

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

SISTEMA DE REHABILITACIÓN DE MIEMBROS SUPERIORES DEL CUERPO: MEDIANTE LA CAPTACIÓN DE MOVIMIENTOS CON KINECT

Mauro Andrés Ceballos Olmos

Cristian Bernardo Bravo Builes

UNIVERSIDAD FRANCISCO JOSE DE CALDAS

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA

OCTUBRE 2018

SISTEMA DE REHABILITACIÓN DE MIEMBROS SUPERIORES DEL CUERPO: MEDIANTE LA CAPTACIÓN DE MOVIMIENTOS CON KINECT

Mauro Andrés Ceballos Olmos

Cristian Bernardo Bravo Builes

Trabajo de grado como requisito para optar título de:

Tecnólogo en electrónica

Directora:

Ing. Esperanza Camargo Casallas PhD

UNIVERSIDAD FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE TECNOLÓGÍA

TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA

OCTUBRE 2018.

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____

Evaluador 1

_____

Evaluador 2

Dedicatoria

A nuestras familias por darnos todo y apoyarnos para conseguir lo que nos propongamos.

A todos nuestros amigos que nos han acompañado y ayudado todo este tiempo

A todos ellos les dedicamos este trabajo porque sin ellos no habría sido posible.

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a la Doctora Esperanza Carmargo Casallas, la directora del proyecto, todo el apoyo que nos ha proporcionado para realizarlo.

A la Físico terapeuta Francy Gutierrez por su inmensa ayuda y apoyo en la fundamentación teórica y práctica del proyecto.

También nos gustaría agradecer a los miembros de nuestra familia, a nuestros padres y amigos que nos han mostrado su apoyo y ánimos durante la creación de este trabajo.

Resumen

In recent years it is observed that it is common to attend different rehabilitation therapies, but these are not accessible to all people and those who have access to them, often have to endure long waits, with this in mind it is proposed to develop a rehabilitation tool easily accessible virtual, whose fundamental axis is a kinect V1.

The Kinect will allow people who are with some physical trauma in the upper limbs to interact without having to have physical contact with the team.

This project presents a personal rehabilitation system, based on the KABAT rehabilitation method, which uses proprioceptive neuromuscular facilitation techniques. This environment is designed so that the patient can perform different movements that help their treatment without the need for a physiotherapist to be present. The treatment consists of imitating a series of movements indicated by an expert in the field that have been previously recorded. In addition, you can choose the level of the patient, whether initial, intermediate or advanced. Thus, the user progressively takes his treatment.

Tests were carried out on people of different ages, with different tendencies towards sport, some with old injuries in shoulder and arm, from which it is observed that those who have an injury score lower than other people. In general, a group of people with low scores, but higher than the one mentioned above, are people who do not perform physical activities.

It can be said that this software is advisable to use it in patients who have a considerable degree of recovery in their therapeutic treatment, defining this software as a complementary plan to be able to complete their rehabilitation from home at a virtual level.

Palabras clave: Kinect, rehabilitación, miembros superiores, detección de movimiento.

Abstract

In recent years. virtual access, whose fundamental axis is a kinect V1.

The contact with people who are with physical trauma in the upper limbs can interact without having physical contact with the team.

This project presents a personal rehabilitation system, based on the KABAT rehabilitation method, in which proprioceptive neuromuscular facilitation techniques are used. This environment is designed so that the patient can perform different movements that help him treat his need to have a physical present and physiotherapist. The treatment consists of imitating a series of movements indicated by an expert in the field that have been previously recorded. In addition, you can choose the level of the patient, whether initial, intermediate or advanced. Thus, the user progressively takes his treatment.

Tests have been carried out on people of different ages, with different tendencies towards sport, some of which have been useful in the shoulder and arm, where it can be seen who has been attended. In general, a group of people with low scores.

It can be said that this software is advisable to use it in patients who have an improved degree of recovery in their therapeutic treatment, defining this software as a complementary plan to be able to complete their rehabilitation at home in a virtual way.

Keywords: Kinect, rehabilitation, upper limbs, motion detection.

Tabla de Contenido

Dedicatoria 5

Agradecimientos 7

Resumen 9

Abstract 11

1 INTRODUCCIÓN 17

1.1 PROBLEMA 17

1.2 JUSTIFICACIÓN 18

1.3 Objetivos 18

1.3.1 Objetivo General 18

1.3.2 Objetivos específicos 19

2 Marco de referencia 21

2.1 Estado del arte 21

2.1.1 Análisis del dispositivo a usar. 21

2.1.2 Soluciones viables. 28

2.2 Marco teórico 28

2.2.1 Biomédica 28

2.2.2 Método Kabat dentro de la facilitación neuromuscular propioceptiva 32

2.2.3 Métodos de captura de movimiento en los videojuegos 34

2.3 Marco Legal 36

3 Metodología. 39

3.1 Tecnologías empleadas 39

3.1.1 Softwares empleados 39

3.1.2 Hardware empleado 44

3.2 Rutina de rehabilitación 45

3.2.1 Ejercicios 46

3.2.2 Fases de dificultad 49

4 Desarrollo del proyecto 51

4.1 Paquetes para Unity 51

4.2 Captura y Comparación de los movimientos 52

4.2.1 Captura de movimientos 52

4.2.2 Comparación de movimientos 53
4.3 Almacenamiento y manejo de datos 54
4.4 Creación de los escenarios 3D 56
4.5 Creación de avatares y animaciones 56
4.6 Grabación de movimientos 57
4.7 Transición de las escenas 57
5 Resultados 59
5.1 Plataforma 59
5.2 Pruebas realizadas 62
6 Conclusiones y Recomendaciones 65
7 Bibliografía. 67

Lista de Figuras

Figura 1 Método kabat – Diagonales 33
Figura 2 Dispositivo Kinect v1 35
Figura 3 Logo Unity 40
Figura 4 Apariencia de editor Unity 41
Figura 5 Humano básico de Fuse Character Creator 43
Figura 6 Apariencia de Camtasia Studio Editor 44
Figura 7 Adaptador de Kinect para Windows 45
Figura 8 Captura de pantalla animación Unity posición inicial. 46
Figura 9 Captura de pantalla animación Unity cierre mano 47
Figura 10 Captura de pantalla animación Unity Muñeca flexionada y brazo mano en cadera contraria 47
Figura 11 Captura de pantalla animación Unity con mano abierta y extendida 48
Figura 12 Captura de pantalla animación Unity de vuelta en posición incial 48
Figura 13 Captura de pantalla animación Unity con codo flexionado 49
Figura 14 Captura de pantalla animación Unity al extender codo 49
Figura 15 Escena con los dos cubeman 52
Figura 16 Patrón de singleton 53
Figura 17 Diagrama comparación de movimiento 54
Figura 18. Nombres de las tablas contenidas en el servidor local. 55
Figura 19. Pantallazo Tabla "nivel_rutinas" 55
Figura 20. Pantallazo Tabla "rutinas" 55
Figura 21. Pantallazo Tabla "users" 55
Figura 23 Escenario sala de estar casera 56
Figura 22. Pantallazo de la herramienta "animación" de Unity 57
Figura 24. Diagrama que ilustra la lógica del sistema. 58
Figura 25 Menú de inicio. 59
Figura 26 Estadísticas generales 60
Figura 27 Menú de selección interno. 60
Figura 28 Estadísticas individuales 61
Figura 29. Selección del personaje previa al entrenamiento. 61
Figura 30. Demostración video previa al ejercicio. 62
Figura 31. Estadística de desarrollo de la actividad. 63
Figura 32. Datos guardados en la base de datos de las pruebas. 64

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad los dispositivos o sistemas empleados para captura de movimiento se han convertido en una herramienta relativamente imprescindible, bien sea en la industria de videojuegos o cine, ya que este sistema facilita mucho el área de la animación. Estos sistemas pueden ser particularmente usados en este ámbito pero también se usan para la realización de diagnósticos médicos, estudio de prototipos de máquinas, recuperación de las habilidades motrices de gente discapacitada, etc. Todo ello se puede realizar con una herramienta mocap[1] de uso doméstico que sea de bajo presupuesto económico, como es el caso de un kinect.

Los entrenadores virtuales son una tecnología que se viene utilizando desde hace algunos años para la danza, las artes marciales, y los ejercicios físicos en general, teniendo en cuenta esta funcionalidad se decidió unir la práctica de ejercicios físicos, con el sistema de captura de movimientos Kinect, dando lugar al desarrollo de un entrenador virtual casero para rehabilitación de miembros superiores del cuerpo.

El desarrollo de esta plataforma de rehabilitación virtual para las extremidades superiores, brindará el conocimiento acerca del funcionamiento que puede tener la implementación del dispositivo Kinect en ramas de la medicina, demostrando que se puede emplear en diferentes áreas que no sea únicamente el enfoque en videojuegos. Se expone la metodología de los pasos y ejercicios empleados en el desarrollo de la rehabilitación del paciente, en la cual se podrán controlar y evaluar el progreso del paciente, ajustar el proceso y dificultad de la terapia según sean las necesidades presentadas.

1.1 PROBLEMA

En la actualidad la medicina ha evolucionado en la forma de tratar los padecimientos que sufren las personas, desarrollando nuevas tecnologías hagan mucho más efectivos los tratamientos médicos, pero la mayoría de estos avances no son de fácil acceso para la totalidad de la población, debido a que solo unas pocas empresas se

[1] *Mocap (Motion Capture) – Captura de movimiento*

especializan en fabricar estas herramientas, haciéndolas inaccesibles para la mayoría de las personas y especialistas en esta área debido a sus elevados precios.

Esto hace que la terapia de rehabilitación tenga un precio elevado y costoso, ya que la mayoría de las empresas que prestan este servicio de rehabilitación son de carácter privado, y las pocas entidades públicas no tienen las herramientas necesarias para tratar a sus pacientes. Esto conlleva a que los pacientes no se presenten a las citas de tratamiento y puedan tener un mal trato con los especialistas y viceversa. Siendo que Colombia en las áreas rurales tiene muy pocos sitios donde los médicos o especialistas puedan promocionar la salud, prevenir y tratar estos problemas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los motivos por los cuales se llevó a cabo el desarrollo del proyecto, fue la escases de tecnologías en el área de rehabilitación, junto a la ausencia de especialistas en diferentes sitios rurales del país. Esto es algo importante a tener en cuenta, ya que debido a esto, no todas las personas tienen la facilidad de acceder a un programa de rehabilitación en caso de sufrir algún tipo de lesión o traumatismo.
Al utilizar una nueva tecnología alternativa con kinect, que tenga por objetivo la rehabilitación de miembros superiores del cuerpo, generará la posibilidad de acceso a un método terapéutico con mayor facilidad, además de brindar bases para la evolución de diferentes métodos en la medicina, pretendiendo de este modo expandir el acceso a tratamientos, elevando el interés, motivación y calidad de recuperación del paciente con adecuado seguimiento profesional.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar una plataforma de rehabilitación virtual para miembros superiores del cuerpo mediante la utilización del sensor de movimientos Microsoft-Kinect.

1.3.2 Objetivos específicos

- Implementar una serie de ejercicios con intensidades diferentes, de forma que facilite el plan de rehabilitación del usuario.
- Implementar un sistema de retroalimentación que indique al usuario la efectividad con la que está realizando el ejercicio.
- Implementar una base de datos la cual llevara registro del progreso, rendimiento y tiempo empleado por el paciente en su plan de rehabilitación.

2 Marco de referencia

2.1 Estado del arte

Actualmente se ha convertido en una cuestión de suma importancia el hecho de mejorar la eficacia de los métodos de rehabilitación y a su vez aumentar la disposición de los pacientes para asistir al tratamiento de rehabilitación. La realidad Virtual (VR) se ha utilizado en combinación con el tratamiento médico y la tecnología. Más específicamente, su sistema de seguimiento esquelético está siendo ampliamente utilizado en el campo de la medicina y la rehabilitación. Aunque el dispositivo Kinect de Microsoft, con bajo costo y fácil desarrollo puede encontrarse con el problema de la detección errónea cuando se trata de ángulos de extremidad o superposición de extremidad, especificando así la manipulación de los datos obtenidos del dispositivo en tiempo real por medio de la funcionalidad de seguimiento de esqueleto de Kinect. La acción humana puede descomponerse en una serie de posturas, por lo que la acción final se puede ver como la combinación del cuerpo en cierto tiempo y escalas espaciales de una postura estática, lo que significa que la operación de identificación mediante el reconocimiento de una serie de posturas estáticas [1]. Según los índices demostrados por la inasistencia de varios pacientes, se es planteado el sistema tecnológico de rehabilitación mediante la captación de movimiento.
A continuación, se realiza un análisis de los trabajos realizados con respecto al tema, observando cuales pueden ser los aportes al proyecto a realizar y que tipo de beneficios contienen cada uno de ellos.

2.1.1 Análisis del dispositivo a usar.

Los estudiantes Pei-Jam Chen, Yi-Chun Du, Cheng-Bang Shh, Li-Cheng, Hui-Ting y Shih-Chen han propuesto un nuevo sistema de juego de rehabilitación (RGS) que se centra en la parte superior del cuerpo con unidades de medición inercial inalámbrica (IMU) y el dispositivo Kinect. El Kinect está siendo utilizado como el sistema de seguimiento de base por la operación del sistema de juego. Mientras tanto, se integraron múltiples conjuntos de IMU en la extremidad del sujeto para calcular los ángulos a través de algoritmos. Las IMU inalámbricas podrían compensar el error de

cálculo de los ángulos en el dispositivo Kinect. En vista de la evaluación de la diferencia de ángulos entre los IMU y el dispositivo Kinect en diferentes gestos de las extremidades superiores al jugar el juego de rehabilitación, los resultados mostraron que Kinect tiene una mayor razón de error 23% en los ángulos de las extremidades con respecto a la profundidad o superposición de las extremidades, por IMU tiene mayor precisión y estabilidad. El sistema propuesto tiene un potencial increíble para mejorar la fiabilidad y validez de la eficacia de la rehabilitación [2].

Se realiza la comparación entre un dispositivo IMU y un dispositivo Kinect para la detección del movimiento del paciente, el Kinect utiliza el sistema de rastreo de esqueleto humano para detectar los movimientos de los pacientes mediante un sistema de coordenadas en 3D, el lugar de ubicación del Kinect es el punto base, con el cual se pretende recuperar 20 puntos de articulación basados en datos de información de profundidad, y medir las distancias entre las articulaciones y el punto base. Luego de esto se calcula la coordenada de 3 ejes del cuerpo humano para calcular el seguimiento de la información de movimiento y los ángulos 3D correspondientes de cada punto de articulación Como Kinect sólo puede proporcionar a los miembros humanos una coordinada 3D de inmediato, el ángulo de la articulación debe calcularse a partir de las coordenadas 3D en el sistema de fondo para calibrar con los ángulos de extremidad calculados [2].

De igual manera M. Capecci, M. G. Ceravolo, F. Ferracuti, S. Iarlori, S. Longhi, L. Romeo, S. N. Russi, F. Verdini analizan el dispositivo, evaluando su precisión durante movimientos dinámicos en un escenario de rehabilitación de modo que analizan las 25 posiciones conjuntas del esqueleto de Kinect las cuales se registran a 30 FPS. Las localizaciones de las contrapartes identificadas por el sistema estereofotogrametrico (La construcción de un modelo tridimensional basado en las posiciones de los puntos reconocibles o puntos de referencia en varias fotografías diferentes) se registran a 50 FPS. El error de sistema estereofotogrametrico que calcularon fue de 1,57 ± 1,1 mm- Los datos de esta medición y los datos del Kinect son filtrados con un filtro Butterworth pasa bajos con una frecuencia de corte f = 5Hz para filtra los picos temporales como artefactos y ruido [3].

M. Capecci, M. G. Ceravolo, F. Ferracuti, S. Iarlori, V. Kyrki, S. Longhi, L. Romeo, F. Verdini Implementan informacion respecto al uso del dispositivo en cuanto a un sistema de evaluación de ejercicios de rehabilitación física basada en el modelo “Hidden Semi-Markov”, de Kinect v2 en el cual analizan que el modelo se puede utilizar para controlar y evaluar los ejercicios de rehabilitación física para ayudar al

personal médico y a los pacientes durante la rehabilitación del hogar. Desarrollaron un método de evaluación de ejercicios basado en la extracción de características de movimiento salientes determinadas por los médicos. La evolución temporal de las características se modela utilizando un HSMM para proporcionar una puntuación de ejercicios de rehabilitación. Los puntajes, relacionados con 5 ejercicios diferentes, se comparan con los obtenidos utilizando el Time Warping dinámico para discriminar cuál, entre estos dos métodos, se correlaciona mejor con la evaluación clínica, realizada por médicos y fisioterapeutas. Los resultados muestran que el HSMM se puede utilizar para evaluar el rendimiento del ejercicio y dar una retroalimentación a los fisioterapeutas y a los pacientes sobre la ejecución del ejercicio [4].
Néstor Antonio Morales Navarro y sus compañeros de trabajo desarrollaron un sistema de Manejo de entornos virtuales mediante el sensor Kinect con aplicación en fisioterapia esto mediante “Visual Studio XNA”, con la ayuda de “Blender” para ser manipulados mediante el sensor, la finalidad con la que diseñaron el entorno virtual fue la de ayudar al usuario a situarse en algún contexto de la vida cotidiana realizando diferentes actividades, ejercicios, terapias etc. Captando la atención del paciente mostrando un sistema interactivo en tercera dimensión, despertando y estimulando el interés del paciente por interactuar en un mundo virtual [5].

Hyunkyu Park, Jeongsoo Lee and Joonbum Bae propusieron un sistema de rehabilitación de la danza con Kinect y un guante de vibración. El sistema propuesto ofrece un tratamiento de rehabilitación entretenido y divertido combinando un sistema de captura de movimiento sin marca, retroalimentación de vibración y música de baile. Este sistema muestra una secuencia de flechas que son generadas por la música de baile, y se requiere que el paciente toque las flechas en el momento adecuado. El movimiento del paciente es capturado por Kinect y se le proporciona al paciente en tiempo real como retroalimentación visual. Además, el guante aplica retroalimentación de vibración a medida que toca las flechas. Los movimientos del paciente se registran y analizan para un programa de rehabilitación mejorado [6].

Stevens Gauthier y Ana-Maria Cretu desarrollaron un sistema de cuantificación del movimiento humano usando Kinect para monitoreo del ejercicio físico en el hogar su análisis va más allá de las soluciones más avanzadas al monitorear más articulaciones y ofrecen capacidades de informes más avanzadas sobre el movimiento tales como: la posición y trayectoria de cada articulación, la envolvente

de trabajo de cada miembro del cuerpo, la velocidad promedio y una medida de la fatiga del usuario después de una secuencia de ejercicio. Estos datos se pueden visualizar y comparar con un estándar (por ejemplo, un usuario saludable, para fines de rehabilitación) o un rendimiento ideal (por ejemplo, una postura deportiva perfecta para el ejercicio) con el fin de darle al usuario una medida de su propio desempeño e incitar su motivación para continuar el programa de entrenamiento. Tal información puede ser utilizada también por un terapeuta o entrenador deportivo profesional para evaluar el progreso de un paciente o de un aprendiz [7].

Hubert P. H. Shum, Edmond S. L. Ho, Yang Jiang, y Shu Takagi proponen un nuevo método para reconstruir movimientos válidos a partir de posturas incompletas y ruidosas capturadas por Kinect. Primero diseñaron un conjunto de medidas que evalúa objetivamente el grado de confiabilidad en cada parte del cuerpo rastreado. Al incorporar la estimación de confiabilidad en una consulta de base de datos de movimiento durante el tiempo de ejecución, obteniendo un conjunto de posturas similares que son cinemáticamente válidas. Estas posturas se utilizan para construir un espacio latente, que se conoce como el espacio de postura natural en nuestro sistema, con un análisis de componentes principales locales. Finalmente, aplicaron la optimización basada en marcos en el espacio para sintetizar una nueva postura que se asemeja mucho a la verdadera postura del usuario al tiempo que se satisfacen las restricciones cinemáticas. Los resultados experimentales muestran que su método puede mejorar significativamente la calidad de la postura reconocida en entornos con oclusiones severas, como una persona que hace ejercicio con una pelota de baloncesto o se mueve en una habitación pequeña [8].

Jiann-Der Lee, Chung-Hung Hsieh, y Ting-Yang Lin presentan un sistema de rehabilitación física basado en el sensor Kinect para ayudar a los pacientes con trastornos del movimiento a realizar ejercicios de "Tai Chi" en casa. Mediante el seguimiento esquelético del sensor Kinect, cada movimiento del paciente es reconocido y validado. Los movimientos del paciente se comparan con los movimientos pregrabados del entrenador y se evalúan mediante el uso del sistema de lógica difusa. El experimento se llevó a cabo de acuerdo con una secuencia ABAB en la que A representa la línea de base y B representa las fases de intervención. Los resultados experimentales muestran que los participantes aumentaron

significativamente su motivación para la rehabilitación física, mejorando así el rendimiento del ejercicio durante las fases de intervención [9].

Li, Saiyi, Pathirana, Pubudu N, Caelli y Terry proponen fusionar información de múltiples Kinects para lograr un monitoreo de rehabilitación física. Dado el escenario específico de los usuarios que sufren un rango limitado de movimientos, proponen calibrar las cámaras de profundidad en múltiples Kinects con posiciones 3D de las articulaciones en un cuerpo humano en lugar de en un patrón de tablero de ajedrez, para que los pacientes puedan calibrar Kinects sin soporte adicional. El filtro de Kalman se aplica para la fusión Kinect esquelética ya que los datos de esqueleto (posiciones 3D de las articulaciones) y sus derivados son preferidos por los fisioterapeutas para evaluar el rendimiento del ejercicio de los pacientes. Llevaron a cabo varios experimentos preliminares para ilustrar la precisión de la calibración propuesta y el enfoque de fusión mediante la comparación con un sistema Vicon comercial que confirma el uso práctico del sistema en la monitorización del ejercicio de rehabilitación [10].

Patanapanich, Makawat, Vanijja, Vajirasak, Dajpratham y Piyapat presentan un auto-físico
Sistema de Rehabilitación que ayuda a los pacientes a rehabilitarse correctamente en casa por sí mismos sin fisioterapeutas para resolver el problema del acceso al servicio médico. El sistema de rehabilitación auto-físico usa el dispositivo Kinect para detectar el movimiento del cuerpo del paciente mientras realiza la auto-rehabilitación y el procesamiento de los datos de detección de movimiento de pacientes por el dispositivo Kinect para determinar la precisión del gesto. Este software permite a los pacientes ejercicios con 9 gestos de terapias físicas de equilibrio que son extensión de la cadera, elevación de la pierna lateral, flexión de la rodilla, flexión de la cadera, flexión plantar, caminata en tándem, caminata lateral, soportes de la silla y Timed Up & Go. Los resultados muestran que este sistema de rehabilitación permite a los pacientes rehabilitarse correctamente con un ligero error que es mejor que hacer ejercicio sin la ayuda del software [11].

Chang, R. K.Y. Sim, K. S. Y Too, M. S.M. plantean un marco de referencia basado en Kinect para la rehabilitación motora, en la cual emplean las capacidades que el dispositivo Kinect ofrece de seguir el movimiento del cuerpo humano en tiempo real

para junto con una aplicación fácilmente modificable producirán un sistema de rehabilitación para el hogar personalizado individualmente que motivará, proporcionara retroalimentación y rastreara el progreso del paciente de rehabilitación [12].

Zhao, Liping, Lu, Xiong, Tao, Xianglin, y Chen, Xiaoli presentan un sistema de rehabilitación virtual basado en Kinect a través del reconocimiento de gestos, en el cual emplean el dispositivo Kinect que permitirá al paciente transmitir su información de gestos al entorno virtual realizando acciones específicas diseñadas para su verificación. Verifican la efectividad y aplicabilidad del sistema mediante dos estudios de usuarios, comparando en el primer estudio las destrezas y en el segundo estudio presentan un criterio de evaluación, llevando esto a que los resultados obtenidos proponen que su sistema de rehabilitación sea posible ser realizado en el hogar sin la supervisión de un médico [13].

Pratyusha Das, Kingshuk Chakravarty, Debatri Chatterjee y Aniruddha Sinha proponen un sistema de mejora en las mediciones basadas en Kinect utilizando restricciones antropométricas para la rehabilitación, teniendo un enfoque diferente para filtrar el ruido de las coordenadas de la articulación 3D obtenida con el Kinect mientras minimizan la variación en la longitud del hueso [14].

Moldovan, I. M. Tric, L. Ursu, R. Podar, A. Călin, A. D. Cantea, A. C. Dascălu, L. A. Y Mihaiu, C. A. realizan un programa de rehabilitación virtual utilizando la plataforma MIRA, Kinect y Sensor de saltos en un paciente de 81 años con accidente cerebrovascular en el cual se observa que la terapia de rehabilitación utiliza los videojuegos interactivos del sistema MIRA basados en el reconocimiento de sensores de movimiento como el Kinect, donde el paciente mostro frente al sistema de rehabilitación virtual mejoría, fue bien tolerada y no mostro efectos adversos después de 10 sesiones [15].

Naveen Kumar Mangal, Saswati Pal y Arun Khosla implementan un sistema de rehabilitación para hombro congelado usando Microsoft Kinect, donde diseñan dos aplicaciones complementarias para este sistema de rehabilitación los cuales uno es para medir los ángulos del hombre y la otra aplicación es la práctica de rehabilitación basada en realidad virtual donde combinan ejercicio y videojuego brindando una

nueva experiencia de rehabilitación para los pacientes se basan en el coeficiente de Pearson, RMSE y el grafico de Bland-Altman para validar los resultados de ángulos obtenidos con la aplicación con los valores obtenidos de un goniómetro como medida verdadera [16].

Esfahlani, Shabnam Sadeghi, y Wilson, George implementan el desarrollo del sistema de rehabilitación a través del algoritmo de búsqueda de árboles de Monte-Carlo utilizando Kinect y la interfaz del sensor Myo. Este posee la capacidad de ajustar el nivel de dificultad a la capacidad del jugador al aprender los movimientos realizados, este sistema recopila datos de orientación, músculos y las actividades realizadas esto para tomar decisiones sobre la progresión de la rehabilitación. Los movimientos de las extremidades se almacenan en el árbol de búsqueda que se usa para determinar la ubicación de los objetos virtuales y así realizar el ejercicio necesario, controlando también la activación de la tensión y el estrés de los músculos a través del sensor brazalete Myo proporcionando el siguiente paso correspondiente a la rehabilitación [17].

Raul Oliveira y sus compañeros plantean la rehabilitación física basada en juegos serios de Kinect, desarrollado mediante el motor de juego Unity 3D y el sensor Kinect para su propósito, los juegos desarrollos se emplean para la evaluación objetiva de la rehabilitación física considerando los sensores del Kinect para detección de movimiento 3D de las diferentes articulaciones corporales y proporcionar diferentes tipos de datos. Proporcionan dentro de este aplicativo una base de datos remota, datos biométricos del paciente, historial médico del paciente, puntajes obtenidos durante el entrenamiento y la frecuencia de uso [18].

Palacios-Navarro, Guillermo, García-Magariño, Iván y Ramos-Lorente, Pedro diseñan un sistema basado en Kinect para la rehabilitación de miembros inferiores en pacientes con enfermedad Parkinson. Proporcionan a los pacientes que sufren de la enfermedad Parkinson realizar ejercicios de rehabilitación mediante el uso de un dispositivo de bajo costo conectado a una computadora personal (PC), siendo probado en pacientes con esta enfermedad obteniendo resultados favorables en este desempeño y la recuperación del paciente [19].

Villada, J F, Hoyos, J E, y Muñoz J D plantean un software de análisis biomecánico a través de datos de captura de movimiento usando el sensor Kinect para rehabilitación asistida con videojuegos. Con el fin de capturar en tiempo real datos como posiciones y ángulos de Euler de las articulaciones en movimiento normal, implementan el dispositivo Kinect en su aplicativo para realizar un análisis de movilidad con base en el software para análisis biomecánico del movimiento BIOCIRAC, un seguimiento continuo al proceso de rehabilitación y la cuantificación de los resultados de la terapia [20].

2.1.2 Soluciones viables.

Se propone un sistema de tutoría de acción que permite al usuario recuperar interactivamente un ejemplo de aprendizaje del movimiento de acción objetivo e inmediatamente adquirir instrucciones de movimiento mientras lo aprende frente al Kinect. El sistema propuesto se compone de dos etapas. En la fase de recuperación, algoritmos de deformación de tiempo no lineales están diseñados para recuperar segmentos de video similares al movimiento de consulta realizado aproximadamente por el usuario. En la etapa de aprendizaje, el usuario aprende de acuerdo con el ejemplo de video seleccionado, y la evaluación de movimiento que incluye tanto diferencias estáticas como dinámicas se presenta al usuario de una manera más efectiva y organizada, ayudándole a realizar el movimiento de acción correctamente. Los experimentos se realizan en los videos de diez tipos de acción y los resultados muestran que el descriptor de acción humana propuesto es representativo para la recuperación de video de acción y el sistema de tutor puede ayudar eficazmente al usuario mientras aprende movimientos de acción [21].

2.2 Marco teórico

2.2.1 Biomédica

La investigación biomédica incluye los estudios médicos y de comportamiento relativos a la salud humana. Es un tipo de actividad diseñada para desarrollar o contribuir al conocimiento generalizable, consistente en teorías, principios o relaciones, o acumulación de la información sobre la que se basan, que puede ser corroborado por métodos científicos aceptados de observación e inferencia.

La investigación en seres humanos puede emplear observación o intervención física, química o psicológica; puede también generar registros o utilizar datos existentes que contengan información biomédica u otra información acerca de los individuos, quienes pueden o no ser identificados a partir de los registros o de la información. Debe distinguirse la investigación biomédica en sujetos humanos de la práctica de la medicina, la salud pública u otras formas de atención de salud, que están diseñadas para contribuir directamente a la salud de los individuos o comunidades. Los potenciales sujetos pueden confundirse cuando la investigación y la práctica médica son realizadas simultáneamente; por ejemplo, cuando la investigación se diseña para obtener información nueva sobre la eficacia de un medicamento u otra modalidad terapéutica, preventiva o diagnóstica.

De igual manera ocupa un espacio importante en el desarrollo de la medicina. En el siglo XXI está asistiendo a realizaciones de significación cuya consecuencia será una mejor calidad de vida para las poblaciones de todos los países [22].

Biomecánica

La biomecánica es la ciencia que estudia la relación entre las estructuras biológicas y el medio ambiente, basándose en los principios y las leyes de la física mecánica; abarcando desde el análisis teórico hasta la aplicación práctica de los resultados obtenidos.

La física se ocupa del estudio de las leyes básicas que gobiernan el funcionamiento del medio en el que nos desenvolvemos y al que pertenecemos. Motivo por el cuál sus leyes nos permiten conocer las causas y consecuencias de nuestra relación con todo aquello que nos rodea; como nos influye y como nos vemos influidos por el medio. Sin embargo, a la naturaleza no le reporta ningún beneficio que nosotros podamos llegar a conocer su funcionamiento; motivo por el cuál no se preocupa por facilitarnos la tarea.

Debido a que las leyes y principios básicos de la física mecánica pueden ser expresados en forma de ecuaciones matemáticas, sustituyendo una gran cantidad de información por caracteres simbólicos que la representen; abordar su estudio implica la necesidad de relacionarse con el lenguaje matemático. Sin embargo, si bien en un principio esto puede aparecer como una dificultad; una vez que se dominan los conceptos fundamentales de la física mecánica, su aplicación práctica constituye un hecho simple que no debería presentar grandes dificultades [23].

Rehabilitación tecnológica

Las denominadas tecnologías en rehabilitación hacen parte de las estrategias que facilitan la integración de la persona en situación de discapacidad. Su comprensión demanda aproximaciones conceptuales básicas sobre tecnología, ingeniería y salud, puesto que estos campos confluyen en su área de estudio.

Cuando se habla de tecnología las personas generalmente la relacionan con equipos sofisticados que incluyen dispositivos electrónicos como por ejemplo, el teléfono celular, los satélites y los computadores. Para estudiar la tecnología en rehabilitación es necesario comprender este concepto de una manera más amplia. Para ello se presenta la definición planteada por el ingeniero G. Gaynor, [24] quien la concibe como el "Conjunto de medios creados por personas para facilitar el esfuerzo humano. En los términos más breves posibles, tecnología puede considerarse como capacidad creada". Entender la tecnología de manera general permite incluir medios tangibles e intangibles, tecnología establecida y emergente, baja y alta tecnología, utensilios y herramientas, como también incluir la aplicación particular a la salud, para diagnóstico, tratamiento, educación y rehabilitación. La tecnología ha establecido una relación con la biología, que ha venido desarrollándose en diferentes líneas, biotecnología, para de allí pasar a la bioingeniería, la ingeniería biomédica y la ingeniería en rehabilitación.

La ingeniería en rehabilitación se puede concebir como el conjunto de productos y conocimientos desarrollados desde avances tanto en la ingeniería de la rehabilitación como en las profesiones y disciplinas que estudian el fenómeno de la discapacidad. En este orden de ideas, la tecnología en rehabilitación estudia no sólo lo relacionado con el desarrollo y la producción de instrumentos, equipos, sistemas o dispositivos, que contribuyan a procesos de rehabilitación, sino que se interesa, además, por el impacto de estos elementos en el desempeño y la capacidad funcional de las personas con discapacidad, en el acceso de estas personas y sus familias a los adelantos tecnológicos y en el nivel de uso que se les da, además de lo relacionado con la accesibilidad y diseño.

R. Smith [25] define las tecnologías en rehabilitación de acuerdo a diferentes categorías, Altas y bajas tecnologías. La alta tecnología se refiere a aparatos que se compongan de dispositivos electrónicos o que no sean de uso cotidiano en la actualidad. Este tipo de tecnología, por contar con apariencia exótica, representa la idea de lo que la gente entiende por tecnología; ejemplos de ésta son los teléfonos

celulares, las agendas electrónicas, los aparatos para realizar resonancias magnéticas, tomografías por emisión de positrones, biofeedback y las neuroprótesis. Por otra parte, la baja tecnología comprende aparatos menos complejos, más comunes y con accionamiento mecánico o eléctrico; aquí se pueden mencionar electrodomésticos caseros, las calculadoras, sillas de ruedas manuales, bastones y férulas.

Otra clasificación identifica dos tipos de tecnología teniendo en cuenta su forma de producción, pues distingue entre tecnologías comerciales y tecnologías hechas a la medida del usuario. Las primeras se definen como aquellas que se fabrican en serie, sobre una línea de montaje, siendo más económicas y con medidas estándar; artefactos de este tipo son sillas de ruedas, bastones y muletas. La tecnología hecha a medida del usuario se desarrolla teniendo en cuenta las características antropométricas y necesidades funcionales de una persona, identificadas a partir de una evaluación.

La siguiente dicotomía es la de las tecnologías para la rehabilitación o educación frente a las tecnologías de asistencia y adaptación. Las primeras son establecidas como desarrollos tecnológicos que apoyan procesos de rehabilitación funcional, que incluyen software para rehabilitación cognitiva, biofeedback y estimulación eléctrica funcional. Este tipo de tecnologías se encuentra generalmente en los espacios destinados a la rehabilitación funcional y es utilizado por el equipo de rehabilitación para lograr el incremento de las capacidades funcionales de la persona. Así mismo estas tecnologías se aplican particularmente a las limitaciones en actividades o, inclusive, ante deficiencias en funciones o estructuras corporales. Por otro lado, se encuentran las tecnologías de adaptación o de asistencia, que buscan apoyar el desempeño y la independencia de la persona en situación de discapacidad. Entendemos que este tipo de tecnologías muestran diferencias considerables con las de rehabilitación/educación. La tecnología de asistencia y adaptación favorece procesos relacionados con accesibilidad, diseño para todos y autonomía personal. La tecnología en rehabilitación es una de las estrategias para incrementar los niveles de participación social de las personas en situación de discapacidad dado que ésta puede aplicarse en los procesos de rehabilitación dirigidos a mejorar las condiciones de las funciones y estructuras corporales así como en los procesos que apuntan al incremento de su capacidad funcional para el desarrollo de las actividades de la vida diaria, tanto productivas como de ocio. [26] .

2.2.2 Método Kabat dentro de la facilitación neuromuscular propioceptiva

El movimiento humano es el resultado de la integración de informaciones somato sensoriales[2], controles centrales y acciones musculares (a grosso modo como esquema de Sistema Nervioso). El trabajo integrado de los músculos en una misma acción serán capaces de realizar un movimiento correctamente dosificado y dirigido, simplificando la contracción de grupos musculares (como cadenas) encaminados a desarrollar una misma función, además de fomentar un patrón motor conjunto de respuesta afectando directamente a nuestro esquema corporal y su imagen representativa dentro de nuestro SNC. Estos movimientos de base se encuentran en las actividades diarias y su repetición ha hecho que se denominen «patrones de movimiento» o «patrones cinéticos».

La Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP), también conocida como diagonales de Kabat, utiliza las informaciones táctiles de origen superficial y profundo, como la posición articular o el estiramiento de tendones y músculos, con la finalidad de excitar el sistema nervioso que pondrá en funcionamiento el sistema muscular.

Por tanto, para realizar un movimiento normal hace falta un normal funcionamiento en el mecanismo detector (propiocepción y sentido cinético), el mecanismo integrador (SNC) y el mecanismo efector (musculatura esquelética).

Si alguno de estos tres mecanismos es ineficaz, el movimiento será deficiente. Por ello el método FNP va dirigido hacia los tres a la vez, puesto que utiliza movimientos integrados. [27]

Principios básicos del método Kabat

- Movimientos complejos: Los patrones de movimiento utilizados en este método son globales, similares a los desarrollados en los actos de la vida diaria. El sentido de los mismos es diagonal y espirales, en consonancia con la disposición diagonal y rotatoria de huesos, músculos y articulaciones. Se realizan según 3 dimensiones: Flexión-extensión, abdución-adducción y pronosupinación; y se organiza alrededor de una articulación principal o pívot. El movimiento se ejecuta desde la mayor amplitud, donde las fibras

[2] *centros de recepción y proceso , que se encargan de generar estímulos tales como el tacto, la temperatura, la propiocepción (posición del cuerpo) y la nocicepción (dolor).*

musculares están alongadas al máximo acortamiento del recorrido, aprovechando toda la amplitud del movimiento, y desde la parte más distal del segmento para recibir el mayor número de estímulos propioceptivos.

- Resistencia máxima: Kabat se basa en el hecho de que la aplicación de la máxima resistencia manual, base de todas las técnicas de facilitación, es fundamental para conseguir el desarrollo de la resistencia y de la potencia muscular. Facilita los mecanismos de irradiación e inducción sucesiva.
- Comandos y órdenes: Las órdenes han de ser claras, sencillas, rítmicas y dinámicas para facilitar el esfuerzo voluntario del paciente por medio de la estimulación verbal, siendo las más usuales “tire”, “empuje” y “sostenga”.
- Compresión y tracción: Ambas maniobras estimulan los receptores propioceptivos articulares y favorecen, respectivamente, la estimulación de los reflejos posturales y la amplitud articular.
- Estiramiento: La elongación de las fibras musculares, provoca por mecanismo reflejo, un incremento de la contracción muscular. El movimiento impreso para obtener el reflejo de estiramiento debe ser breve y sincrónico con el esfuerzo voluntario del paciente.[28]

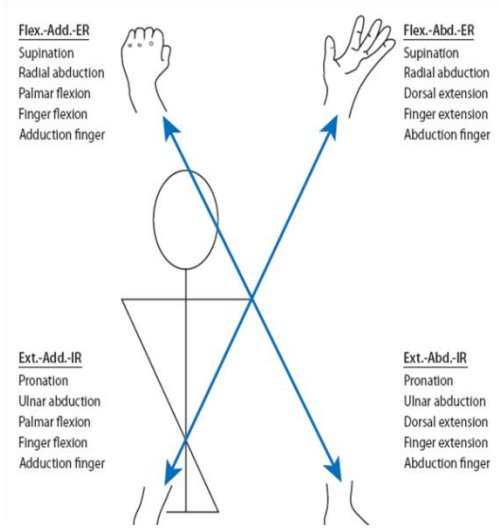


Figura 1 Método kabat – Diagonales

Patrones cinéticos del método Kabat

Los movimientos son siempre diagonales y en espiral, acercándose así a las actividades cotidianas e integrando el movimiento al patrón cinético normal. Los movimientos del método siempre deben asociar un componente rotatorio al desplazamiento segmentario.[27]

En las diagonales, configuradas en forma de “X” existen en cada una de ellas dos patrones antagonistas uno del otro, y constan de flexión o extensión, abdo - abducción, y rotación interna o externa. Con la excepción de los patrones de cabeza, cuello y tronco donde solamente se combinan momentos de flexión o extensión con rotación derecha o izquierda.

En la extremidad superior la flexión va ligada siempre a la rotación externa, siendo variable interna, como también lo es la abducción o la aducción. Respecto a la extremidad inferior, la abducción va unida siempre a la rotación interna, mientras que la aducción a la rotación externa, siendo variable la flexión o extensión. En los miembros superiores e inferiores existen pivotes proximales (hombro y cadera, pivotes intermedios (codo y rodillas) y pivotes distales (muñeca y tobillo).

Existen dos tipos de patrones cinéticos:

1. Patrones cinéticos Base: En cada diagonal de los miembros superiores e inferiores, no se genera movimiento en las articulaciones pivote intermedias: codo y rodilla.
2. Patrones quebrados o mixtos: Son aquellos en los que intervienen las articulaciones o pivotes intermedios, codo o rodilla. Lo que permite partir de la posición de extensión y finalizar el recorrido de la deflexión o viceversa. Son adecuados para dar énfasis a los pivotes intermedios y distales. [28]

2.2.3 Métodos de captura de movimiento en los videojuegos

En la actualidad, gracias a la necesidad de crear unos personajes con gestos y movimientos más realistas, el sector de los videojuegos ha conseguido que la captura de movimiento se convierta en una herramienta esencial, ya que permite una mayor inmersión en los videojuegos. Llegando a ser interpretados en la mayoría de juegos deportivos, por jugadores profesionales.

En consecuencia, las principales empresas de videojuegos como Nintendo, Sony y Microsoft, han desarrollado los siguientes sistemas capaces de capturar movimientos.

Microsoft, Kinect

En 2010 Microsoft desarrolló Kinect para Xbox 360, en sus inicios conocido como Project Natal. Después de unos años, Microsoft ofreció la posibilidad de conectar Kinect por medio de ordenadores o tabletas, con el sistema operativo Windows 8 o superior, mediante un adaptador con una conexión usb 3.0.
El dispositivo Kinect es un periférico para videojuegos que prescinde de mandos gracias a un sensor de detección de movimientos. Este sistema reconoce el rostro, la voz, los movimientos y gestos de los jugadores, mediante una cámara conectada a la videoconsola, el ordenador o tablet. Se trata de una barra horizontal conectada a una plataforma diseñada para mantenerse en una posición horizontal. En su interior contiene un hardware compuesto por una cámara RGB, un sensor de profundidad, el proyector de luz infrarroja, un micrófono bidireccional, un firmware y un procesador que utiliza algoritmos para procesar las imágenes tridimensionales. De forma conjunta capturan el movimiento, además de ofrecer un reconocimiento facial y de voz.



Figura 2 Dispositivo Kinect v1

Gracias a toda la información que captura este dispositivo, los **desarrolladores** de software pueden hacer uso de él para **programar** toda una serie de aplicativos cuyo activo principal es la interacción con los elementos “virtuales” a través de los distintos **movimientos del cuerpo humano**. Es ahí donde entra en juego el **SDK para Kinect**, que **Microsoft** ha puesto al **alcance** de los **desarrolladores** de todo el mundo. Tomando como base diferentes puntos de medida.

Varias medidas de una secuencia de ejercicios son monitoreadas en tiempo real. Algunos se informan en línea, por ejemplo, los ángulos en las articulaciones, mientras que otros se presentan al final de la secuencia, es decir, la evolución de la

posición y la velocidad de cada articulación, la envolvente de trabajo y la tasa de fatiga [25].

Software Kinect for Windows SDK 2.0

El SDK (Software Development Kit) se trata de una librería que facilita diferentes funciones que nos ayudan a interactuar con el dispositivo Kinect. Básicamente **pedirle información sobre los distintos esqueletos y de sus articulaciones. Kinect, una vez detecta** el esqueleto humano es capaz de facilitarnos información detallada de la posición exacta en el plano (X,Y,Z) de todas y cada una de las articulaciones en las que divide el esqueleto humano. Es gracias a esa información lo que permite que podamos desarrollar aplicaciones que funcionen con la interacción del cuerpo humano, sin necesidad de teclados, ratones ni touchpad.

Microsoft decidió sacar el sensor “Kinect for Windows” debido a que detectó un vacío en el mercado, que inicialmente no supo prever, pero que una vez detectado, rápidamente se apresuró a hacerse con él. Desde el lanzamiento de Kinect para XBOX 360, ha habido muchos desarrolladores que adaptaron el dispositivo para que pudiera ser utilizado desde un PC, gracias al adaptador a puerto USB, para trabajar con él y darle otros usos que no fueran únicamente lúdicos para la consola de Microsoft.

Rápidamente aparecieron librerías openSource que ayudaban a los distintos desarrolladores a interactuar con el dispositivo. Fue entonces cuando Microsoft decidió ponerse manos a la obra con el desarrollo SDK para ofrecérselo a los programadores [29].

2.3 Marco Legal

El presente apartado intenta aproximarse a la importancia del tema rehabilitación, partiendo de su significancia teórica y académica hasta la importancia que tiene para las personas con discapacidad, la familia, y la comunidad en general.

Por lo tanto, se relacionan las normas aplicadas en cuanto a la rehabilitación física en la cual se reglamenta el ejercicio de la profesión de fisioterapia, se dictan normas en materia de ética profesional y otras disposiciones. La fisioterapia es una profesión liberal, de área de la salud con formación universitaria cuyos sujetos de atención son el individuo, la familia y la comunidad, en el ambiente en donde se desenvuelven, donde el objetivo es el estudio y la comprensión en el manejo del movimiento

corporal humano, como un elemento esencial de la salud y el bienestar del hombre. Se presenta en la ley 528 de 1999, Titulo II, cuarto artículo en el cual se expone el requisito para el ejercicio de la profesión de fisioterapia. Para ejercer la fisioterapia en Colombia, se requiere acreditar la formulación académica e idoneidad profesional, mediante la presentación del título respectivo [30]. Por lo cual es necesario la certificación de un profesional en el área para la realización de este mismo para evitar sanciones por el ejercicio ilegal de la fisioterapia, incurriría en las sanciones que la ley fija para los casos de ejercicio ilegal, sin ningún tipo de perjuicio en las sanciones disciplinarias, civiles, penales y administrativas a que haya lugar según es mencionado en el título V, decimo artículo [30].

Se tiene en cuenta el decreto número 4725 de 2005 del INVIMA, por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano.[24]

3 Metodología.

3.1 Tecnologías empleadas

En esta sección del capítulo se presentan las tecnologías y dispositivos empleadas para el desarrollo del proyecto. Detallando de forma técnica el software y hardware utilizado.

3.1.1 Softwares empleados

El software principal utilizado en este proyecto es Unity 2018.2.11f1 (Unity-Technologies, 2018x), ya que se trata de un motor para el desarrollo de videojuegos muy versátil. Con el fin de elaborar, compilar y depurar el proyecto de Unity se ha utilizado Visual Studio 2017 (Microsoft Corporation, 2017) con el lenguaje de programación C#, ya que mantienen una sola base de código para todas las plataformas. Respecto a la creación de los personajes, se utilizó la aplicación Fuse Character Creator de Mixamo (AdobeFuseCC, 2017) debido que permite crear modelos humanos estéticos y de fácil manipulación. En cuanto a las animaciones, se hizo usó una herramienta del software Unity junto al creador y editor de video Camtasia Studio 8 (TechSmith Corporation, 2016). Para el almacenamiento, manejo y edición de datos se desarrolló mediante un sistema de gestión de base de datos (MySQL) de forma local.

Entorno de desarrollo: Unity 3D

El objetivo de este proyecto es captar y comparar movimientos de rehabilitación para extremidades superiores del cuerpo. Con esto en mente, se llega a la primera decisión de que plataforma escoger para el desarrollo de este proyecto. Los entornos a elegir para la creación de escenarios 3D fueron: Visual Studio 2017, Unity 3D Engine y Unreal Engine.

El primero descartado fue Visual Studio 2017, ya que se busca el desarrollo de escenarios 3D de una manera más intuitiva y, tanto Unity como Unreal, ofrecen

herramientas más útiles para la creación de estos escenarios. En cuanto a la decisión de elegir entre Unity o Unreal Engine fue basada en la comunidad que hay detrás de cada uno de ellos, y sobre todo, en lo que se quiere abarcar con este proyecto. Unreal suele ser utilizado por las empresas para juegos grandes y más profesionales, mientras que Unity se puede aplicar, tanto a pequeñas como a grandes aplicaciones, siendo su aprendizaje más intuitivo que con Unreal.

Unity es un motor de videojuegos desarrollado por la compañía Unity Technologies y utiliza los lenguajes de programación C, C++, C# y JavaScript.



Figura 3 Logo Unity

En un primer momento, Unity salió al mercado ofreciendo un software de calidad y barato, añadiendo el objetivo de que pequeñas y grandes empresas pudieran utilizarlo por igual, dando además, la posibilidad de que su contenido sea compatible con prácticamente cualquier medio o dispositivo. Gracias a ello, Unity creció exponencialmente en el mercado, generando así, una gran comunidad que puede servir de pilar de ayuda para los nuevos desarrolladores.

Unity ofrece diferentes tipos de versiones, como la personal de forma gratuita y la profesional, que es de pago. En la versión personal, es necesario promocionar el logotipo de Unity y además, carece de funcionalidades adicionales de renderizado del motor, que la profesional si contiene.

La apariencia del editor de Unity se observa en la figura 2:

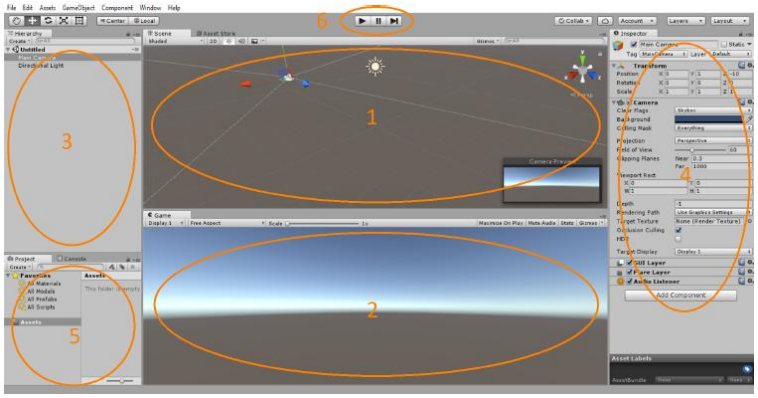


Figura 4 Apariencia de editor Unity

Como se observa en la imagen, el editor de Unity está formado por varios paneles. Cabe destacar, que la estructuración básica de un juego en Unity se realiza mediante escenas. De modo que, para poder tener un pre visualización de los elementos que aparecen en una escena, se utiliza el panel uno, denominado Scene. Este panel representa una dimensión 3D, donde se podrá rotar y desplazar en los tres ejes, para conseguir de esta manera, modificar todos los elementos de la escena en cualquier ángulo.

El segundo panel denominado Game, muestra la vista generada por la cámara, es decir, la imagen que se verá en el juego. Los elementos incorporados a la escena, se archivan en el tercer panel, con el nombre Hierarchy. Estos pueden ser objetos 3D, cámaras, sonidos, luces, e incluso objetos de tipo GUI (Interfaz gráfica de usuario) para la implementación de interfaces. Los elementos se muestran de una forma jerárquica, al seleccionar uno, se expondrán sus características y componentes en el panel cuarto, denominado Inspector. Por ejemplo, al seleccionar la cámara en el Hierarchy, se muestra su componente transform, el cual muestra la información de su posición y rotación, pudiendo ser modificada.

El quinto panel denominado Project, agrupa en forma de directorio, todos los scripts, paquetes, imágenes y archivos, relacionados con el proyecto.

Una vez estudiado el editor de Unity, se toma la decisión de que lenguaje de programación utilizar. Unity soporta dos lenguajes:

- C#: lenguaje estándar similar a C++ y Java.

- UnityScript : lenguaje basado en JavaScript propio de Unity.

Se optó por la decisión de utilizar C#, ya que se acomoda mejor a la aplicación, puesto que no está orientada a web, y además, ofrece unas mejores características que UnityScript.

Para controlar los eventos de un objeto o los eventos de las entradas de usuarios, Unity utiliza scripts. De forma básica, los scripts tienen implementado un método Start para inicializar las variables del objeto y un método Update, encargado de actualizar los parámetros a partir del tratamiento de eventos.
Se utilizó Visual Studio 2017 para la depuración de scripts, ya que proporciona una visualización de las variables utilizadas en tiempo de ejecución, y además, da la posibilidad de ejecutar el script paso a paso. Otro factor clave fue, que con este entorno de programación se tenía experiencia previa de uso.

Fuse Character Creator

Se trata de una aplicación desarrollada por Mixamo, la cual permite crear personajes 3D únicos mediante una intuitiva interfaz, separando el avatar en diferentes partes, como son la cabeza, el torso, las piernas y los brazos (véase la figura 3). Posteriormente a la selección de las diferentes partes del cuerpo ya predefinidas por el sistema, se puede editar cada una de las partes del personaje, ya sean los rasgos de la cara, el tamaño de los brazos, la longitud de las piernas, etc. Al seleccionar la parte del cuerpo que se quiere modificar, simplemente será necesario pinchar y realizar un scrool o deslizamiento hacia la izquierda o derecha para aumentar su tamaño. Por otro lado, para seleccionar el punto exacto donde se ubicarán las diferentes parte del cuerpo como por ejemplo el ombligo, los ojos, las rodillas, etc, se realizará un scrool o desplazamiento hacia arriba o abajo.

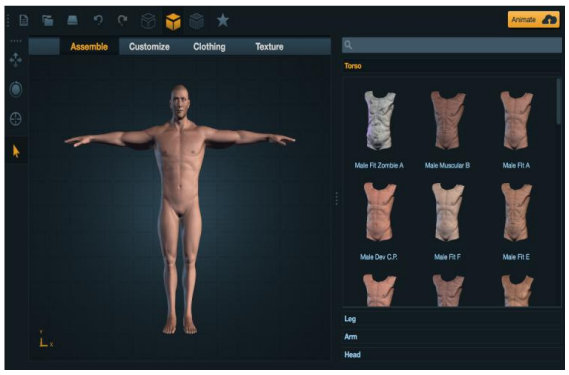


Figura 5 Humano básico de Fuse Character Creator

Al terminar de modelar el personaje, se pasará a la sección de vestuario. Donde existen prendas predefinidas, como camisas, pantalones, zapatos, etc. Al terminar de vestir al avatar, esta aplicación posee la peculiaridad de poder subir al servidor de Mixamo el modelado realizado. Pudiendo completar la configuración de los huesos, con la posibilidad de crear varios esqueletos para un mismo personaje y además incluir las animaciones deseadas.

Camtasia Studio

Camtasia Studio es un programa creados y publicados por TechSmith, para crear tutoriales en vídeo y presentaciones vía screencast, o a través de un plug-in de grabado directo en Microsoft PowerPoint. El área de la pantalla que se va a grabar se puede elegir libremente, y se pueden registrar otras grabaciones de audio o multimedia al mismo tiempo, o añadirse por separado de cualquier otra fuente e integrarse en el componente de Camtasia Studio del producto.

Camtasia Studio 8 para Microsoft Windows está compuesto de dos componentes principales:

- Camtasia Recorder - una herramienta de captura de pantalla y audio independiente
- Camtasia Studio editor - el componente con el nombre del programa, que es ahora una herramienta multimedia con la interfaz estándar del "timeline" para manejar varios clips en una misma pista, además de las mejoras que aparecen resumidas a continuación.

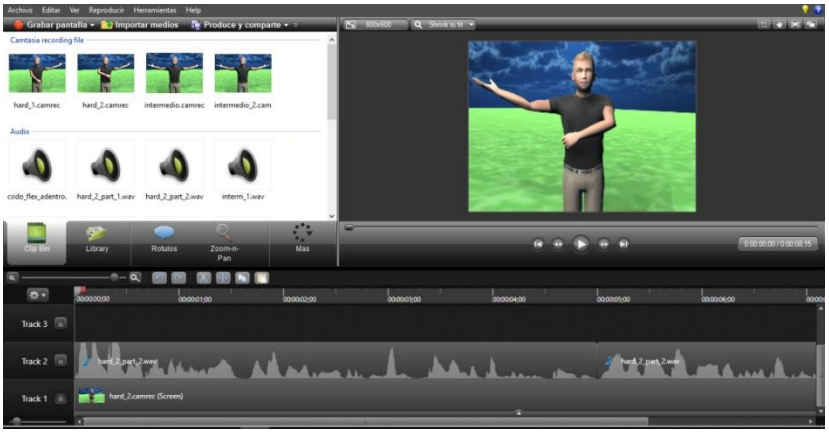


Figura 6 Apariencia de Camtasia Studio Editor

3.1.2 Hardware empleado

El hardware principal usado en este proyecto es el dispositivo de captura de movimiento Kinect versión 1 (para Xbox-360) y el adaptador de Kinect, capaz de conectar el sensor al ordenador con el sistema operativo Windows (Kinect-Adapter, 2014).

Kinect versión 1 (Xbox 360)

Se trata de un periférico que permite a los usuarios interactuar con la aplicación, de modo que gracias a sus sensores, no tiene la necesidad de utilizar algún tipo de mando inalámbrico. Este dispositivo se documenta en la sección 2.2.4.1 del proyecto.

Pasados unos años tras la salida de Kinect, en 2014 Microsoft liberó el controlador Software Development Kit (SDK) para entornos Windows de forma gratuita, con el objetivo de sacarle un mayor rendimiento a esta tecnología. De modo que, facilitó su uso en múltiples aplicaciones, como en el caso de la captura de movimientos.

Por lo tanto, para el uso de Kinect en un equipo o tablet con un sistema operativo Windows (Microsoft, 2014b), se deberán cumplir unos requisitos mínimos hardware y software:

- Procesador de 64 bits (x64).
- Doble núcleo físico de 3,1 GHz.

- Controlador USB 3.0 (versión 2.2.1610.17001 o superior)
- Adaptador de Kinect para conectar el sensor al sistema operativo Windows.
- 4 GB de RAM.
- Tarjeta gráfica que admita DirectX 11.
- Windows 8 u 8.1, Windows Embedded 8 o Windows 10.

Para el correcto funcionamiento de Kinect, será necesario instalar varios softwares añadidos:

- SDK.
- Speech Platform Runtime.
- DirectX Software Development Kit.

Adaptador para Kinect

Para conectar el sensor Kinect para Xbox 360 al ordenador o tableta, se emplea el adaptador Kinect para Windows (véase Figura 7) y de ese modo, es posibles desarrollar soluciones personalizadas para diferentes aplicaciones.

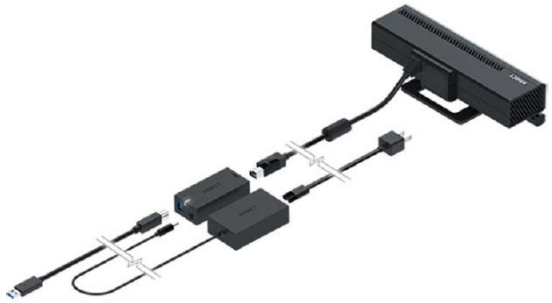


Figura 7 Adaptador de Kinect para Windows

3.2 Rutina de rehabilitación

En este apartado se evidenciarán las recomendaciones dadas por la especialista en el campo de rehabilitación, la fisioterapeuta Francy Gutierrez, en cuanto a cómo deben ser llevados a cabo los ejercicios para las extremidades superiores del cuerpo a partir de la teoría de rehabilitación neuromuscular Kabat.

Antes de llegar a hacer uso de la plataforma, es importante aclarar que debe existir un diagnóstico y en su defecto, dependiendo de la gravedad de la lesión, un tratamiento previo con la ayuda del fisioterapeuta, ya que cuando la lesión es demasiado grave, inicialmente se ejecutan los ejercicios con el paciente recostado y con ayuda del fisioterapeuta, ya que, disminuye la tensión sobre los miembros y permite que el paciente ejecute los ejercicios con mayor facilidad. Por lo cual, el paciente debe estar en la capacidad de realizar los movimientos en una posición vertical (En pie).

3.2.1 Ejercicios

Todos los movimientos que se llevan a cabo en los ejercicios son basados en las diagonales kabat (Véase la figura 1), ya que, con estas se logra satisfacer los principios básicos del método kabat. Cada ejercicio consta de 1 serie de 5 repeticiones.

Ejercicio 1 (Codo Extendido):
En este ejercicio se trabajan las dimensiones extensión, abducción y adducción, pronosupinación, debido que se busca realizar una diagonal completa, llevando el brazo hacían dentro y luego hacia afuera, lo cual implica rotaciones importantes en el hombro, realizando flexiones, extensiones en mano y muñeca, mientras se mantiene el codo extendido en todo momento.
Para realizar correctamente este ejercicio, logramos desglosar la diagonal con codo extendido en las siguientes instrucciones sencillas:

1. Ubicarse en la posición inicial:



Figura 8 Captura de pantalla animación Unity posición inicial.

Posición inicial: Brazo extendido a la altura de los hombros, muñeca extendida y mano abierta.

2. Cierre la mano:



Figura 9 Captura de pantalla animación Unity cierre mano

3. Flexione la muñeca y lleve el brazo a la cadera contraria:



Figura 10 Captura de pantalla animación Unity Muñeca flexionada y brazo mano en cadera contraria

4. Abra la mano y extienda su muñeca



Figura 11 Captura de pantalla animación Unity con mano abierta y extendida

5. Gire el brazo hacia afuera llevando su pulgar hacia arriba



Figura 12 Captura de pantalla animación Unity de vuelta en posición incial

Ejercicio 2 (Codo flexionado)

De la misma forma que en el ejercicio 1, en este ejercicio se trabajan las dimensiones extensión, abducción y adducción, pronosupinación, dado que este ejercicio, también son diagonales con la diferencia que en todo momento se debe mantener el codo flexionado.

La forma en la que se desglosó el ejercicio fue la siguiente:

1. Ubicarse en la posición inicial.
2. Cierre la mano y flexione la muñeca.
3. Flexione el codo.



Figura 13 Captura de pantalla animación Unity con codo flexionado

4. Lleve la mano al lado contrario del pecho.

5. Abra la mano y extienda la muñeca.

6. Extienda el codo.



Figura 14 Captura de pantalla animación Unity al extender codo

7. Lleve la mano hacia afuera, de vuelta a la posición inicial, llevando el pulgar hacia arriba.

3.2.2 Fases de dificultad

Se implementaron 3 fases de dificultad, fase inicial, fase intermedia y fase avanzada. Cada fase conlleva una dificultad y objetivo distintos, las cuales deben ser logradas de forma secuencial para lograr la meta que es una recuperación satisfactoria de la extremidad.

Fase inicial. Entrenamiento individual

El objetivo en esta fase es recuperar la movilidad en la extremidad afectada, para lo cual se ejecutan los ejercicios 1 y 2 de manera continua, con la intensidad mencionada al comienzo de la sección 3.2.

Fase intermedia. Patrones Cruzados simétricos

En esta fase se ejecutan nuevamente los ejercicios 1 y 2, con la salvedad que en esta ocasión se hace con ambos brazos al tiempo, ejecutando el mismo moviendo, de ahí el nombre “Patrones cruzados simétricos”. Lo que se busca con esto es conseguir que el paciente recupere o adquiera habilidades de coordinación bilateral mediante el uso de patrones motores simétricos.

Fase avanzada. Patrones cruzados asimétricos

Esta fase es la más complicada de todas, ya que su objetivo es desarrollar las habilidades de control motor independiente. Teóricamente lo que se busca es que el paciente adquiera habilidades de la vida diaria, pero antes de esto, es necesario que cuente con la habilidad de controlar cada una de sus extremidades de manera independiente. Con eso en mente, la metodología en esta fase, es llevar ejecutar un ejercicio distinto con cada brazo de manera simultánea, es decir, mientras el brazo derecho ejecuta el ejercicio 1, el brazo izquierdo ejecuta el ejercicio 2.

4 Desarrollo del proyecto

Una vez elegida la tecnología y las plataformas que se van a utilizar, se empieza a preparar el desarrollo del proyecto. En este capítulo se explicará que librerías y paquete de Unity se necesitan para tener una buena conexión con Kinect, además, que información obtenida del sensor de movimiento podemos aprovechar para el proyecto. Después de esta aclaración, se expondrá como grabar y reproducir los movimientos del usuario captado, analizando los datos ofrecidos por el sensor de Kinect.

4.1 Paquetes para Unity

El primer paquete que se prueba es el que nos ofrece Microsoft[3], que es un paquete destinado principalmente para UnityPro[4]. Al añadir este primer paquete al proyecto se empieza a manifestar una serie de errores de scripts, y esto es debido a la incongruencia de versiones de Unity. El proyecto se desarrolla en Unity Personal, que es una versión gratuita de Unity, mientras que el paquete que ofrece Microsoft está especificado para Unity Pro. Aun así, se corrigen errores de comandos y llamadas a funciones obsoletas para ver si se puede aprovechar este paquete.

En una primera instancia se ejecuta la escena que viene como ejemplo en el paquete de Unity, observando un comportamiento de funcionamiento intermitente, es decir, cuando nos colocamos enfrente de la cámara de Kinect a veces mostraba un esqueleto verde que emulaba la persona captada y otras veces dejaba de funcionar sin saber el error producido. Debatiendo e intentando comprender si estos errores se producían por conexión de Kinect o por funcionamiento incorrecto de la librería que nos ofrecía Microsoft, se optó por la opción de descartar este paquete para evitar futuras incompatibilidades y frustraciones.

Después de descartar el paquete que nos ofrecía Microsoft se decidió buscar en el Assets Store de Unity. Encontramos el paquete Kinect with MS-SDK[5] que se eligió por su valoración positiva.

Este paquete tiene todo lo necesario para reconocer la conectividad de Kinect y para poder utilizar los datos obtenidos del sensor. En una primera toma, la librería nos ofrece una serie de ejemplos básicos para poder comprender mejor el funcionamiento de Kinect. A su vez, es necesaria la instalación de Kinect SDK 1.8 porque trae incorporados los drivers imprescindibles para la detección de la Kinect.

[3] *https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect/tools*
[4] *Unity profesional de pago con más funcionalidad que Unity personal.*
[5] *https://windowsforum.com/threads/unity-asset-kinect-v1-with-ms-sdk.210483/*

4.2 Captura y Comparación de los movimientos

4.2.1 Captura de movimientos

En una primera vista se muestra como Kinect capta al usuario, esta representación se hace mediante un cubeman[6] que simula todo el movimiento que realiza el usuario. Esta figura se crea gracias al script de Cubeman Controller, el cual se inicializa con el número del cuerpo que se quiere mostrar, siendo seis las personas que pueden ser detectadas por Kinect, ofreciendo además, la opción de representar el cubeman en modo espejo. Los datos del cubeman (ver Figura 15) están definidos con 25 GameObjects llamados Joints, que hacen una representación de las articulaciones del cuerpo humano. Estos Joints se representan en Unity con unas coordenadas (X,Y,Z) junto a su rotación, siendo obtenida toda esta información a través del sensor de Kinect. Los 25 Joints serían: cadera central y lateral, pecho, clavícula, cuello, cabeza, hombros, codos, muñecas, pulgares, manos centrales, rodillas, tobillos y pies.

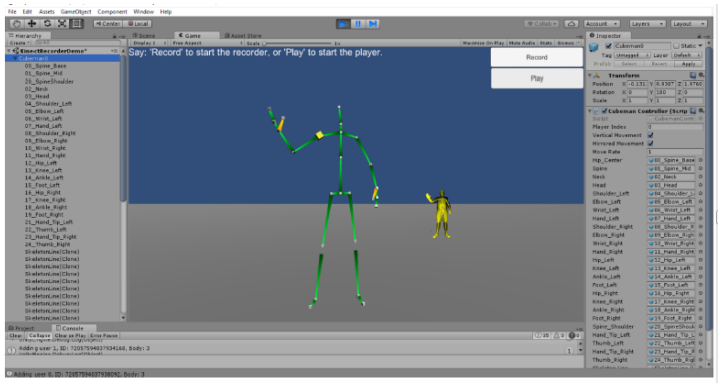


Figura 15 Escena con los dos cubeman

Para hacer una representación correcta del esqueleto y que se mueva como una entidad, el script Cubeman Controller pone la posición del Joint de la cadera base como la posición y rotación del objeto padre, y de esta manera, todos los demás joint serán hijos de este GameObjects. Para calcular la posición relativa de todos los Joints, se resta la posición del padre con la posición de cada Joint dada por el Kinect Manager. El script Kinect Manager es un Singleton[7] encargado de la comunicación entre el sensor de Kinect y las aplicaciones de Unity.(véase Figura 16)

[6] *Esqueleto verde que emula el movimiento de la persona captada.*
[7] *Es un patrón que consiste en que existe una única instancia y es la propia clase la responsable de crear la única instancia. Permite el acceso global a dicha instancia mediante un método de clase.*

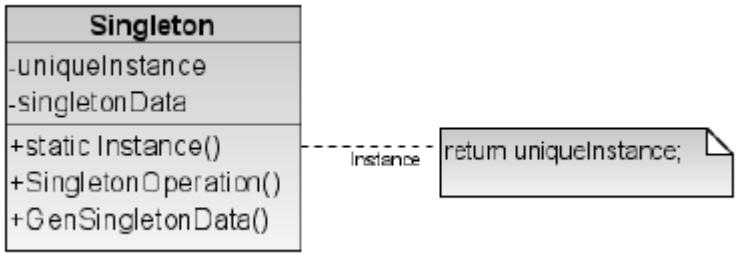


Figura 16 Patrón de singleton

Este script, al ser común a todos los ejemplos nombrados anteriormente, implementa todas las funciones y comunicaciones necesarias para su funcionamiento, pero en este caso, se investiga como obtiene la información que le envía al cubeman Controller.

Kinect Manager se encarga de analizar la información del SensorData, siendo este, una estructura de datos ofrecida por el script KinectInterop[8] donde aparece la información de la imagen, profundidad, color y datos de los usuarios captado con el sensor. Los datos de los usuarios captados se encapsulan en el BodyDataFrame, esta estructura a vez, contiene la información del número de usuarios captados, su identificador, la información de los BodyData[9], etc.

Una vez comprendido el SensorData se observa como el Kinect Manager, analizando el BodyDataFrame, va actualizando y asignando a cada usuario el identificador correspondiente de un BodyData en todo momento, y este a su vez, va pasando al Cubeman Controller esta información para que reproduzca el movimiento.

4.2.2 Comparación de movimientos

Una vez analizado la funcionalidad de los gestos de Kinect, se apoyó en esa idea para implementar la comparación del movimiento como un gesto de Kinect. Para empezar se añadió el gesto al KinectGesture con el nombre Move, acto seguido, se implementó la funcionalidad en CheckForGesture haciendo que tenga dos estados.

Para el siguiente estado hay que explicar antes, que la información del movimiento esta guardada previamente en una lista de strings y cada elemento corresponde a un frame[10]. Después de este inciso, se define el siguiente estado como el estado por defecto, y es así, porque engloba todos los siguientes estados al cero. El número del estado será utilizado para acceder y obtener el frame de la lista del movimiento. En

[8] *script encargado de tener comunicación directa con el sensor de la Kinect.*
[9] *Información de los joint de un cuerpo especifico.*
[10] *Es un fotograma, Unity por defecto reproduce a 60 frames por segundo.*

este momento se decidió que para que sea más eficiente la transición de estados, se incrementa en más de una unidad, ahorrándose así comparaciones innecesarias, ya que la comparación de dos frames consecutivos es muy similar. La comparación consiste en igualar las coordenadas (X, Y, Z) con un margen de error modificable por el usuario, si cumple este requisito, pasará al siguiente estado.

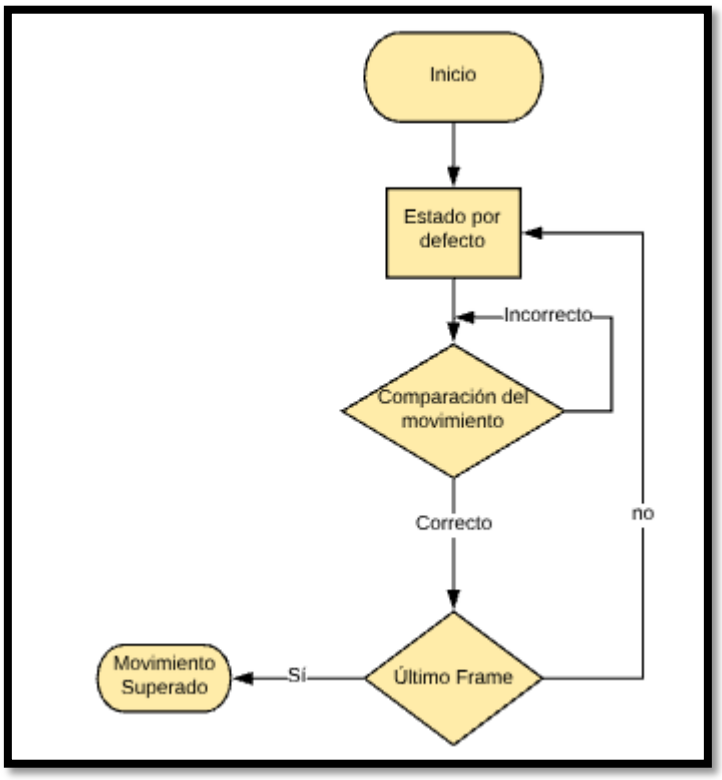


Figura 17 Diagrama comparación de movimiento

4.3 Almacenamiento y manejo de datos

Para esta etapa se decidió realizó un modelo de base de datos basado en el lenguaje MYSQL, el cual implementa una relación cliente servidor, se caracteriza por disponer de roda la información contenida en tablas y relaciones entre datos deben ser representadas explícitamente. Debido a esto, se decidió implementar un sistema de usuario y contraseña, con el fin de llevar un registro claro del progreso que lleva el paciente.

Haciendo uso de wampserver[11], el cual nos permite crear un servidor local en el que generar las diversas tablas para organizar la información necesaria. Con la ayuda

[11] *Se refiere a una pila de software para el sistema operativo Microsoft Windows, creada por Romain Bourdon y que consiste en el servidor web Apache, soporte OpenSSL para SSL, base de datos MySQL y lenguaje de programación PHP.*

del ingeniero en sistemas Fabio Ceballos, logramos diseñar una base de dato que consta de 3 tablas.

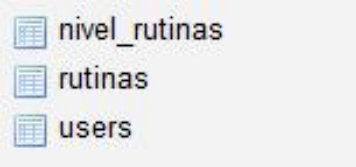


Figura 18. Nombres de las tablas contenidas en el servidor local.

La primera de ellas, “nivel_rutinas” se encarga de señalar y enumerar las diferentes rutinas, la segunda “rutinas” guarda los datos de numero de usuario, nivel de rutina, puntuación y tiempo de ejecución, la siguiente se nombra como “users”, se encarga de almacenar los ID, contraseña y asignar un número de identificación a cada usuario.

IdNivelRutina	DescripcionNivel
1	Facil
2	Medio
3	Dificil

Figura 19. Pantallazo Tabla "nivel_rutinas"

IdRutina	IdNivel	IdUsuario	TiempoSeg	Puntaje
86	1	13	3.0765	2215
70	1	13	1.85517	1923
71	1	13	2.01046	1965
72	1	13	0	1965
73	1	13	1.97008	1956
74	1	13	2.50047	1928
75	1	13	2.32916	1904
76	1	13	2.08969	1926
77	1	13	2.56748	1911

Figura 20. Pantallazo Tabla "rutinas"

id	Usuario	Password
1	User1	1234
2	User2	1234
3	User3	1234
4	admin	1234
5	admin2	1234
6	admin4	1234
8	prueba	1234

Figura 21. Pantallazo Tabla "users"

Haciendo uso de MySQL, se generan códigos con extensión .PhP para almacenar, concatenar y así mismo obtener datos dentro de las diferentes tablas. El cual luego es invocado con una sentencia en Visual Studio y permitir así la manipulación deseada de los datos requeridos para cumplir con el objetivo del proyecto.

4.4 Creación de los escenarios 3D

Con el objetivo de conseguir un ambiente más realista y dinámico, se elaboró un escenario ambientado en una sala de estar casera

La creación de este escenario (véase en la figura 18) se diseñó a partir de diferentes componentes, distribuidos en distintos paquetes y obtenidos en el Asset Store de Unity. En el diseño del suelo se creó un Gameobject de tipo panel y se le incrustó un material, dispuesto por el paquete Yughues Free Wooden Floor Materials10, para simular un suelo de madera. En la construcción de las paredes del escenario, se crearon tres paneles, colocándolos de forma vertical formando un cubo abierto. Se colocaron unos bancos, mesas de centro, un sofá, junto a dos estantes y un televisor para dar sensación una sala de estar, estos objetos son modelos del paquete Locker Room Props12.



Figura 22 Escenario sala de estar casera

4.5 Creación de avatares y animaciones

En esta etapa del proyecto, se han desarrollado dos diferentes avatares con una estética humana. Con el objetivo de dar una sensación más realista a los cubeman y de este modo, proporcionar una perspectiva más amena al usuario.

En el camino se observó que existía una compañía llamada Mixamo que ofrecía una aplicación para el desarrollo de avatares y a su vez, un entorno dedicado a la animación de los personajes creados. Por este motivo, se tomó la decisión de cambiar a Fuse Character Creator de Mixamo como aplicación para el desarrollo de los personajes, ya que se moldeaba perfectamente a las necesidades de este proyecto.

Una vez finalizada la estética del personaje, este se exporta desde Fuse Character Creator con una extensión .fbx o .obj, este mismo es importado al proyecto de unity y se incorpora a la escena. Una vez se encuentre en unity, cada uno de los Joints del cubeman es fácilmente manipulable desde la consola de navegación.

Haciendo uso de la herramienta “Animación” de unity, la cual permite hacer una secuencia de variaciones en las coordenadas de cada Joint, haciendo posible crear animaciones de movimiento.

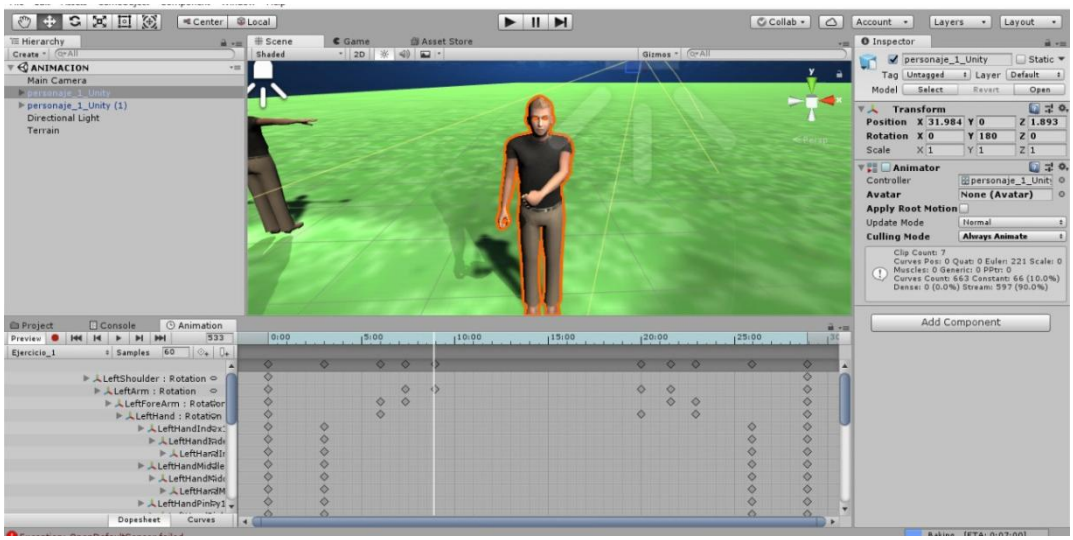


Figura 23. Pantallazo de la herramienta "animación" de Unity

Con esta herramienta nos es posible brindar un apoyo gráfico a los usuarios, en cuanto a las formas correctas de ejecutar cada uno de los movimientos que sean necesarios.

4.6 Grabación de movimientos

Una vez culminado gran parte del proyecto, se visitó la Clínica *Horizontes Aba integral*[12], para hablar con la Fisioterapeuta Francy Gutierrez, quien fue la profesional en el campo de rehabilitación física que nos aconsejó y guió en todo lo que tuvo que ver con las rutinas de rehabilitación, que se implementaron en este proyecto.

Para realizar la grabación de los movimientos que conforman cada una de las rutinas, se hizo uso de la herramienta “animación” de Unity y el software Camtasia, realizando una captura de las animaciones correspondientes mientras se acompañan las animaciones realizadas con breves instrucciones (Ver sección 3.2).

4.7 Transición de las escenas

En Unity, como se ha mencionado anteriormente, las escenas contienen los objetos del juego. Se pueden usar para crear un menú principal, animaciones, niveles, etc. En cada escena, se ha creado un entorno diferenciado para cada una de las necesidades dadas.

[12] *Clínica de rehabilitación física, ubicada en la Cra. 66a #41a - 17, en Bogotá.*

Este entorno, está pensado para ser utilizado por el paciente, de modo que pueda realizar diferentes movimientos que le permitan avanzar en la rehabilitación de sus extremidades superiores, sin la necesidad de que esté presente un fisioterapeuta. El entrenamiento consiste en imitar una serie de movimientos, los cuales han sido previamente gravados según las indicaciones de un experto en el campo de la rehabilitación. El entrenamiento virtual se desarrolla acorde al nivel que posea el usuario, ya sea Básico, intermedio o avanzado, de este modo, el alumno va aprendiendo a realizar los movimientos de forma progresiva.

Gracias a que el sistema compara los frames de la posición del paciente con la de la postura determinada, el paciente podrá realizar un análisis de las transiciones en las que está cometiendo algún error, adicionalmente se presenta una ayuda adicional respecto a cómo se deben ejecutar cada uno de los ejercicios.
Tras realizar una abstracción del flujo de ejecución que realiza el entrenador virtual entre las diferentes escenas, se muestra el diagrama de la lógica del sistema en la figura 19.

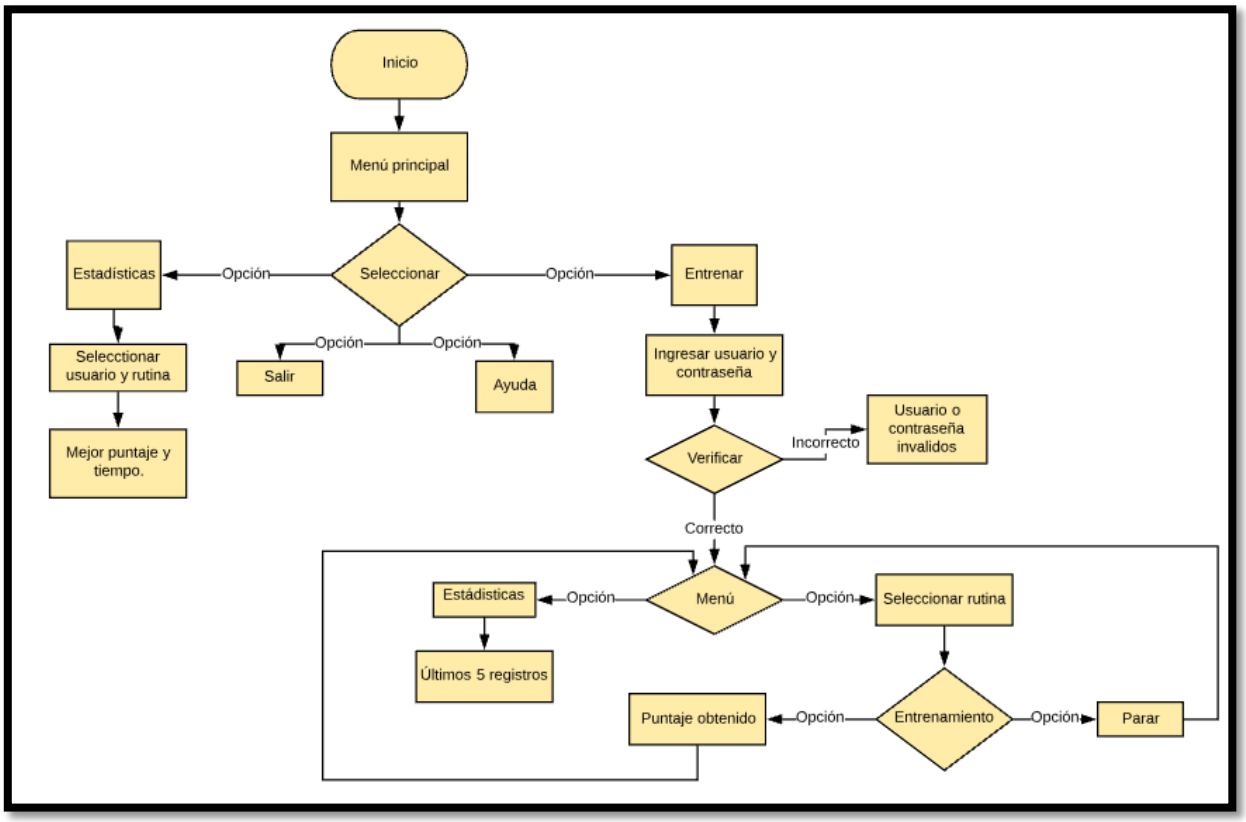


Figura 24. Diagrama que ilustra la lógica del sistema.

5 Resultados

5.1 Plataforma

Como se mencionó en la introducción, uno de los objetivos al desarrollar este sistema era que pudiese funcionar con tecnología de uso doméstico, lo cual restringe notablemente el abanico de posibilidades a considerar. La configuración elegida para el sistema utiliza una única cámara para la captación del movimiento del usuario, proporcionada por Kinect.

Se presenta un menú inicial en el cual se podrá acceder a la sección de entrenamiento y estadísticas más generales de cada usuario permitiendo de este modo una facilidad a la hora de la evaluación.



Figura 25 Menú de inicio.

La sección de estadísticas generales se ve implementada de tal modo que se pueda observar el mejor rendimiento del usuario según sea el caso, observando en cada rutina su puntaje máximo junto al tiempo empleado.



Figuran 26 Estadísticas generales

Se encuentra que es más viable dividir todo el ejercicio a realizar en diferentes secciones, para emplear un sistema de progreso para el paciente, siendo este dividido en un entrenamiento básico, intermedio y avanzado, mostrando de este modo una sección de estadísticas individuales para cada paciente.



Figura 27 Menú de selección interno.

En este apartado se muestra una recopilación de los últimos cinco registros obtenidos según cada nivel de entrenamiento realizado, para que de este modo,

tanto el paciente como el médico puedan tener un control del progreso en cada entrenamiento.



Figura 28 Estadísticas individuales

Se decide incorporar un sistema de selección de personaje para darle un toque más personalizable al software de tal modo que el paciente se pueda sentir más a gusto en su plan de rehabilitación obteniendo mejores resultados dado a la buena disposición que puede llegar a presentar.

Se plantea en este aspecto dos posibles opciones que serían el uso de un personaje a preferencia del paciente siendo estos una selección entre hombre y mujer, los cuales serán presentados como ayudas visuales en el transcurso de la rehabilitación.



Figura 29. Selección del personaje previa al entrenamiento.

Las posturas implementadas son indicadas por la especialista en fisioterapia para un mejor desarrollo de la rehabilitación, del mismo modo se desarrolla una mecánica de

instrucción la cual se realiza mediante un video demostrativo del ejercicio antes de realizarlo e instrucciones por voz que se van dando en el transcurso del desarrollo del ejercicio, ya que los comandos por voz (hale, tire, flexione) sirven de estímulo al mismo, cuidando la claridad, la precisión, el tono y el tiempo siendo parte de la facilitación neuromuscular propioceptiva.



Figura 30. Demostración video previa al ejercicio.

5.2 Pruebas realizadas

Después de realizar una valoración en diferentes personas pertenecientes a nuestros grupos familiares y círculos sociales, en rangos de edades diferentes, siendo hombres y mujeres los evaluados, se observa que se tienen diferentes datos al momento de una prueba con el dispositivo, cabe destacar que son distintos los factores que alteran estos resultados, como describen los usuarios una lesión, si realizan o no alguna actividad física, diferentes niveles de familiarización con la tecnología. Como se muestra en la siguiente gráfica la relación entre la edad del usuario y el porcentaje de efectividad a la hora de realizar el ejercicio.

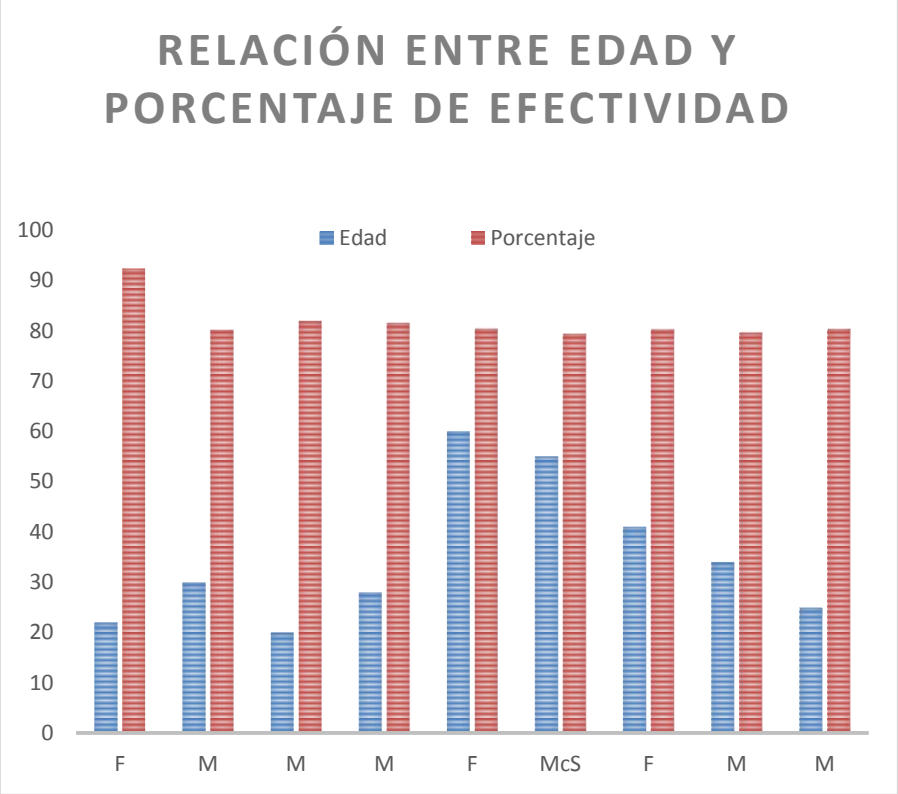


Figura 31. Estadística de desarrollo de la actividad.

En la Figura 21. Se define F (Femenino), M (Masculino), McS (Masculino con lesión).

La recopilación del dato obtenido del ejercicio se obtiene mediante la base de datos, esta es basada en la cantidad de ejercicios que el usuario realiza a lo largo la de la rutina, de tal manera que en el entrenamiento básico se puede obtener un máximo puntaje de efectividad de 2400 puntos contemplando este como el 100 % de efectividad, por lo tanto, se guardan todos estos datos en un mismo usuario de prueba en la base de datos para un fácil reconocimiento y allí podremos observar una relación puntaje y tiempo (en minutos) empleado en el desarrollo de la actividad.

Con esto se define que, las personas puestas a prueba, quienes poseen una lesión en el hombro debido a un accidente vial, pero ya con un alto nivel funcional, obtiene un puntaje inferior al de las demás personas (1904). En general un grupo de personas con bajos puntajes, entre los 1926 y 1965 puntos, son personas que no realizan actividades físicas con frecuencia.

IdRutina	IdNivel	IdUsuario	TiempoSeg	Puntaje
86	1	13	3.0765	2215
70	1	13	1.85517	1923
71	1	13	2.01046	1965
72	1	13	0	1965
73	1	13	1.97008	1956
74	1	13	2.50047	1928
75	1	13	2.32916	1904
76	1	13	2.08969	1926
77	1	13	2.56748	1911
78	1	13	2.19168	1927

Figura 32. Datos guardados en la base de datos de las pruebas.

En general, las personas presentan una buena reacción frente a este software desarrollado, se evidencia una clara aprobación frente a la idea desarrollada, lo cual muestra que es buen incentivo para que los individuos continuar con su plan de rehabilitación de manera didáctica, siendo así, una buena alternativa para quien desee por condiciones externas culminar su rehabilitación desde la comodidad del hogar.

De lo mencionado anteriormente se puede decir que este software es aconsejable usarlo en pacientes que posean un grado de recuperación considerablemente elevado en su tratamiento terapéutico, definiendo este software como un plan complementario para poder culminar desde el hogar su rehabilitación de manera virtual.

Actualmente aún esperamos respuesta a la petición realizada a la clínica *Horizontes Aba integral,* para realizar pruebas en pacientes que asisten a esta entidad, esto con el fin de probar la efectividad de la plataforma en sujetos que con traumatismos un tanto más delicados.

6 Conclusiones y Recomendaciones

A lo largo del presente trabajo se ha descrito el proceso por el cual se ha desarrollado un sistema de rehabilitación virtual a partir de la grabación previa de los movimientos guía. Por otro lado, el usuario, haciendo uso del mismo dispositivo, hará una captura de sus movimientos que servirán para su posterior comparación con el software empleado. Una vez comparados, se ofrece la explicación oportuna para conseguir realizar correctamente los movimientos. En este proceso se debe enfatizar la capacidad del dispositivo Kinect para capturar los movimientos de forma correcta, un hecho relevante si además tenemos en cuenta su bajo precio de mercado.

Aunque aún no se ha realizado una evaluación extensa con usuarios afectados en el área, ya sean de alta o baja gravedad, sí se han llevado a cabo pruebas preliminares para comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación y la fiabilidad de los comentarios para corregir sus defectos.

El sistema de reconocimiento de posturas utilizado presenta problemas de escalabilidad y soporte de nuevos ejercicios. Esto se debe a que cada ejercicio contempla directamente con el código fuente de este sistema de reconocimiento, por lo tanto, la implementación de un nuevo ejercicio requiere un cambio en el programa. Cabe destacar que los ejercicios implementados en la plataforma tienen la enorme ventaja que no presentan ningún tipo de riesgo de atrofia en los músculos o articulaciones, ya que, son ejercicios que involucran únicamente flexión y rotación, las cuales son actividades que se hacen diariamente.

Las tecnologías actuales pueden apoyar a diferentes campos de estudio, en este proyecto se adaptaron algunas herramientas, tanto de software como de hardware, implementándolas en la rama de medicina física y rehabilitación, obtenido como resultado un sistema que facilita al médico el seguimiento del progreso de las personas que se encuentran realizando su plan de rehabilitación a distancia al tener un registro de los reportes alcanzados en todo el progreso de su rehabilitación

7 Bibliografía

[1] N. Li, Y. Dai, and R. Wang, “Study on Action Recognition Based on Kinect and Its Application in Rehabilitation Training,” 2015.

[2] P. Chen, Y. Du, C. Shih, L. Yang, H. Lin, and S. Fan, “Development of an Upper Limb Rehabilitation System using Inertial Movement Units and Kinect device,” pp. 275–278, 2016.

[3] M. Capecci, M. G. Ceravolo, and F. Ferracuti, “Accuracy evaluation of the Kinect v2 sensor during dynamic movements in a rehabilitation scenario,” pp. 5409–5412, 2016.

[4] M. Capecci et al., “Physical rehabilitation exercises assessment based on Hidden Semi-Markov Model by Kinect v2,” 3rd IEEE EMBS Int. Conf. Biomed. Heal. Informatics, BHI 2016, pp. 256–259, 2016.

[5] N. A. Morales Navarro, A. G. Cossío Martínez, J. O. Guzmán Sánchez, M. I. Hernández Meneses, and K. Herrera Matías, “Manejo de entornos virtuales mediante el sensor ‘Kinect’ y su aplicación en fisioterapia,” Rev. Tecnol. Digit., vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2013.

[6] H. Park, J. Lee, and J. Bae, “Development of a dance rehabilitation system using kinect and a vibration feedback glove,” ICCAS 2015 - 2015 15th Int. Conf. Control. Autom. Syst. Proc., no. lCCAS, pp. 1878–1880, 2015.

[7] S. Gauthier and A. Cretu, “Human Movement Quantification using Kinect for In-Home Physical Exercise Monitoring,” 2014.

[8] H. P. H. Shum, E. S. L. Ho, Y. Jiang, and S. Takagi, “Real-time posture reconstruction for Microsoft Kinect,” IEEE Trans. Cybern., vol. 43, no. 5, pp. 1357–1369, 2013.

[9] J. Der Lee, C. H. Hsieh, and T. Y. Lin, “A Kinect-based Tai Chi exercises evaluation system for physical rehabilitation,” Dig. Tech. Pap. - IEEE Int. Conf. Consum. Electron., pp. 177–178, 2014.

[10] S. Li, P. N. Pathirana, and T. Caelli, “Multi-kinect skeleton fusion for physical rehabilitation monitoring,” Conf. Proc. ... Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. Annu. Conf., vol. 2014, pp. 5060–5063, 2014.

[11] M. Patanapanich, V. Vanijja, and P. Dajpratham, “Self-Physical Rehabilitation System Using the Microsoft Kinect,” Int. Conf. Inf. Technol. Syst. Innov., no. November, pp. 241–247, 2014.

[12] R. K. Y. Chang, S. H. Lau, K. S. Sim, and M. S. M. Too, “Kinect-based framework for motor rehabilitation,” Proc. 2016 Int. Conf. Robot. Autom. Sci. ICORAS 2016, 2017.
[13] L. Zhao, X. Lu, X. Tao, and X. Chen, “A kinect-based virtual rehabilitation system through gesture recognition,” Proc. - 2016 Int. Conf. Virtual Real. Vis. ICVRV 2016, pp. 380–384, 2017.
[14] P. Das, K. Chakravarty, D. Chatterjee, and A. Sinha, “Improvement in Kinect based measurements using anthropometric constraints for rehabilitation,” IEEE Int. Conf. Commun., 2017.
[15] I. M. Moldovan et al., “Virtual rehabilitation programme using the MIRA platform, Kinect and Leap Motion sensors in an 81 years old patient with ischemic stroke,” 2017 E-Health Bioeng. Conf. EHB 2017, pp. 325–328, 2017.
[16] N. K. Mangal, S. Pal, and A. Khosla, “Frozen Shoulder Rehabilitation using Microsoft Kinect,” pp. 1–6, 2017.
[17] S. S. Esfahlani and G. Wilson, “Development of Rehabilitation System (RehabGame) through Monte-Carlo Tree Search Algorithm using Kinect and Myo Sensor Interface,” no. July, 2017.
[18] R. Oliveira, “Physical Rehabilitation based on Kinect Serious,” pp. 0–5, 2017.
[19] G. Palacios-Navarro, I. García-Magariño, and P. Ramos-Lorente, “A Kinect-Based System for Lower Limb Rehabilitation in Parkinson’s Disease Patients: a Pilot Study,” J. Med. Syst., vol. 39, no. 9, 2015.
[20] J. F. Villada and J. E. M. J. D. Hoyos, “Desarrollo de un software de análisis biomecánico a través de datos de captura de movimiento usando el sensor KINECT para rehabilitación asistida con video juegos,” Entre Cienc. e Ing., vol. 1, no. 16, pp. 72–77, 2014.
[21] M. Hu, C. Chen, W. Cheng, C. Chang, J. Lai, and J. Wu, “Real-Time Human Movement Retrieval and Assessment With Kinect Sensor,” vol. 45, no. 4, pp. 742–753, 2015.
[22] F. Simini, Ingeniería Biomédica prespectivas desde el Uruguay. 2007.
[23] A. Damián Repetto, “Bases biomecánicas para el análisis del movimiento humano,” p. 200, 2005.
[24] Gaynor, G. Análisis de la tecnología: una base para la experiencia tecnológica. En: Manual de gestión en tecnología. Bogotá, Mc. Graw Hill, 1999, p. 92.
[25] Smith, Roger. Technological approaches to performance enhancement. In: Christiansen, Ch. Y Baum C. (Eds). Occupational therapy overcoming human

performance deficits. Thorofore NJ: Slack Incorporated. 1991. 26] C. Approach, “La tecnología en rehabilitación : una aproximación conceptual,” vol. 4, no. 63, pp. 98–108, 2006.
[26] C. Approach, “La tecnología en rehabilitación : una aproximación conceptual,” vol. 4, no. 63, pp. 98–108, 2006.
[27] Neurofunción S.L., “Método Kabat dentro de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva – Neurofuncion,” 2012. [Online]. Available: https://neurofuncion.com/metodo-kabat-dentro-de-la-facilitacion-neuromuscular-propioceptiva/. [Accessed: 10-Oct-2018].
[28] Terapiafisica.com, “Método Kabat - Principios Básicos, Técnicas y Objetivos.” [Online]. Available: http://www.terapia-fisica.com/metodo-kabat/. [Accessed: 10-Oct-2018].
[29] P. Bamrungthai and W. Pleehachinda, “Development of a game-based system to support stroke rehabilitation using kinect device,” Proc. 2015 Int. Conf. Sci. Technol. TICST 2015, pp. 323–326, 2015.
[30] A. Jana, Kinect for Windows SDK Programming Guide. 2012.
[31] D. O. No et al., “Ley 528 de 1999,” vol. 1999, no. 43, 1999.