$a = \frac{dv}{dt} = a_x i + a_y j + a_z k \quad (3)$$

Donde:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, a_y = \frac{dv_y}{dt}, a_z = \frac{dv_z}{dt} \quad (4)$$

Donde:

a: Aceleración

$\frac{dv}{dt}$: Cambio de velocidad por unidad de tiempo

$\frac{dv_x}{dt}$: Componentes cartesianos de la velocidad en x.

$\frac{dv_y}{dt}$: Componentes cartesianos de la velocidad en y.

$\frac{dv_z}{dt}$: Componentes cartesianos de la velocidad en z.

i, j, k: Son los vectores unitarios en las direcciones de los ejes.

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS

7.1 VALIDACIÓN DE LA PLATAFORMA

La implementación de la plataforma interactiva permitió evaluar ejercicios de movimiento realizados por una población seleccionada la cual, está dentro de un rango de edad entre 34 a 67 años con el fin de obtener resultados relacionados con las variables cinemáticas mencionadas en el proyecto. Esta población se dividió en dos grupos: un grupo lo componen participantes sanos, es decir no tienen ninguna patología en las articulaciones de las extremidades superiores; y un segundo grupo compuesto por participantes que padecen del síndrome de manguito rotador.

7.1.1 Pruebas a pacientes sanos

Esta población cuenta con 11 participantes, las cuales no sufren del síndrome de manguito rotador. Las pruebas se realizaron en dos sesiones diferentes; cada paciente hizo una sesión por día. Se tuvieron en cuenta las normas de bioseguridad para evitar el contagio de COVID 19 (Como se muestra en la figura 7-1). En ambas etapas el paciente realizó los estiramientos establecidos en la plataforma y consiguió realizar los ejercicios con los diferentes movimientos, obteniendo así parámetros normales (mostrado en la figura 7-2, 7-3 y 7-4). Esta prueba se estableció con el fin de comprobar la veracidad de los resultados que arroja la plataforma.

NOTA: En el día se realizaron pruebas a 4 participantes, el tiempo de terapia era de aproximadamente 1 hora por persona; por lo tanto, las pruebas a personas sanas se concretaron en 5 días.



Figura 7-1 Entrada, desinfección y explicación del estudio de los participantes. Fuente propia



Figura 7-2 Estiramiento y preparación de los participantes. Fuente propia



Figura 7-3 Sesión 1 en participantes sanos. Fuente propia



Figura 7-4 Sesión 2 en participantes sanos. Fuente propia

7.1.2 Pruebas a pacientes patológicos

En esta población participaron 3 pacientes, los cuales sufren del síndrome del manguito rotador. Las pruebas se realizaron en cuatro sesiones diferentes, una por día. Se tuvieron en cuenta las normas de bioseguridad para evitar el contagio de COVID 19 (Como se muestra en la figura 7-5). En ambas etapas, el paciente realizó los estiramientos indicados en la plataforma (Mostrado en la figura 7-6). Finalmente se realizan los ejercicios con los diferentes movimientos requeridos (Mostrado en la figura 7-7). Se debe tener en cuenta el rango de movilidad ya que los pacientes patológicos pueden presentar molestias, por ello, se realizaron las pruebas desde diferentes ángulos, donde se fue aumentando a medida que se realizaban las sesiones.

NOTA: En el día se realizaron pruebas a 3 participantes, por lo tanto, las pruebas a personas patológicas se concretaron en 4 días.



Figura 7-5 Entrada, desinfección y explicación del estudio de los participantes patológicos. Fuente propia



Figura 7-6 Estiramiento y preparación de los participantes patológicos. Fuente propia

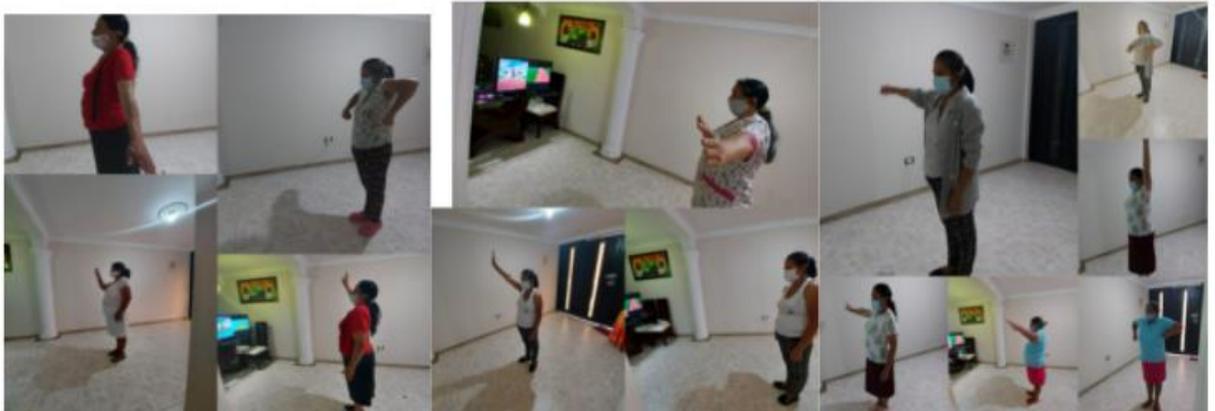


Figura 7-7 Sesiones para cada juego. Fuente propia

7.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Resultados obtenidos para pacientes sanos y patológicos en cada una de las sesiones y en cada juego para la rehabilitación del manguito rotador.

7.2.1 Resultados pacientes sanos

Los datos obtenidos en las pruebas realizadas a pacientes sanos, se muestran en la tabla 7-1, en donde la velocidad y aceleración, son calculadas en la plataforma, referentes a los resultados esperados en cada ejercicio.

Tabla 7-1 Resultados de los promedios de los participantes sanos. Fuente propia

Participante		Velocidad promedio (cm/s)			Aceleración promedio (cm/s ²)			Edad (años)	Estatura (m)
		juego 1	juego 2	juego 3	juego 1	juego 2	juego 3		
Participante 1	S1	37,30	85,11	19,35	35,12	78,90	16,52	49	1.65
	S2	57,71	111,49	24,92	60,89	127,81	26,41		
Participante 2	S1	31,9	73,7	24,39	33,7	55,51	27,05	44	1.65
	S2	43,45	92,20	25, 01	42,43	97,68	29,91		
Participante 3	S1	37,91	76,72	21,97	33,12	61,91	23,24	34	1.56
	S2	44,34	100,90	23,66	35,84	108,31	26,88		
Participante 4	S1	27,49	64, 01	61,08	20,37	65, 09	20,55	40	1.57
	S2	44,47	70,91	21,35	45,61	52,79	23,78		
Participante 5	S1	42,55	90,60	21,21	39,87	87,91	23,61	41	1.65
	S2	48,61	105,60	21,24	47,22	105,91	21,92		
Participante 6	S1	35,39	79,92	19,38	28, 09	69,30	20,05	40	1.56
	S2	49,50	101,56	21, 09	55,05	105,55	21,79		
Participante 7	S1	47,48	80,31	18,87	46,81	69,90	17,89	34	1.59
	S2	39,59	99,91	19,19	36,03	114,40	17,94		
Participante 8	S1	42,11	81, 01	19,33	41,33	70,70	17,38	48	1.54
	S2	51,69	102,41	25,13	61,51	105,29	27,04		
Participante 9	S1	36,23	79,51	21,28	29,81	66,91	21,27	53	1.76
	S2	45,30	95,69	21,39	47,24	96,43	21,82		
Participante 10	S1	54,96	90,21	19,06	70,11	84,70	17,76	41	1.76
	S2	55,31	98,65	24,12	58,31	89,55	24,05		
Participante 11	S1	37,71	90, 01	18,88	32,75	83,41	16,55	53	1.57
	S2	50,88	120,70	26,44	56,46	163,69	33,19		

NOTA: Para la sesión 1 (S1) el ángulo objetivo fue de 45° y para la sesión 1 (S2) el ángulo objetivo fue de 80°

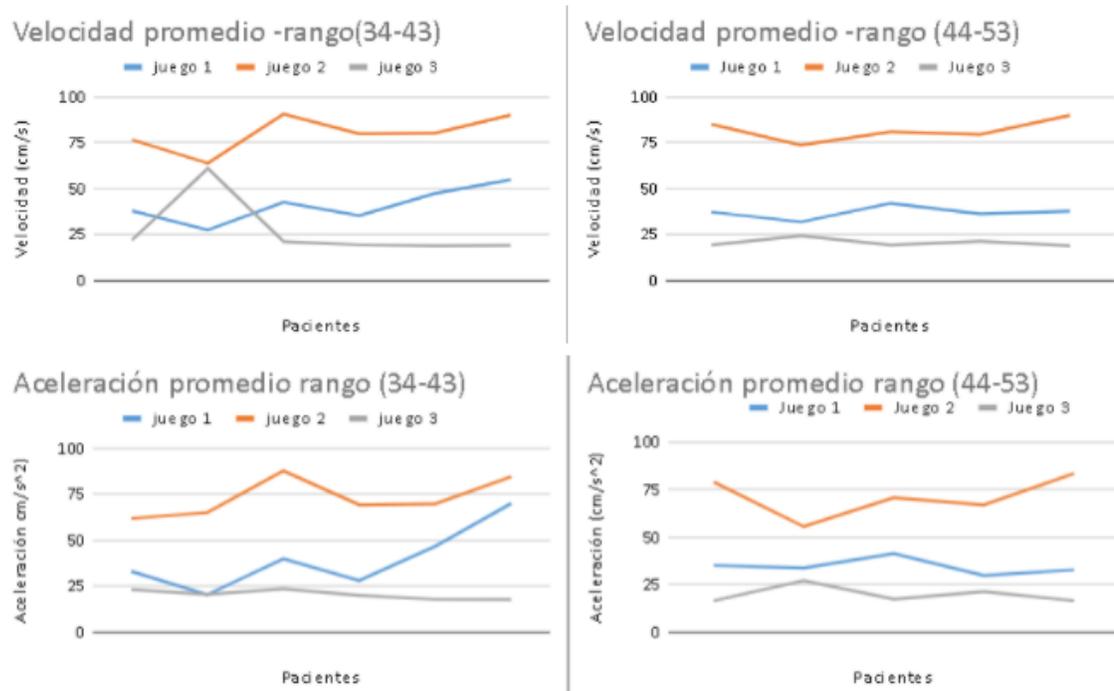


Figura 7-8 Velocidades y aceleraciones promediadas en relación a las edades. Fuente propia

De acuerdo a resultados obtenidos en los pacientes sanos, se observa que al aumentar el ángulo de la articulación, se presenta una tendencia a aumentar la velocidad del movimiento de forma directamente proporcional. Además, la edad es una variable a tener en cuenta, ya que las personas de menor edad tuvieron resultados más altos que las personas de mayor edad. Todos los participantes lograron el objetivo y manifestaron sentirse a gusto con la plataforma logrando una interacción agradable y terminaron satisfactoriamente las sesiones acordadas.

7.2.2 Resultados pacientes patológicos

Aquellos pacientes que presentaron la prueba y padecen de lesiones en el hombro, se les realiza un estudio detallado a los resultados presentados en la plataforma por cada paciente,

con el fin de llevar una trazabilidad en las métricas que determinan la viabilidad del sistema en las terapias de rehabilitación.

7.2.2.1 Paciente 001

Dentro de este grupo de pacientes patológicos se tiene al paciente 001 de 67 años, con una estatura de 1.59m, quien sufre del síndrome de manguito rotador en la articulación del brazo derecho desde hace 4 años. Manifestó que su dolor se debe al trabajo que ejerció como madre Comunitaria del Instituto Colombiano del Bienestar Familiar, donde en varias ocasiones llevó al límite su articulación ocasionando dolores al realizar actividades comunes. Hoy en día ejerce la labor de manipuladora de alimentos en el CDI barquito de papel y en este trabajo debe realizar acciones que involucran nuevamente esfuerzo en su articulación. Es por esto que fue seleccionada para este estudio.

Tabla 7-2 Resultados para las cuatro sesiones del paciente 001. Fuente propia

SESIÓN 1								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)
39,90	36,08	45	73,55	60,61	160	16,51	12,72	80
33,63	26,52	45	74,73	61,56	160	16,71	15,14	80
35,41	29,53	45	68,73	52,22	160	15,16	13,57	80
33,70	27,81	45	64,66	49,08	160	15,88	12,21	80
39,20	36,43	45	62,49	47,48	160	16,41	11,91	80
SESIÓN 2								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)
44,00	42,25	80	94,44	94,80	170	17,24	14,39	80
36,19	29,12	80	102,40	107,83	170	19,23	17,88	80
35,33	28,25	80	85,93	76,16	170	14,79	10,76	80
41,40	38,31	80	84,17	74,59	170	13,81	9,99	80
44,81	44,68	80	97,26	98,36	170	17,11	14,51	80

SESIÓN 3								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)
35,55	27,65	90	113,71	137,44	180	25,47	32,96	80
53,88	63,66	90	97,61	101,27	180	18,09	13,88	80
39,90	38,21	90	99,29	103,01	180	18,19	16,17	80
61,99	84,33	90	87,66	78,52	180	21,11	21,99	80
59,00	77,61	90	86,30	76,46	180	19,22	19,80	80
SESIÓN 4								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)
55,55	44,55	90	113,77	130,00	180	21,49	23,91	80
43,90	56,11	90	119,51	121,99	180	24,44	28,98	80
51,66	68,11	90	111,39	113,91	180	23,99	27,61	80
52,00	64,33	90	97,66	99,91	180	22,90	25,22	80
59,99	67,61	90	96,99	112,76	180	21,11	29,90	80

Tabla 7-3 Promedios del juego 1. Fuente propia

N° Sesiones	Velocidad (cm/s)	Aceleración(cm/s ²)
S1	36,31	31,30
S2	40,33	36,48
S3	50,01	58,34
S4	52,59	60,11

En la figura 7-8, 7-9 y 7-10; se muestra el avance del paciente en cada una de las sesiones, el cual se obtiene graficando los promedios por sesión de las velocidades y aceleraciones.

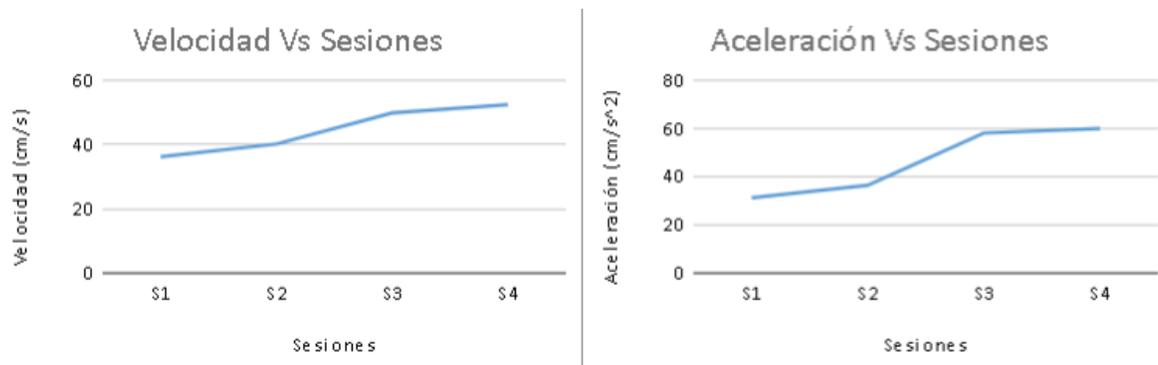


Figura 7-9 Promedios del juego 1. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia

Teniendo en cuenta los datos anteriores se puede observar que durante las primeras sesiones el cambio de la velocidad es menor, mientras que en las dos últimas sesiones la velocidad del movimiento es mayor, asociándolo al cambio del ángulo del juego, en la sesión 3 y 4 se manejó el mismo ángulo y se observa como existe una mejoría en el movimiento ejercido por la articulación durante dichas sesiones.

Tabla 7-4 Promedios del juego 2. Fuente propia

N° Sesiones	Velocidad (cm/s)	Aceleración(cm/s ²)
S1	68,80	54,21
S2	92,81	90,30
S3	96,79	99,31
S4	107,88	115,72

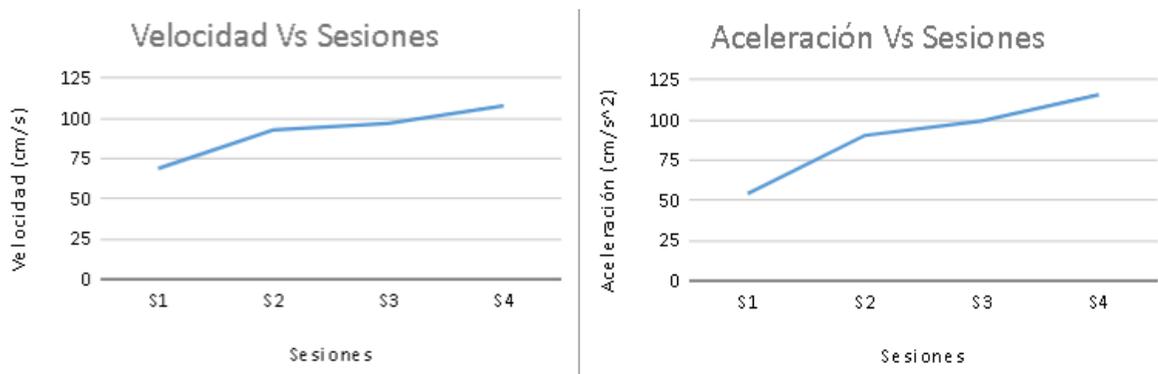


Figura 7-10 Promedios del juego 2. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia

En el ejercicio 2 se puede observar, como en la sesión 2, el paciente se adaptó al juego. Cuando se cambia el ángulo en la sesión 3 se observa una leve variación en la velocidad y aceleración comparada con la sesión 2, ya que se encuentra fuera de su rango de confort, demostrando que la dificultad del juego fue mayor. Sin embargo, en la sesión 4 el paciente logra el objetivo demostrando cierta mejoría en la movilidad de la articulación.

Tabla 7-5 Promedios del juego 3. Fuente propia

N° Sesiones	Velocidad (cm/s)	Aceleración(cm/s ²)
S1	16,10	13,18
S2	16,39	13,50
S3	20,41	20,91
S4	22,79	27,15

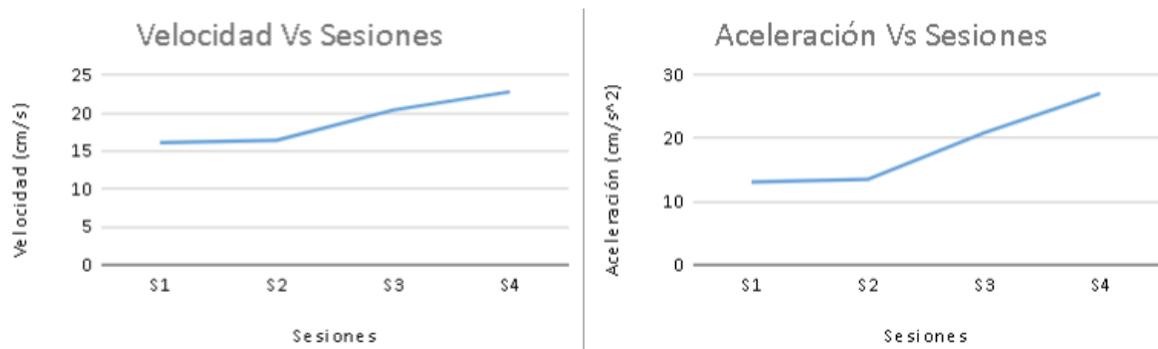


Figura 7-11 Promedios del juego 3. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia

Finalmente, el juego 3 tiene como objetivo fortalecer la articulación. De acuerdo a los datos obtenidos en las primeras sesiones se logró observar que el paciente apenas se adapta al proceso evaluativo con la plataforma, ya que la velocidad y aceleración es lenta. Mientras que las últimas sesiones el paciente logra adaptarse completamente teniendo como resultado un progreso con respecto a las variables cinemáticas mencionadas.

Durante el desarrollo de las sesiones el paciente no presentó dolor o incomodidad, gracias a la preparación previa a cada sesión, además estuvo presente en las sesiones sugeridas por la

fisioterapeuta, cumpliendo con los protocolos de bioseguridad para la prevención de contagio del COVID-19. Se logró una interacción agradable con el paciente, donde lo considero adecuado y accesible desde la comodidad de su hogar.

7.2.2.2 Paciente 002

El segundo paciente tiene 59 años y mide 1.59 m de altura, quien manifestó sufrir del síndrome del manguito rotador en la articulación del brazo izquierdo desde hace 1 año y medio. Actualmente se encuentra en constante control médico ya que está en busca de cirugía para aliviar su dolor. Su labor de hace unos años fue madre comunitaria del instituto bienestar familiar, donde su trabajo le exigen un alto límite de su articulación, hoy en día se encuentra laborando en servicios generales en el CDI barquito de papel, en este trabajo hace uso de su articulación de manera excesiva debido a la manipulación de elementos de aseo generando mucho dolor; es por esto que la señora María del Socorro se dirige al médico y descubren que padece este síndrome. Debido a lo anterior es seleccionada para este estudio.

Tabla 7-6 Resultados por sesiones del paciente 002. Fuente Propia

SESIÓN 1								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)
36,44	31,37	45	51,61	48,00	160	20,77	21,93	80
36,12	29,11	45	34,42	31,15	160	14,94	10,95	80
41,31	40,18	45	44,96	40,15	160	15,17	11,25	80
43,71	42,56	45	51,95	48,70	160	19,22	17,77	80
38,00	32,41	45	38,46	36,42	160	15,00	11,00	80
SESIÓN 2								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)
40,14	36,66	80	87,33	46,70	170	20,21	21,03	80
40,13	36,55	80	70,82	82,32	170	22,11	23,11	80
42,99	41,69	80	69,99	93,57	170	18,16	16,43	80

40,66	37,11	80	83,34	76,22	170	18,22	16,44	80
35,71	28,41	80	63,56	60,41	170	14,77	10,90	80
SESIÓN 3								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s²)	Angulo (°)
48,11	45,77	90	64,00	85,33	180	17,06	14,55	80
32,05	24,24	90	87,34	83,87	180	16,34	11,78	80
41,77	41,72	90	87,39	82,88	180	18,22	17,11	80
59,55	81,56	90	82,04	81,12	180	14,77	10,88	80
31,99	26,61	90	73,22	81,76	180	22,4	23,90	80
SESIÓN 4								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s²)	Angulo (°)
53,0	58,57	90	74,00	88,55	180	18,32	19,12	80
51,43	54,22	90	88,49	91,11	180	18,14	21,92	80
48,66	59,99	90	89,19	87,43	180	19,23	18,23	80
52,22	51,56	90	89,99	88,34	180	21,22	22,11	80
49,33	58,11	90	82,99	91,56	180	23,22	21,11	80

Tabla 7-7 Promedios juego 1. Fuente propia

N° Sesiones	Velocidad (cm/s)	Aceleración(cm/s²)
S1	39,11	35,12
S2	39,92	36,13
S3	42,61	43,9
S4	50,95	56,50

En la figura 7-12, 7-13 y 7-14, se muestra el avance del paciente en cada una de las sesiones, el cual se obtiene graficando los promedios por sesión de las velocidades y aceleraciones.

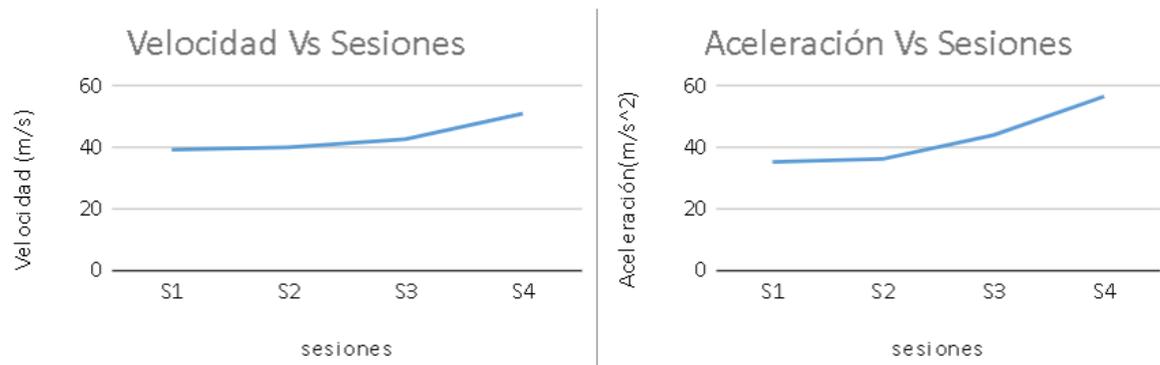


Figura 7-12 Promedios del juego 1. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia

Con respecto al juego 1, en las primeras dos sesiones no se obtiene una diferencia notoria de las variables, debido a que se le dificultó adaptarse al juego, mientras que en la sesión 3, la paciente logra culminar el proceso de adaptación obteniendo buenos resultados. En la sección 4 se observa que los valores de velocidad y aceleración tuvieron mejora, la respuesta al movimiento es mayor, logrando una mejoría positiva en la articulación.

Tabla 7-8 Promedio de juego 2. Fuente propia

N° Sesiones	Velocidad (cm/s)	Aceleración(cm/s ²)
S1	44,20	40,91
S2	75,00	71,85
S3	78,81	83,00
S4	85,15	89,31

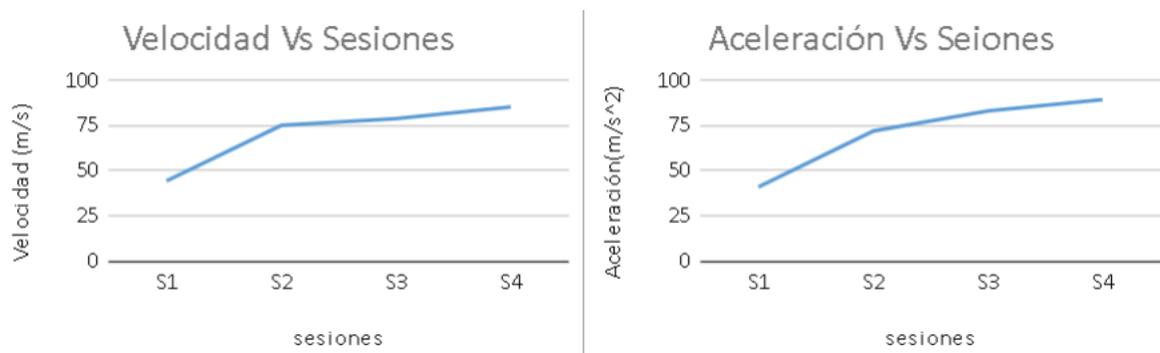


Figura 7-13 Promedios del juego 2. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia

Se observa que a la paciente se le facilita llegar hasta el ángulo indicado. La sesión 2 está dentro de su rango de movilidad, es por ello que en este punto la paciente tiene una mejoría notoria, a partir de ese punto se observa como la velocidad y aceleración suben de manera rápida pero el cambio no es tan notorio como se observa en la sesión 1 a la 2. Obteniendo una mejoría lenta pero confiable en el proceso de rehabilitación.

Tabla 7-9 Promedio de juego 3. Fuente propia

N° Sesiones	Velocidad (cm/s)	Aceleración(cm/s ²)
S1	17,00	14,61
S2	18,66	17,58
S3	17,71	15,62
S4	20,12	20,49

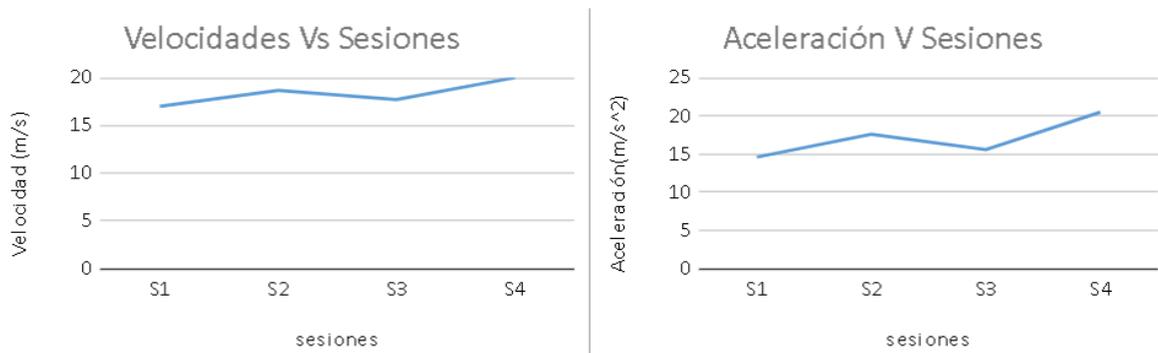


Figura 7-14 Promedios del juego 3. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia

En la etapa de fortalecimiento se puede observar que la paciente obtuvo mejores resultados en la velocidad y aceleración en la sesión 2, comparado con la sesión 3; esto se debe al receso de los ejercicios del fin de semana; esto retrasó el fortalecimiento de la articulación de la paciente. En la sesión 4 se observa una mejoría en las variables; mostrando que, en el caso de la paciente, la constancia en el uso del sistema de rehabilitación es importante para el fortalecimiento de la articulación.

La paciente tuvo ciertas dificultades de adaptación en el proceso de rehabilitación, de una sesión a otra no recordaba el proceso realizado anteriormente y se procedió a explicar en cada una de las sesiones. Además, la paciente no presentó dolor durante las pruebas y manifestó una mejoría en su hombro debido a la disminución del dolor.

7.2.2.3 Paciente 003

Finalmente se encuentra la paciente 003 de 53 años de edad, con una estatura de 1.55m, su enfermedad apareció hace aproximadamente 5 años La causa se asocia a que la paciente cuida a sus padres, quienes dependen 100% de ella para moverse. Al ejercer un alto esfuerzo en las dos articulaciones de los brazos, ocasionó el síndrome del manguito rotador en ambos hombros. La paciente se sometió hace 2 años a una cirugía de manguito rotador en el brazo izquierdo; sin embargo, la paciente tuvo mejoría por un tiempo, pero actualmente el dolor persiste en ambos hombros y cada vez es más fuerte Por esta la razón la paciente fue seleccionada para realizar el estudio.

Tabla 7-10 Resultados por sesiones del paciente 003. Fuente propia

SESIÓN 1								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)
38,66	46,95	45	74,41	73,55	160	15,74	12,15	80
38,62	36,96	45	63,51	62,41	160	17,26	14,02	80
32,00	39,33	45	65,24	61,73	160	15,66	12,21	80
22,22	20,17	45	63,812	60,21	160	15,33	11,31	80
37,69	42,27	45	69,11	71,76	160	16,55	12,69	80
SESIÓN 2								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)
42,24	40,44	80	70,55	73,88	170	17,04	14,08	80
56,29	70,53	80	67,33	70,05	170	14,14	10,99	80
41,95	40,51	80	72,49	70,12	170	15,19	11,78	80
52,49	63,00	80	67,35	62,41	170	21,11	19,66	80
46,12	43,55	80	72,89	76,88	170	20,19	20,88	80
SESIÓN 3								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)
42,66	44,16	90	71,33	75,22	180	18,33	15,95	80
51,69	41,55	90	74,21	81,88	180	20,92	20,69	80
41,61	38,51	90	65,34	73,91	180	18,56	16,55	80
57,77	61,55	90	75,23	84,28	180	19,55	16,11	80
57,11	62,69	90	81,19	85,15	180	19,99	17,11	80
SESIÓN 4								
juego 1			juego 2			juego 3		
Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Angulo (°)
52,66	53,44	90	78,50	81,20	180	19,11	21,89	80
49,23	51,25	90	79,45	84,56	180	22,44	20,90	80
52,55	52,65	90	81,23	83,82	180	20,40	18,55	80
59,51	51,37	90	86,12	88,55	180	21,99	29,22	80
67,10	53,99	90	79,99	82,95	180	22,00	27,10	80

Tabla 7-11 Promedio del Juego 1. Fuente propia

N° Sesiones	Velocidad (cm/s)	Aceleración(cm/s ²)
S1	33,81	37,12
S2	47,82	51,60
S3	50,13	49,70
S4	56,25	52,89

En las figuras 7-15, 7-16 y 7-17, se muestran los avances del paciente en cada una de las sesiones, los cuales se obtienen graficando los promedios por sesión de las velocidades y aceleraciones.

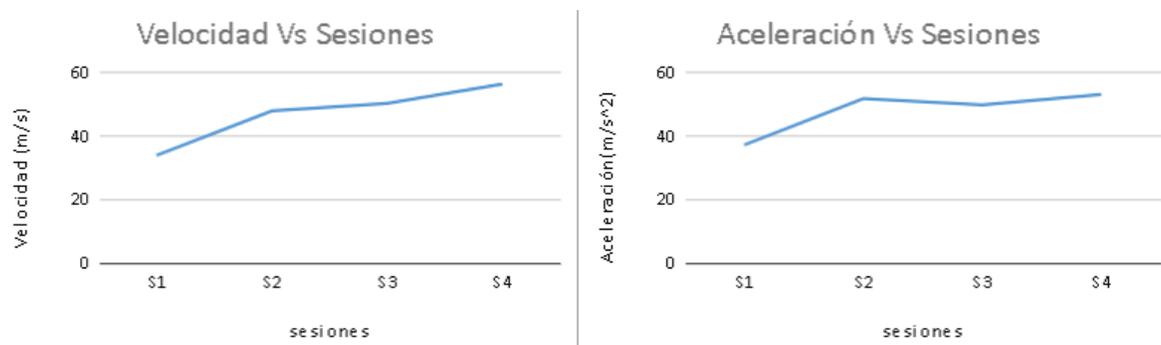
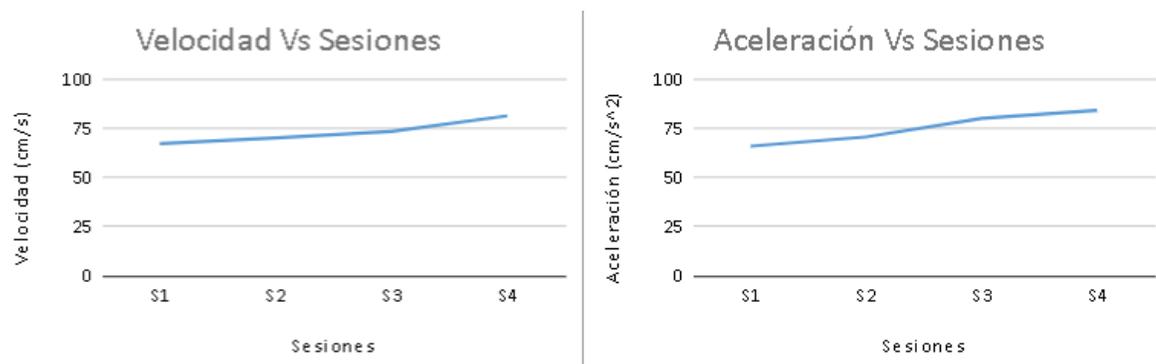


Figura 7-15 Promedios del juego 1. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia

En el primer juego, la paciente muestra resultados positivos en cada sesión. La rapidez del movimiento aumenta y los cambios de la velocidad son cada vez más acertados. Los datos indican que la paciente tiene una mejoría con el paso de las sesiones, demostrando que el sistema cumple su objetivo a corto plazo.

Tabla 7-12 Promedio del Juego 2. Fuente propia

N° Sesiones	Velocidad (cm/s)	Aceleración(cm/s ²)
S1	67,20	65,89
S2	70,11	70,59
S3	73,39	80,01
S4	81,29	84,21

**Figura 7-16** Promedios del juego 2. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia

En el segundo juego, se puede observar que la paciente realizó bien los ejercicios, obteniendo así resultados positivos en todas las sesiones. La velocidad del movimiento aumenta de la sesión 3 a la sesión 4, demostrando una eficacia del sistema y una mejoría en la articulación del paciente. En la sesión 1 y 2, se puede observar cómo aumenta la velocidad a medida que aumenta el ángulo, sin embargo, lo hace lento en comparación a una persona que no presenta el síndrome.

Tabla 7-13 Promedio del Juego 3. Fuente propia

N° Sesiones	Velocidad (cm/s)	Aceleración(cm/s ²)
S1	16,12	12,51
S2	17,51	15,49
S3	19,39	17,28
S4	21,21	23,50

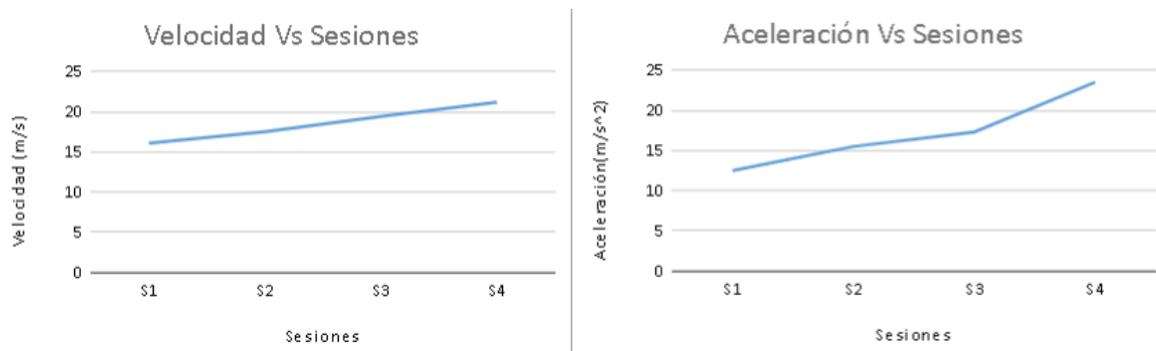


Figura 7-17 Promedios del juego 3. Sesión vs Velocidad-Aceleración. Fuente propia

En el tercer juego se realiza un fortalecimiento, en donde la paciente obtiene datos de velocidad y aceleración linealmente ascendentes a medida que se incrementan las sesiones; por lo tanto, el movimiento de la articulación cada vez es más rápido y el cambio de la velocidad es mayor.

La paciente, al finalizar las sesiones manifestó que no existe dolor en el hombro y hubo una mejoría con respecto al síndrome que está presente en las dos articulaciones gracias a que estuvo presente en todas las sesiones recomendadas por la fisioterapeuta; además, se logró la interacción del paciente con el sistema de forma asertiva; lo que conlleva a que la paciente estuviera a gusto con el desarrollo de la rehabilitación y comunicó que el sistema es intuitivo y podría seguir realizando su proceso de rehabilitación desde su hogar.

Tabla 7-14 Evolución de la amplitud articular. Fuente propia

Paciente	Plano sagital		Plano frontal	
	Amplitud Articular Inicial (°)	Amplitud Articular Final (°)	Amplitud Articular Inicial (°)	Amplitud Articular Final (°)
001	88	90	175	178
002	87	89	177	178
003	87	90	179	179

Se puede observar que la amplitud articular tuvo un cambio notorio en los pacientes, en el plano sagital tuvieron cierta evolución. Sin embargo, en el plano frontal el paciente 003 no tuvo una mejoría, esto debido al procedimiento quirúrgico al cual se sometió anteriormente.

Los parámetros a evaluar en la amplitud son ángulos medidos al iniciar y finalizar el proceso de rehabilitación.

8. CONCLUSIONES

Basándose en la problemática, los objetivos formulados en el proyecto y los resultados obtenidos gracias a las pruebas realizadas en el proyecto, se formulan las siguientes conclusiones:

- Se implementó un videojuego en el entorno de desarrollo Unity apoyado en los juegos serios, obteniendo un sistema de rehabilitación para el síndrome del manguito rotador, accesible para los pacientes desde la comodidad de su hogar, en el cual, a través de ejercicios, se logra una evolución en los pacientes, ya que al finalizar las sesiones de rehabilitación se logra apreciar que 2 de los 3 pacientes patológicos logran un aumento de amplitud articular, velocidad y aceleración.
- Con las terapias para la rehabilitación y el acompañamiento del profesional en fisioterapia, se identificaron dos ejercicios prácticos que le permiten al paciente ejecutar la terapia de la forma correcta. Además, se incluyó un ejercicio de fortalecimiento articular que afianza la terapia. Gracias a la inclusión de la plataforma, se logra digitalizar los movimientos y monitorear los ejercicios, mientras se generan datos esenciales como la posición angular, velocidad y aceleración, lo cual permite generar una trazabilidad en la evolución del paciente para la correcta recuperación de sus articulaciones.
- La plataforma permitió que el paciente logrará interactuar de forma positiva, permitiendo que realice una terapia agradable, en un entorno conocido, dando como

posibilidad al paciente al realizar el proceso de rehabilitación desde la comodidad de su hogar.

- Mediante las pruebas se pudo analizar el buen funcionamiento de la plataforma logrando avances en la rehabilitación en cortos lapsos de tiempo, teniendo en cuenta que para el análisis se obtuvieron variables cinemáticas de pacientes sanos y patológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia Android (2015). *Interfaz Unity (I)*. Recuperado de <https://academiaandroid.com/interfaz-unity-i/>
- Academia Android (s.f.). *Scripts y lenguajes de programación en Unity*. Recuperado de <https://academiaandroid.com/scripts-lenguajes-programacion-unity/>
- Acevedo Gutiérrez D. L.; Morales Morales, L.; Pérez Bedoya, E. A. y Vélez, J. P. *La articulación escapohumeral en relación con la brazada de libre en su fase acuática*. Recuperado de <http://viref.udea.edu.co/contenido/pdf/050-articulacion.pdf>
- Adesio (s.f.). *Dinámicas de juego en organizaciones, ¿en serio?* Recuperado de <https://adesio.es/dinamicas-de-juego-en-organizaciones/>
- Aguado Fidalgo, C. A. (2015). *Realidad virtual aplicada a la rehabilitación física*. [Trabajo de grado, Universidad Carlos III de Madrid]. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23049/TFG_Carlos-Andres_Aguado_Fidalgo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aguilar, L. C. (2001). Traumatismos y tendinitis de las extremidades superiores. *Offarm*. 20(9), 72–81. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-traumatismos-tendinitis-las-extremidades-superiores-13019949>
- Ahsan, Z. S.; Hsu, J. E. & Gee, A. O. (2016). The Snyder Classification of Superior Labrum Anterior and Posterior (SLAP) Lesions. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 474(9), 2075–2078. doi: 10.1007/s11999-016-4826-z.
- ALAI, Sports Medicine Clinic (s.f.). Anatomía del hombro. Recuperado de <https://www.alaismc.com/anatomia-del-hombro/>
- Arif, A.; Maulidevi, N. U.; Dharma, D.; Risky Alimansyah, M. & Prabowo, T. (2018). An interactive kinect – based game Development for shoulder injury rehabilitation. *5th International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE)*. DOI: 10.1109/ICODSE.2018.8705844
- Bedoya Castaño, J.; Hoyos Escobar, J. D.; Muñoz Cardona, J. E.; López Herrera, J. F. (2017). Shoulder flexion rehabilitation in patients with monoparesia using an exergame. 3rd

- International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH). DOI: 10.1109/SeGAH.2014.7067072
- Beickert, R.; Panzer, S.; Geßmann, J.; Seybold, D.; Pauly, S.; Wurm, S.; Lehmann L. & Scholtysik, D. (2016). Begutachtung des Rotatorenmanschettschadens der Schulter nach Arbeitsunfällen. *Trauma und Berufskrankheit*, (18), 222–247. doi: 10.1007/s10039-016-0167-0
- Blausen Medical (2014). Wikijournal or Medicine. *Wikiversity*. Recuperado de https://en.wikiversity.org/wiki/WikiJournal_of_Medicine/Medical_gallery_of_Blausen_Medical_2014
- Blog Master D (s.f.). *¿Qué es Unity y para qué sirve?* Recuperado de <https://www.masterd.es/blog/que-es-unity-3d-tutorial>
- Borrás Gené, O. (2015). *Fundamentos de la gamificación*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de https://oa.upm.es/35517/1/fundamentos%20de%20la%20gamificacion_v1_1.pdf
- Carbonaro, N.; Lucchesi, I.; Lorussi, F. & Tognetti, A. (2018). Tele – monitoring and tele – rehabilitation of the shoulder muscular – skeletal diseases through wearable systems. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.*, 4410 – 4413. Recuperado de <https://ezproxy.uan.edu.co:2139/document/8513371>
- Centro de rehabilitación cognitiva de enfermedades neurológicas [CRECEN] (2020). Rehabilitación del miembro superior con terapia en espejo virtual. Recuperado de <https://crecen.es/2020/07/23/rehabilitacion-del-miembro-superior-con-terapia-en-espejo-virtual/>
- Crussel, M. (s.f.). *Workplace posture assessment and biofeedback with kinect (electrical/electronics project)*. Recuperado de <https://projectabstracts.com/21631/workplace-posture-assessment-and-biofeedback-with-kinect-project.html>
- Cuéllar Ayestarán, A. y Cuéllar Gutiérrez, R. (2015). Anatomía y función de la articulación. *Revista Española de Artroscopia y Cirugía Articular*, 22(1), 3–10. DOI: 10.1016/j.reaca.2015.06.005

- Dumontier, C.; Soubeyrand, M. & Carmès, S. Patología de la articulación esternoclavicular. *EMC – Aparato Locomotor*, 46(2), 1–14. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1286935X13649163>
- Erosa García, D. (2019). Qué es Unity. *OpenWebinars*. Recuperado de <https://openwebinars.net/blog/que-es-unity/>
- Escartín, E. R. (1999). La realidad virtual, una tecnología educativa a nuestro alcance. *Depósito de investigación Universidad de Sevilla*. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/51408046.pdf>
- Espinosa Duque, J. P. y Buitrago Arias, L. F. (2014). *Desarrollo de recorridos virtuales interactivos para proyectos de vivienda de la ciudad de Cali*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Occidente]. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/5947/T03975.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Faes, M. (2011). *Miembro superior*. Recuperado de <https://www.amicivirtual.com.ar/Anatomia/09CinturaEscapHombro.pdf>
- Fernández Barroso, A. (2017). *Desarrollo de aplicación “Serious Game” para rehabilitación mano*. [Tesis de grado, Universidad Carlos III de Madrid]. <https://core.ac.uk/download/pdf/288501118.pdf>
- Fernández Solo de Zaldívar, I. (s.f.). Juego serio: gamificación y aprendizaje. *Centro de Comunicación y Pedagogía*. Recuperado de <http://www.centrocp.com/juego-serio-gamificacion-aprendizaje/>
- Fierro, G. (s.f.). *Anatomía del hombro*. Recuperado de <https://guidofierro.com/diagnostico-y-tratamiento/hombro/anatomia-del-hombro/>
- Fisioonline (s.f.). *Hueso acromion*. Recuperado de <https://www.fisioterapia-online.com/glosario/hueso-acromion>
- Fuerte, K. (2018). ¿Qué son los Serious Games? *Instituto para el Futuro de la Educación*. Recuperado de <https://observatorio.tec.mx/edu-news/que-son-los-serious-games>
- Fundación Laboral de la Construcción (s.f.). *Las lesiones musculoesqueléticas*. Recuperado de

https://www.construmatica.com/construpedia/Las_Lesiones_Musculoesquel%C3%A9ticas

- Fundación Santa Fe de Bogotá (s.f.). Manguito Rotador. Recuperado de https://www.fsfb.org.co/wps/portal/fsfb/inicio/servicioensalud/servicios-y-especialidades/sectionItem/manguito-rotador!/ut/p/z0/fY3NCoJAFIWfpYVLuWMj2daCikhyabOJq452y2bUGS3fPg2CI Gh1fvg4BwQkIBT2VKIrbAa80kszvFx53vcZ9Fy4wUs5P5hFQceD7Yc9iD-A-PCvI3WUQmiRntxSRUakjuqsiOr3VZbzHU7YXRtGhGCyLSy8mkhKUyRjjxlpB3 2USPbfnJGKoNV13817uBKU8uMsKIcc2kc9t5S1mE_h_VNpMMjnL0ALMMP_g! !/
- Giménez Serrano, S. (2014). Tendinitis. *Farmacia profesional*, 15(7), 50–57. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-tendinitis-13064582>
- Gramstad, G. (2014). Capítulo 75. Anatomía del hombro, del brazo y del codo. *AAOS Comprehensive Orthopaedic Review 2*. Recuperado de https://acreditacion-fmc.org/AAOS/segundaconvocatoria/pdf/Seccion_7.pdf
- G–SE (s.f.). *¿Qué son el ritmo escapulo – humeral, la disquinesia escapular y el GIRD?* Recuperado de <https://g-se.com/ritmo-escapulo-humeral-diskinesia-escapular-gird-repaso-biomecanico-parte-3-bp-557cfb26d268b1>
- Gutiérrez, Y.; Guerrero, A. y Parasi, Víctor. (). *Monitoring and management System of patients with shoulder tendinopathy in rehabilitation using Kinect 2.0*. Recuperado de <https://ezproxy.uan.edu.co:2139/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8869109>
- Iriarte Pose, I.; Balius Matas, R.; Cerezal Pesquera, L.; Pedret Carballido, C. (2014). *Patología del manguito de los rotadores*. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-tendinitis-13064582>
- Jurado Bueno, A. y Medina Porqueres, I. (2008). *Tendón. Valoración y tratamiento en fisioterapia*. Paidotribo. Recuperado de
- Kapandji, A. I. (2006). *Fisiología articular*. Editorial Médica Panamericana. 6ª edición. [Archivo PDF]

- Kinetek (s.f.). *Alex: the exoskeleton armour for the 21st century, follow us on EDF Pulse Award*. Recuperado de <http://www.wearable-robotics.com/kinetek/alex-the-exoskeleton-armour-for-the-21st-century-follow-us-on-edf-pulse-award/>
- Kumar Mangal, N.; Pal, S. & Khosia, A. (2017). Frozen shoulder rehabilitation using Microsoft kinect. *International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGETH)*. DOI: 10.1109/IGETH.2017.8094043
- Loew, M.; Magosh, P.; Lichtenberg, S.; Habermayer, P. & Porschke, F. (2015). How to discriminate between acute traumatic and chronic degenerative rotator cuff lesions: an analysis of specific criteria on radiography and magnetic resonance imaging. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 24(11). 1685–1693. Recuperado de [https://www.jshoulderelbow.org/article/S1058-2746\(15\)00308-0/pdf](https://www.jshoulderelbow.org/article/S1058-2746(15)00308-0/pdf)
- Mayo Clinic (s.f.). *Lesión del manguito rotador - Síntomas y causas*. Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/rotator-cuff-injury/symptoms-causes/syc-20350225>
- Microsoft Ignite (2021). *Visual Studio 2019 versión 16.11 Release notes*. Recuperado de <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/releases/2019/release-notes>
- Millán Muñoz, R. y Lasso Largo. C. (2020). Tele-rehabilitación: estrategia para atender personas con discapacidad en zonas dispersas y alta ruralidad. En: Muñoz-Borja, P. (Ed. científica). *Discapacidad y TIC: estrategias de equidad, participación e inclusión* (pp. 96- 120). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali. Recuperado de <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/3512/Capitulo%203.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nava Rodríguez, O. y Ramos Mejía, C. A. (2014). Desarrollo de un prototipo de videojuego serio para la ejercitación de miembro superior -hombro y codo. [Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13862/Documentaci% c3 %b3n% 20Prototipo% 20juego% 20serio% 20.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13862/Documentaci%c3%b3n%20Prototipo%20juego%20serio%20.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Oliveira, C.; Navarro García, R.; Navarro Navarro, R.; Ruiz Caballero, J. A.; Jiménez Díaz, J. T. y Brito Ojeda, E. (2007). Biomecánica del hombro y sus lesiones. *Canarias*

- Médica y Quirúrgica*, 4(12). Recuperado de https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/5977/1/0514198_00012_0002.pdf
- Organización Mundial de la Salud [OMS], (2020). *Discapacidad y salud*. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>
- Pedraz, P. (s.f.). *Dinámicas y mecánicas: esas grandes desconocidas (o no)*. Recuperado de <https://www.alaluzdeunabombilla.com/2017/08/29/dinamicas-y-mecanicas-esas-grandes-desconocidas-o-no/>
- Pedret, C.; Iriarte, I. y Carrera, A. (2020).- *Módulo 2. Ecografía de miembro superior: la parte Tema 2. Patología del manguito de los rotadores*. Editorial Médica Panamericana.
- Pinillos Patiño, Y.; Herazo Beltrán, Y.; Crissien Quiroz, E.; Calabria Sarmiento, J. C.; Heredia Vizcaíno, D.; Quintero Méndez, V. Salazar Pineda, M. (2017). *Tele-rehabilitación dinamizadora del modelo de atención en salud*. Ediciones Universidad Simón Bolívar. Recuperado de <https://bonga.unisimon.edu.co/handle/20.500.12442/5186>
- Playmotiv (2020). *Conoce los tipos de jugadores de gamificación y cómo cautivarlos*. Recuperado de <https://playmotiv.com/tipos-de-jugadores-gamificacion/>
- Pontificia Universidad Católica de Chile (s.f.). *Anatomía del hombro, del brazo y del codo*. Recuperado de <http://www.docenciatraumatologia.uc.cl/hombro/>
- Rodríguez, C. F.; Quintero, H. y Aschner, H. (2005). Movimiento del brazo humano: de los tres planos a las tres dimensiones. *Rev. Ing.*, (22). Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932005000200004
- Roldán Jiménez, C. (2017). Estudio de la cinemática del miembro superior e inferior mediante sensores inerciales. *Biblioteca Universitaria Universidad de Málaga*. Recuperado de <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/14954>
- SG (s.f.). *Herramientas para crear juegos*. Recuperado de <https://sg.com.mx/revista/herramientas-para-crear-juegos>

- Suárez Sanabria, N. y Osorio Patiño, A. M. (2013). Biomecánica del hombro y bases fisiológicas de los ejercicios de Codman. *Rev CES Med*, 27(2), 205–217. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cesm/v27n2/v27n2a08.pdf>
- Tobes Pérez, V. y Fernández Pérez, R. (2017). *Uso de Kinect para el entrenamiento de actividades físicas*. [Trabajo de grado, Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/44670/1/UsodeKinectparaelentrenamiento%20de%20actividades%20f%C3%ADsicas.pdf>
- Unity Asset Store (s.f.). *Kinect v2 examples with MS – SDK*. Recuperado de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/kinect-v2-examples-with-ms-sdk-18708>
- Unity Documentation (s.f.). *Canvas*. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/UICanvas.html>
- Unity Documentation (s.f.). *Clips de animación (Animation clips)*. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/es/2019.4/Manual/AnimationClips.html>
- Unity Documentation (s.f.). *Integración de animación*. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/es/530/Manual/UIAnimationIntegration.html>
- Villa Rodríguez, M. (2016). Caracterización de patologías del hombro relacionadas con el origen y prestaciones asistenciales y económicas en una EPS, Bogotá, 2012 a 2014. *Revista Nova et Vetera*, 2(20). Recuperado de <https://www.urosario.edu.co/Revista-Nova-Et-Vetera/Vol-2-Ed-20/Omnia/Caracterizacion-de-patologias-del-hombro-relaciona/>
- Wikimedia commons (s.f.). *Gray412*. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray412.png>
- Wikipedia commons (s.f.). *Shoulder joint-es*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shoulder_joint-es.svg

ANEXOS

ANEXO A Formulario de consentimiento para pacientes

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO PARA INVESTIGACIÓN

CASO DE ESTUDIO

Este estudio tiene como finalidad evaluar una plataforma de rehabilitación para miembros superiores. El cual consiste en realizar una serie de ejercicios que prometen mejorar la movilidad de pacientes que sufren del síndrome de manguito rotador. Se requiere un total de 14 personas en la validación, que estaría dividida en 2 etapas, donde se implementará la plataforma en cuestión.

Persona a investigar: Este formulario va dirigido a la población de Hombres y Mujeres que tengan problemas de movilidad en el miembro superior (hombro). Pueden estar en un rango de edades de 34 y 68 años.

Nombre de Investigadoras principales: (estudiantes de Ingeniería biomédica):
Camila Andrea Revelo, Angie Camila Becerra.

Nombre de la organización: Universidad Antonio Nariño

Sede donde se realiza el estudio: Universidad Antonio Nariño

Número de Teléfonos asociados a la investigación y disponibles para brindar información: 3217797942-3154446472

Usted ha sido invitado para participar en un estudio acerca de la rehabilitación del manguito rotador (tendinitis), lea cuidadosamente este formato de consentimiento antes de decidir si desea participar, de que el procedimiento cuenta con protocolos y normas establecidas.

Objetivo del estudio

La lesión de tendinitis del manguito rotador es más considerable, debido a que el tendón-(supra espinoso) se frota con el acromion y consigo se amplía en los músculos presentes en el manguito rotador. Lo que permite dolor cuando la persona realiza los movimientos del hombro. Los movimientos son afectados (primeras semanas o días) según su clasificación aguda o crónica, estos se ven afectados por la inflamación del tendón siendo el movimiento de abducción la forma más crónica (es la más afectada).

Se pretende establecer pruebas a diferentes pacientes tanto hombres como mujeres con el fin de tener resultados acerca de este síndrome, poder realizar una adecuada rehabilitación a las personas que estén afectadas por el mismo

Explicación del procedimiento acerca del estudio:

El estudio consiste en la prueba de una plataforma de rehabilitación para lesiones en el manguito rotador, el cual será probado por el participante. En primera instancia el paciente deberá desarrollar un estiramiento que preparara la articulación. Seguido de esto, vienen los juegos que nos ayudarán a mejorar la movilidad y a

aliviar el dolor de la articulación. Al finalizar la sesión, obtendremos datos para evaluar, como lo son el de movilidad, velocidad y aceleración del movimiento. Para finalmente analizar el resultado de cada paciente y determinar la validez de la plataforma.

Confidencialidad

Este consentimiento radica que los investigadores encargados del proceso evidenciaron los resultados a cada uno de los participantes, suele resaltar que este acta es investigador-participante y de esta manera se puede evitar mal entendidos, teniendo mayor discreción sus resultados en la plataforma hablada anteriormente. Finalmente, la organización tendrá confidencialidad con respecto a la identidad de cada uno de los participantes si así lo desean y con sus datos personales.



ANEXO B Listado de Formatos firmados para el Consentimiento Informado

Consentimiento Informado Luz Dary Uribe: paciente patológico

Fecha: 11-OCT-2021	Hora: 2:00 Pm
Nombre del participante: Luz Dary Uribe	
Tipo de identificación:	Número de identificación: 34.55277
Nombre de la institución: Universidad Antorio Nariño	

CONSENTIMIENTO INFORMADO
1. Confirmando que he leído, me han explicado la hoja de información, para el estudio anterior y he tenido la oportunidad de hacer preguntas y han sido resueltas.
2. Soy mayor de 18 años.
3. Entiendo que mi participación es voluntaria y que soy libre de retirarme en cualquier momento.
4. Estoy de acuerdo con la recopilación, procesamiento, reporte y transferencia de datos recopilados durante este estudio en el lugar que considere el patrocinador de la investigación.
5. Acepto participar en el estudio descrito anteriormente.

Participante.

Nombres y apellidos: Luz Dary Uribe

Firma: Luz Dary Uribe

Si el participante no sabe
firmar

HUELLA

Investigadores principales o de quien solicite el consentimiento.

Nombres y apellidos: Angie Camila Bevelo Serna

Firma: Angie Bevelo Serna

Nombres y apellidos: Camila Andrea Bevelo Camacho

Firma: Camila Bevelo

Consentimiento Informado Clelia Bermúdez: paciente patológico

Fecha: 11-OCT-2021	Hora: 3:30 Pm
Nombre del participante: Clelia Bermudez	
Tipo de identificación: CC	Número de identificación: 41640262
Nombre de la institución: Universidad Antonio Nariño	

CONSENTIMIENTO INFORMADO
1. Confirmando que he leído, me han explicado la hoja de información, para el estudio anterior y he tenido la oportunidad de hacer preguntas y han sido resueltas.
2. Soy mayor de 18 años.
3. Entiendo que mi participación es voluntaria y que soy libre de retirarme en cualquier momento.
4. Estoy de acuerdo con la recopilación, procesamiento, reporte y transferencia de datos recopilados durante este estudio en el lugar que considere el patrocinador de la investigación.
5. Acepto participar en el estudio descrito anteriormente.

Participante.

Nombres y apellidos: Clelia BermudezFirma: Clelia BermudezSi el participante no sabe
firmar

HUELLA



Investigadores principales o de quien solicite el consentimiento.

Nombres y apellidos: Angie Camila BecerraFirma: Angie BecerraNombres y apellidos: Camila Andrea Revelo CamachoFirma: Camila Revelo

Consentimiento Informado Carmen del Socorro Popayán: paciente patológico

Fecha: 11-OCT-2021	Hora: 5:30 Pm.
Nombre del participante: Carmen de Socorro Popayán	
Tipo de identificación: CC	Número de identificación: 34542664
Nombre de la institución: Universidad Antonio Nariño	

CONSENTIMIENTO INFORMADO
1. Confirmando que he leído, me han explicado la hoja de información, para el estudio anterior y he tenido la oportunidad de hacer preguntas y han sido resueltas.
2. Soy mayor de 18 años.
3. Entiendo que mi participación es voluntaria y que soy libre de retirarme en cualquier momento.
4. Estoy de acuerdo con la recopilación, procesamiento, reporte y transferencia de datos recopilados durante este estudio en el lugar que considere el patrocinador de la investigación.
5. Acepto participar en el estudio descrito anteriormente.

Participante.

Nombres y apellidos: Carmen de Socorro PopayánFirma: Carmen de Socorro PopayánSi el participante no sabe
firmar

HUELLA

Investigadores principales o de quien solicite el consentimiento.

Nombres y apellidos: Angie Camila Becerra SernaFirma: Angie BecerraNombres y apellidos: Camila Andrea Revelo CamachoFirma: Camila Revelo

Consentimiento Informado Yeimi Johana Manzano: paciente sana

Fecha: 04-OCT-2021	Hora: 1:00 Pm.
Nombre del participante: Yeimi Johana Manzano Mondz.	
Tipo de identificación: cc.	Número de identificación: 1063809927
Nombre de la institución: Universidad Antonio Nariño	

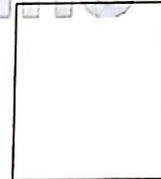
CONSENTIMIENTO INFORMADO
1. Confirmando que he leído, me han explicado la hoja de información, para el estudio anterior y he tenido la oportunidad de hacer preguntas y han sido resueltas.
2. Soy mayor de 18 años.
3. Entiendo que mi participación es voluntaria y que soy libre de retirarme en cualquier momento.
4. Estoy de acuerdo con la recopilación, procesamiento, reporte y transferencia de datos recopilados durante este estudio en el lugar que considere el patrocinador de la investigación.
5. Acepto participar en el estudio descrito anteriormente.

Participante.
 Nombres y apellidos: Yeimi Johana Manzano Mondz

Firma: Yeimi Johana M.

Si el participante no sabe
 firmar

HUELLA



Investigadores principales o de quien solicite el consentimiento.
 Nombres y apellidos: Angie Camilo Becerra Serna

Firma: Angie Becerra

Nombres y apellidos: Camila Andrea Revelo Camacho

Firma: Camila Revelo

Consentimiento Informado Edwin Mendoza paciente sano

Fecha: 06 - OCT - 2021	Hora: 3:00 Pm
Nombre del participante: EDWIN M MENDOZA	
Tipo de identificación: CC	Número de identificación: 79215744
Nombre de la institución: Universidad Antonio Nariño	

CONSENTIMIENTO INFORMADO
1. Confirmando que he leído, me han explicado la hoja de información, para el estudio anterior y he tenido la oportunidad de hacer preguntas y han sido resueltas.
2. Soy mayor de 18 años.
3. Entiendo que mi participación es voluntaria y que soy libre de retirarme en cualquier momento.
4. Estoy de acuerdo con la recopilación, procesamiento, reporte y transferencia de datos recopilados durante este estudio en el lugar que considere el patrocinador de la investigación.
5. Acepto participar en el estudio descrito anteriormente.

Participante.
Nombres y apellidos: Edwin Manuel Mendoza

Firma: Edwin M Mendoza

Si el participante no sabe
firmar

HUELLA



Investigadores principales o de quien solicite el consentimiento.
Nombres y apellidos: Ange Camila Becerra Sierra

Firma: Ange Becerra

Nombres y apellidos: Camila Andrea Revelo Camacho

Firma: Camila Revelo

Consentimiento Informado Magali Rosero: paciente sano

Fecha: 07-OCT-2021	Hora: 4:00 Pm.
Nombre del participante: Magaly Rosero	
Tipo de identificación: CC.	Número de identificación: 38462985
Nombre de la institución: Universidad Antonio Nariño	

CONSENTIMIENTO INFORMADO
1. Confirmando que he leído, me han explicado la hoja de información, para el estudio anterior y he tenido la oportunidad de hacer preguntas y han sido resueltas.
2. Soy mayor de 18 años.
3. Entiendo que mi participación es voluntaria y que soy libre de retirarme en cualquier momento.
4. Estoy de acuerdo con la recopilación, procesamiento, reporte y transferencia de datos recopilados durante este estudio en el lugar que considere el patrocinador de la investigación.
5. Acepto participar en el estudio descrito anteriormente.

Participante.
 Nombres y apellidos: Magaly Rosero

Firma: *Magaly Rosero*

Si el participante no sabe firmar

HUELLA 

Investigadores principales o de quien solicite el consentimiento.
 Nombres y apellidos: Angie Camila Becerra Sano

Firma: *Angie Becerra*

Nombres y apellidos: Camila Andrea Revuelo Camacho

Firma: Camila Revuelo

ANEXO C Diagrama de flujo de la Plataforma Interactiva

