



**PROTOTIPO DE UN AMBIENTE DE REALIDAD VIRTUAL BASADO EN
CAPTURA DE MOVIMIENTO PARA EJERCITAR LAS MANOS EN SALUD
OCUPACIONAL**

SASKIA SAULANCH ORTIZ PADILLA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA MECATRONICA
BOGOTA DC, COLOMBIA
2016

**PROTOTIPO DE UN AMBIENTE DE REALIDAD VIRTUAL BASADO EN
CAPTURA DE MOVIMIENTO PARA EJERCITAR LAS MANOS EN SALUD
OCUPACIONAL.**

SASKIA SAULANCH ORTIZ PADILLA

Desarrollo tecnológico para optar por el título de:
Ingeniero en Mecatrónica

TUTOR:
ALVARO JOFFRE URIBE QUEVEDO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA MECATRONICA
BOGOTA DC, COLOMBIA
2016

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a la persona más influyente e importante de mi vida, mi amada madre.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por las oportunidades que me han dado, por la educación que he recibido y por el apoyo incondicional que he tenido en cada una de mis decisiones. Como lo fue escoger la carrera de ingeniería en mecatrónica. A Matthaus y Lothar mis queridos hermanos, a mi madrina que han estado presentes en los momentos más importantes y difíciles de mí vida.

A mis compañeros de carrera y profesores con los que he compartido, aprendido y disfrutado cada momento de esta hermosa ingeniería.

A mi tutor de proyecto por brindarme su confianza, sus enseñanzas, su apoyo. Orientando y ampliando mis horizontes en el universo de la realidad virtual.

RESUMEN

El uso continuo, desmedido y mal uso de distintas herramientas de las tecnologías de la información y la comunicación (como teclados físicos o virtuales), aumenta el riesgo de padecer de trastornos músculo esqueléticos. Dentro de las múltiples lesiones producidas, aquellas relacionadas con la mano suelen ser más comunes y dolorosas que las producidas en cualquier otra parte del cuerpo y requieren de tiempo para su rehabilitación. El objetivo de los ejercicios puede ser mantener o recuperar movilidad; sin embargo, la valoración y seguimiento se hace de manera subjetiva a través de observación y de preguntas al paciente. A los especialistas y los empleados se les dificulta hacer el seguimiento, debido a la falta de información respecto a la frecuencia con la que se ejecutan los ejercicios. Así mismo, otro inconveniente de los ejercicios ocupacionales es el poco interés en su práctica debido a numerosos factores asociados con las características de los mismos como lo son el ser repetitivos, monotonos y falta de seguimiento adecuado, que terminan afectando la motivación de las personas.

En este documento se presenta el desarrollo de un prototipo de realidad virtual basado en captura de movimiento para la ejercitación de las manos en salud ocupacional y así ayudar a evitar que se presenten enfermedades músculo esqueléticas en las manos por medio de la práctica de ejercicios de forma inmersiva durante las pausas activas. El prototipo propuesto es una solución asequible, portátil y fácil de usar en el que se proponen tres juegos, uno para cada ejercicio Flexión/Extensión, Abducción/Aducción y Aprehensión, se emplea el Leap motion como interfaz de usuario para obtener la información del movimiento de las manos. Para las interacciones se utilizan como referencia el ángulo con respecto al eje de movimiento para verificar que tipo de ejercicio el usuario está realizando y así este interactúe con el entorno del juego.

Para la validación de la herramienta se invitaron participantes a probar cada uno de sus módulos y a responder una encuesta sobre los mismos. Los resultados obtenidos muestran como el prototipo cumple con su función que es la de ejercitar las manos en salud ocupacional.

Palabras clave: Pausa activa, músculo esquelético, realidad virtual, prototipo.

ABSTRACT

Continuous, uncontrolled and misuse of various tools of information and communications technology (such as physical or virtual keyboards), increases the risk of having Musculoskeletal disorders. Among the many injuries, those related to hand are more common and painful than those produced elsewhere in the body and need time for rehabilitation. The aim of the exercises can maintain or regain mobility; however, the assessment and monitoring is done subjectively through observation and questions the patient. A specialists and employees find it difficult to track due to the lack of information regarding the frequency with which the exercises are executed. Also, another drawback of occupational exercises is little interest in practice due to many factors associated with the same characteristics as are repetitive, monotony and lack of proper monitoring, ending affected the motivation of people.

This paper presents the development of a prototype virtual reality based on motion capture for the exercise of hands on occupational health and help prevent muscle diseases skeletal hands submitted through practice exercises form immersive during active breaks. The proposed prototype is an affordable, portable and easy to use solution in which three games are proposed, one for each year flexion / extension, abduction / adduction and Apprehension, LEAP motion is used as a user interface for the movement information hands. Interactions are used to reference the angle to the axis of movement to verify that type of exercise the user is performing well and this interacts with the game environment.

For validation of the tool participants they were invited to test each of its modules and to answer a survey about them. The results show the prototype fulfills its function is to exercise hands in occupational health.

Keywords: Active pause, musculoskeletal, virtual reality prototype.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Presentación del problema.....	13
1.2. Justificación	14
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo General.....	16
1.4. Metodología	17
1.4.1. Presentación del Documento.....	18
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Generalidades de la mano	19
2.1.1. Cinemática del dedo	20
2.2. Enfermedades músculo esqueléticas de las manos.....	22
2.2.1. Síndrome del túnel carpiano	22
2.2.2. Tendinitis	23
2.2.3. Tenosinovitis.....	24
2.2.4. Artritis	24
2.3. Tratamiento y Rehabilitación de lesiones en las manos	25
2.4. Ejercicios de la mano	27
2.5. Realidad virtual	28
2.5.1. Exergames	29
2.5.2. Exergames y la salud.....	29
2.5.3. Elementos de juego	30
CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE	31
3.1. Captura de movimiento	31
3.2. Electromiografía.....	31
3.3. Procesamiento de imágenes.....	32
3.4. Procesamiento de ondas Wifi.....	32
3.5. Sensores inerciales.....	33

3.6. Exoesqueletos	33
3.7. Dispositivos comerciales	34
3.7.1. Leap Motion	34
3.7.2. Kinect	35
3.7.3. Guante 5DT	36
3.7.4. Peregrine	37
3.7.5. HumanGlove.....	38
3.7.6. OpenCV	39
3.7.7. MYO	40
3.8. Aplicaciones de Realidad Virtual	40
3.9. Juegos para la rehabilitación	42
3.10. Consideraciones	42
CAPÍTULO 4: DESARROLLO	44
4.1. Selección del sensor de captura de movimiento de la mano.	44
4.2. Caracterización de movimientos	46
4.3. Selección de los Software a utilizar.....	47
4.4. Caracterización del sensor de captura de movimiento	48
4.5. Diseño de los entornos de RV.....	49
4.5.1. Juego 1	51
4.5.2. Juego 2.....	51
4.5.3. Juego 3.....	52
4.6. Elementos formales de los juegos	53
4.6.1. Juego 1	53
4.6.3. Juego 2.....	54
4.6.3. Juego 3.....	55
4.7. Arquitectura del sistema.....	56
4.8. Diseño de los personajes de los juegos	57
4.8.1. Juego 1.....	57
4.8.2. Juego 2.....	58
4.8.3. Juego 3.....	60

4.9. Diseño de los escenarios de los juegos	61
4.9.1. Juego 1.....	61
4.9.2. Juego 2.....	61
4.9.3. Juego 3.....	62
4.10. Diseño del menú de los juegos	63
4.11. Captura de movimiento en los juegos.	64
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	65
5.1. Configuración experimental	65
5.2. Retroalimentación de los Usuarios.....	68
5.3. Retroalimentación de la fisioterapeuta	74
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA	77
Divulgación de conocimientos.....	83
APÉNDICES	85
A. Requerimiento del sistema	85
A.1. Requerimiento de Hardware.....	85
A.2. Requerimiento de Software	85
B. Encuesta sesión uno	85
C. Encuesta sesión dos.....	89
D. Poster presentado en NEXTMED/MMVR (Medicine Meets Virtual Reality)..	96
E. Comparación de los Software de simulación del juego.	97
F. Comparación de lo software de construcción de personajes y/o elementos del juego	97
G. Comparación entre los software de acople.....	98
ANEXO	99
A. Tipos de mano librería tomado del Prefabs del Leap Motion del Software Unity.	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Número de usuarios de internet a nivel mundial. _____	15
Figura 2. La mano humana y sus principales huesos. _____	19
Figura 3. Diagrama de relación entre cinemática inversa y directa. _____	20
Figura 4. Cinemática del dedo de la mano. _____	22
Figura 5. Mano afectada por el síndrome del túnel carpiano. _____	23
Figura 6. Tendinitis en el dedo meñique. _____	23
Figura 7. Tenosinovitis en la mano. _____	24
Figura 8. Manos enfermas de Artritis reumatoide. _____	25
Figura 9. Terapia de la mano. _____	26
Figura 10. Extensión y flexión de la muñeca. _____	27
Figura 11. Aducción y abducción de la muñeca. _____	27
Figura 12. Aprehensión de la mano. _____	28
Figura 13. Otros ejercicios de la mano. _____	28
Figura 14. Exoesqueleto Dexmo Classic. _____	34
Figura 15. Vista esquemática del Leap Motion. _____	35
Figura 16. Dispositivo Kinect. _____	36
Figura 17. Guante 5DT. _____	37
Figura 18. Guante peregrine. _____	38
Figura 19. HumanGlove. _____	38
Figura 20. Aplicaciones hechas con OpenCV. _____	39
Figura 21. Brazaletes Myo. _____	40
Figura 22. Espacio de trabajo. _____	45
Figura 23. Espacio de interacción del Leap Motion. _____	46
Figura 24. Caracterización de los ejercicios Flexión/Extensión, Abducción/Aducción y aprehensión de la mano. _____	47
Figura 25. Sistema de coordenadas de Leap Motion Controller. _____	48
Figura 26. Ángulos del sistema de coordenadas. _____	49
Figura 27. Plugin del Leap Motion visualización del esqueleto de la mano. _____	50
Figura 28. Diagrama de flujo del juego 1. _____	51
Figura 29. Diagrama de flujo del juego 2. _____	52
Figura 30. Diagrama de flujo del juego 3. _____	53
Figura 31. Arquitectura de los juegos. _____	57
Figura 32. Personaje pato. _____	58
Figura 33. Pato en Unity. _____	58
Figura 34. Animación del pato en el software Unity. _____	58
Figura 35. Personaje sapo. _____	59
Figura 36. Sapo en Unity. _____	59

Figura 37. Animación del sapo en el software Unity.	60
Figura 38. Mano GlowRobot de la librería prefabs del Asset del Leap Motion.	60
Figura 39. Escenario del juego1 (pato).	61
Figura 40. Escenario del juego 2 (sapo).	62
Figura 41. Contenedores de los compuestos químicos.	62
Figura 42. Compuestos químicos.	62
Figura 43. Escena del juego 3 (nuclear).	63
Figura 44. Portada de las aplicaciones.	63
Figura 45. Instrucciones de las aplicaciones.	64
Figura 46. Mensaje para salir de la aplicación.	64
Figura 47. Información sobre el juego.	64
Figura 48. Montaje experimental con el Leap Motion.	65
Figura 49. Montaje experimental con el cojín.	66
Figura 50. Detección del movimiento Flexión//extensión de la mano derecha.	67
Figura 51. Detección del movimiento Flexión//extensión de la mano izquierda.	67
Figura 52. Sesión dos pato.	67
Figura 53. Sesión dos sapo.	68
Figura 54. Sesión dos nuclear.	68
Figura 55. Datos capturados en la ejecución del juego el pato.	69
Figura 56. Datos capturados en la ejecución del juego el sapo.	69
Figura 57. Datos capturados en la ejecución del juego nuclear.	70
Figura 58. Gráfica de análisis movimiento de flexión en Excel.	70
Figura 59. Gráfica de análisis movimiento de extensión en Excel.	71
Figura 60. Gráfica de análisis movimiento de abducción en Excel.	72
Figura 61. Gráfica de análisis movimiento de aducción en Excel.	73
Figura 62. Gráfica de análisis movimiento de aprehensión en Excel.	73
Figura 63. Encuesta No 1.	86
Figura 64. Primera pregunta encuesta No.1 .	86
Figura 65. Segunda pregunta encuesta No.1 .	87
Figura 66. Tercera pregunta encuesta No.1 .	87
Figura 67. Cuarta pregunta encuesta No.1 .	88
Figura 68. Quinta pregunta encuesta No.1 .	88
Figura 69. Sexta pregunta encuesta No.1 .	89
Figura 70. Encuesta No 2.	90
Figura 71. Primera pregunta de la encuesta No 2.	91
Figura 72. Segunda pregunta de la encuesta No 2.	91
Figura 73. Tercera pregunta de la encuesta No 2.	92
Figura 74. Cuarta pregunta de la encuesta No 2.	92
Figura 75. Quinta pregunta de la encuesta No 2.	93

<i>Figura 76. Sexta pregunta de la encuesta No 2.</i>	93
<i>Figura 77. Séptima pregunta de la encuesta No 2.</i>	94
<i>Figura 78. Octava pregunta de la encuesta No 2.</i>	94
<i>Figura 79. Novena pregunta de la encuesta No 2.</i>	95
<i>Figura 80. Décima pregunta de la encuesta No 2.</i>	95
<i>Figura 81. Poster Hand VR Exergame For Occupational Health Care.</i>	96
<i>Figura 82. Diferentes tipos de mano de la librería prefabs del Leap Motion.</i>	99
<i>Figura 83. Diferentes tipos de mano no humanas de la librería prefabs del Leap Motion.</i>	100

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Rango de movilidad de un dedo humano.</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2. Tratamientos de terapia postoperatoria y no quirúrgica de la mano.</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 3. Ventajas y desventajas de sistemas no invasivos para la captura de movimiento de la mano. Fuente propia.</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4. Entradas y salidas de las aplicaciones.</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 5. Elementos formales del juego 1.</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 6. Elementos formales del juego 2.</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 7. Elementos formales del juego 3.</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 8. Arquitectura del sistema agentes de juego.</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 9. Análisis movimiento de flexión.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 10. Análisis movimiento de extensión.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 11. Análisis movimiento de abducción.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 12. Análisis movimiento de aprehensión.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 13. Comparación de los Software de simulación del juego.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 14. Comparación de lo software de construcción de personajes y/o elementos del juego.</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 15. Comparación entre los software de acople.....</i>	<i>98</i>

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En la actualidad una de las más grandes necesidades de la sociedad es la de estar comunicado y conectado, esto es posible gracias a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) que cada vez se vuelven más indispensables para la población por los servicios y prestaciones que ofrecen [1]. Pero a pesar de todos los beneficios como el fácil acceso a la información, mejora en la administración y gestión, compartir recursos, entre otros [2], el uso prolongado de las mismas, los movimientos repetitivos o forzados, las posturas estáticas, el trabajo a un ritmo elevado y el estar de pie o sentado durante mucho tiempo puede generar trastornos músculo esqueléticos que se clasifican dentro de riesgos laborales según la Organización Mundial de la Salud (OMS) [3]. Debido a las consecuencias que generan estas afecciones (incapacidad laboral, disminución de la calidad de vida, movimientos limitados, fisioterapia) [4], a lo largo de los años se han venido desarrollando diferentes estrategias para minimizar el riesgo de que trabajadores desarrollen desordenes músculo esqueléticos en forma de ejercicios para el trabajo [5], guías impresas [6], guías multimedia [7], y recientemente el uso de tecnologías de captura de movimiento y exergames [8].

1.1. Presentación del problema

Actualmente los seres humanos ya sea por el ambiente laboral, la ludopatía, y demás actividades que involucran el uso continuo del computador, teclado, mouse y/o dispositivos electrónicos se ven expuestos a desarrollar problemas en la salud como lo son molestias en los ojos, dolor en el cuello y extremidades superiores y trastornos regionales como la tendinitis, la tenosinovitis y el síndrome del túnel carpiano en la mano [9].

Para evitar que se presenten problemas músculo esqueléticos que resulten en una alteración de la calidad de vida, ausentismo y bajo rendimiento laboral, se debe promover la actividad física y para esto las empresas realizan pausas activas practicando ejercicios sencillos que involucran movimientos de flexión/extensión, aducción/abducción y aprehensión de objetos [10]. La implementación de pausas

activas tiene como ventaja: Disminuir el estrés, el riesgo de enfermedad profesional, mejorar el desempeño laboral y liberar estrés articular y muscular [11].

La realización de ejercicios ayuda a minimizar los riesgos de numerosas afecciones a la salud (túnel carpiano, síndrome del manguito rotador, otros) [12], sin embargo su práctica no ha tenido un gran impacto ya que la mayoría de las personas no realizan pausas activas y no tienen buenos hábitos de higiene ocupacional. En general se presentan dificultades en la valoración médica anual (ley 1562 del 11 de Julio de 2012[13]), cuyo elemento de seguimiento son encuestas en las que la información depende de lo que el trabajador reporte sobre la ejercitación que ha realizado por cuenta propia. Es común encontrar que enfermedades como el túnel carpiano, tendinitis y tenosinovitis se presentan en los trabajadores por la falta de ejercitación o cuidados en las manos [12]. En ocasiones estos desordenes no se detectan a tiempo debido al intervalo de la valoración médica y a la falta de monitoreo de la actividad física cuya responsabilidad reside en el trabajador.

Tradicionalmente la ejercitación y fisioterapia para el cuidado de la mano son realizadas de forma individual sin supervisión, realimentación ni monitoreo lo que dificulta el acompañamiento y verificación del progreso del paciente [14]. Comúnmente la valoración se hace de forma visual, observando al paciente realizar ejercicios, a través de encuestas que permiten solo conocer lo que el paciente reporta [15] y queda a discreción del trabajador identificar si realiza correctamente la actividad y motivarse a sí mismo [16]. Adicionalmente, la práctica de estos ejercicios genera aburrimiento, monotonía y dolor en los pacientes debido a sus características repetitivas y falta motivación para que realicen las rutinas recomendadas [17].

1.2. Justificación

Según el instituto Navarro de Salud Laboral existen alrededor de 48.1% de trabajadores sufriendo de afecciones músculo esqueléticas [18]. Esto genera como consecuencia alteraciones en la calidad de vida de las personas por incapacidad médica, cirugías, fisioterapia y otras actividades. En la actualidad los problemas músculo esqueléticos son la principal causa de ausentismo laboral [19]. En el contexto colombiano un estudio realizado por medio del Cuestionario Nórdico y la práctica de actividad física por la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional, se

concluyó que el 95.1 % de los trabajadores presentaron algún síntoma músculo esquelético y entre ellos el 41.2% con síntomas en la mano [20].

A nivel de la mano se tiene que los problemas músculo esqueléticos más comunes son la tendinitis, tenosinovitis y síndrome del túnel carpiano. Estos pueden ser causados por el trabajo manual y repetitivo y posturas forzadas de la muñeca utilizando dos o tres dedos para agarrar objetos. Tradicionalmente estas afecciones se tratan haciendo ejercicios de flexión/extensión, aducción/abducción y aprehensión de forma repetitiva de la mano [21]. Estos problemas se han vuelto relevantes debido al aumento del uso de dispositivos como computadores, tabletas, consolas de video juegos y teléfonos celulares como se presenta en la Figura 1 a través del incremento en usuarios de internet [1].

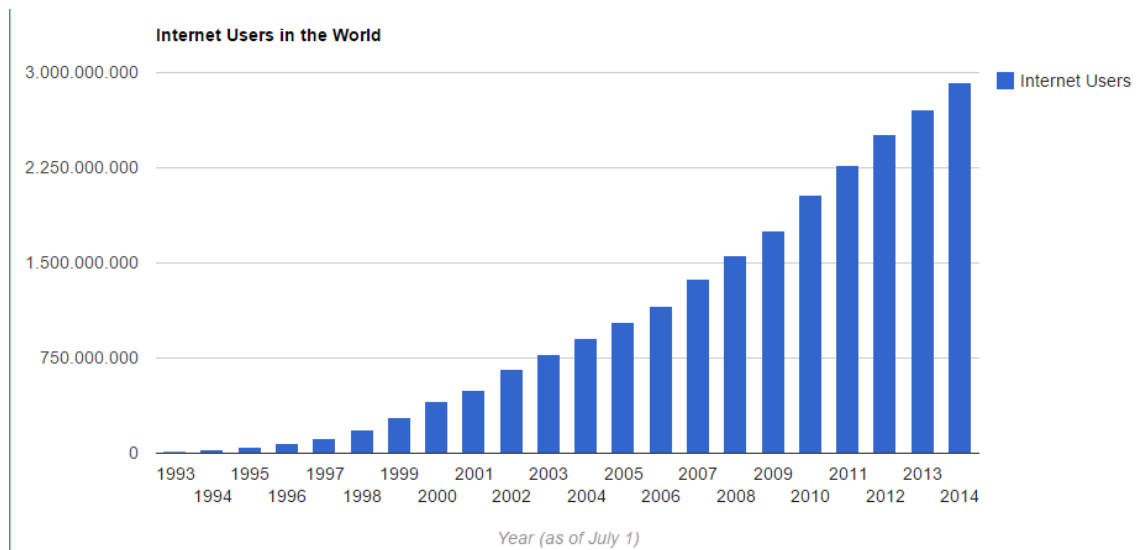


Figura 1. Número de usuarios de internet a nivel mundial.¹

Esta problemática se ve reflejada en los datos recogidos por la OMS en torno a importantes costes económicos de entre el 10% y 20% del Producto Interno Bruto de un país ya que se reduce el desempeño, la productividad, se presentan quejas de clientes y según el Instituto Nacional para la Salud y la Excelencia Clínica del Reino Unido los trabajadores que permanecen de baja laboral por más de seis meses y tienen un 80% de probabilidad de continuar con la misma situación [22].

¹ Internetlivestats.com. (2016). Number of Internet Users (2016) - Internet Live Stats. [online] Available at: <http://www.internetlivestats.com/internet-users/>. [22 Jun. 2016].

Para evitar estos escenarios en la actualidad existen iniciativas como e-health de la OMS que buscan mejorar el cuidado de la salud a través de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC – ICT) [23]. El uso de las TIC ofrece herramientas que pueden tener un potencial para complementar los procesos tradicionales. Esto se puede conseguir a través de la medición de distintos aspectos relacionados con la salud como, miografía [24], captura de movimiento [25] o ritmo cardíaco entre otros [26].

Dentro del contexto de la mano un escenario de realidad virtual provee las siguientes ventajas apoyar a la rehabilitación, proporcionar mayor control de los parámetros de los ejercicios para mejorar el monitoreo, desarrollar destrezas y facilitar el auto-entrenamiento y el sobre-aprendizaje del paciente [27].

El uso de ambientes de realidad virtual utilizando elementos recreativos se ha posicionado como una alternativa para aumentar la participación de usuarios en distintos escenarios, algunos ejemplos como los presentados en el estado del arte recalcan la importancia de la captura de movimiento y el entorno virtual para que el usuario se involucre de forma natural en el ambiente creado [16].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de ambiente virtual, utilizando elementos de juego, basado en captura de movimiento, sin realimentación háptica, como herramienta complementaria a las guías de ejercitación para las manos en salud ocupacional.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los movimientos de la mano de acuerdo a los ejercicios de flexión/extensión, aducción/abducción y aprehensión para la prevención de desórdenes músculo esqueléticos y así identificar el medio de captura de movimiento más adecuado.

- Diseñar el sistema de realidad virtual de acuerdo al medio de captura de movimiento y realimentación visual.
- Implementar y validar el ambiente virtual diseñado a partir de muestras de ejercicios realizados.

1.4. Metodología

El desarrollo del proyecto consta de cinco fases: Análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación. En la primera fase llamada análisis se define e identifica el problema del uso prolongado de las TIC y la aparición de enfermedades músculo esqueléticas como consecuencia de no realizar pausas activas.

En la segunda fase definida diseño se determinan los objetivos anteriormente mencionados, los ejercicios a realizar para la ejercitación de las manos, se selecciona el sensor para capturar el movimiento de las manos y el software a utilizar en la creación de los juegos. En la fase identificada como desarrollo e implementación se busca realizar el tercer objetivo específico considerando las entradas y salidas del sistema, se realiza un diagrama de flujo del funcionamiento de los juegos, se plantean tres escenarios con diferentes ambientes para los diferentes ejercicios de flexión/extensión, aducción/abducción y aprehensión de las manos. Se integra el escenario, la captura de datos y la retroalimentación visual para cada uno de los juegos.

Para terminar en la fase de evaluación como dice el tercer objetivo propuesto luego de terminar los juegos, se procede a probarlos con usuarios por medio de una encuesta se determina el desempeño de la solución propuesta frente al problema planteado y de esta forma concluir que mejoras se pueden realizar para futuros prototipos.

Cabe mencionar que el desarrollo del proyecto se efectuó en el laboratorio de Realidad Virtual de la Universidad Militar Nueva Granada, sede calle 100

1.4.1. Presentación del Documento.

El resto del documento se encuentra organizado de la siguiente forma. En el Capítulo 2 se realiza una revisión de la literatura, se presentan de manera conceptual los diferentes trabajos realizados indicando los distintos métodos de captura de movimiento y los dispositivos que se encuentran en el mercado; en el Capítulo 3 se presenta la definición de algunos conceptos básicos entre los que se destacan las enfermedades de la mano, su tratamiento y rehabilitación ; en el Capítulo 4 se describe el proceso de desarrollo del proyecto, se establece la arquitectura de los juegos, se definen las entradas, salidas y elementos del sistema; el Capítulo 5 tiene como objetivo mostrar los resultados obtenidos después de probar los juegos y haber realizado las encuestas a los usuarios; y finalmente, en el Capítulo 6 se recopila lo concluido a lo largo del desarrollo del prototipo.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En este Capítulo se presenta el marco teórico correspondiente a las áreas de conocimiento involucradas en el desarrollo de este proyecto. Está estructurado de la siguiente forma: Generalidades de la mano, enfermedades, tratamientos para la rehabilitación, ejercicios y lo que es la realidad virtual.

2.1. Generalidades de la mano

La mano está compuesta de muchos huesos, músculos y diferentes ligamentos que permiten gran cantidad de movimientos y destreza. Existen tres tipos principales de huesos en la mano mostrados en la como Figura 2 [28]:

- Las falanges: Son los 14 huesos que se encuentran en los dedos de cada mano y también en los dedos de cada pie. Cada dedo tiene tres falanges la distal, media y proximal mientras que el pulgar tiene sólo dos.
- Los huesos metacarpianos: Estos son los cinco huesos que componen la parte media de la mano.
- Los huesos carpianos: Se definen como los ocho huesos que forman la muñeca. Los huesos carpianos están conectados a dos huesos del brazo: El cúbito y el radio.

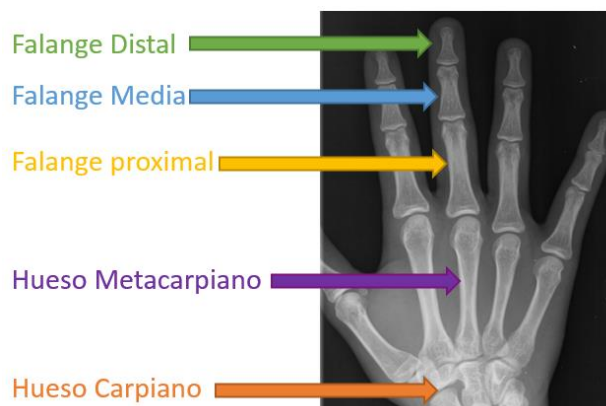


Figura 2. La mano humana y sus principales huesos. ²

² Radiografía de la mano. Fuente: <http://www.gauaquecosas.com/tag/dedo>. Disponible 09/09/2015

Tabla 1. Rango de movilidad de un dedo humano. ³

Articulación	Humano estándar (°)	θ
Metacarpofalangeal	90°	θ_1
Interfalange proximal	110°	θ_2
Interfalange distal	60-70°	θ_3

En la mano también se pueden encontrar los músculos que son estructuras que al contraerse permiten el movimiento de los huesos de la mano, los ligamentos que son tejidos fibrosos que ayudan a unir las articulaciones de la mano y las vainas que son estructuras tubulares que rodean parte de los dedos [28].

2.1.1. Cinemática del dedo

Se muestran la cinemática directa e inversa del dedo de la mano como se observa en la Figura 3.

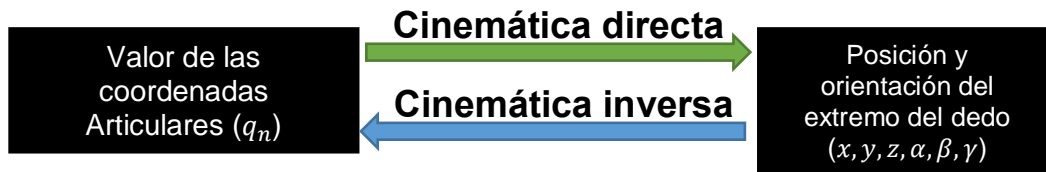


Figura 3. Diagrama de relación entre cinemática inversa y directa.

- **Cinemática directa:** Para un dedo de la mano que posee tres grados de libertad la matriz de transformación homogénea 0T_3 , que permite encontrar la posición de los eslabones del dedo corresponde a:

$${}^0T_3 = A_1A_2A_3 = \begin{matrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \quad (1)$$

¹⁰ STEINDLER A. "Kinesiology of the human body under normal and pathological Conditions". Thomas, Springfield, IL, 1955.

Tal que:

$$n_x = C_1 * C_{23} - S_1 * S_{23}$$

$$o_x = -C_1 * S_{23} + S_1 * C_{23}$$

$$n_y = S_1 * C_{23} - C_1 * S_{23}$$

$$o_y = C_1 * C_{23} - S_1 * S_{23}$$

$$n_z = 0$$

$$o_z = 0$$

$$a_x = 0$$

$$p_x = a_3 * (C_1 * C_{23} - S_1 * S_{23}) + a_2 * C_{12} + a_1 * C_1$$

$$a_y = 0$$

$$p_y = a_3 * (S_1 * C_{23} + C_1 * S_{23}) + a_2 * S_{12} + a_1 * S_1$$

$$a_z = 1$$

$$p_z = 0$$

Donde:

$$a_i = \text{Longitud}$$

$$S_i = \text{Seno}(q_i)$$

$$C_i = \text{Coseno}(q_i)$$

$$S_{ij} = \text{Seno}(q_i) * \text{Coseno}(q_j) + \text{Coseno}(q_i) * \text{Seno}(q_j)$$

$$C_{ij} = \text{Coseno}(q_i) * \text{Coseno}(q_j) - \text{Seno}(q_i) * \text{Seno}(q_j)$$

Estas ecuaciones permiten obtener el valor de la posición (p_x, p_y, p_z) de los Dedos en función de las coordenadas articulares (q_1, q_2, q_3) .

- Cinemática inversa: Para obtener las variables articulares (q_1, q_2, q_3) que surgen cuando se presentan las flexiones de los dedos de la mano se utiliza un método geométrico [29] por su simplicidad (Figura 4), los valores de los ángulos obtenidos son:

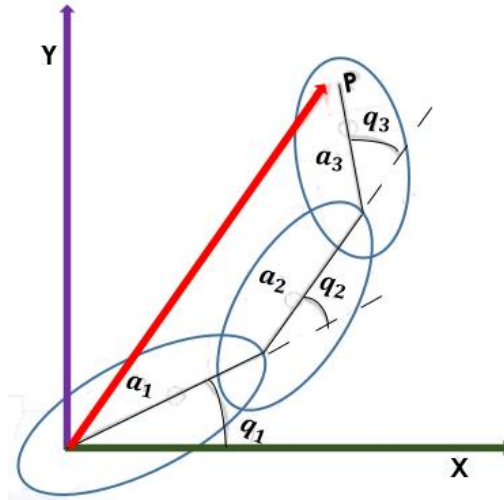


Figura 4. Cinemática del dedo de la mano.

$$q_1 = \tan^{-1} \left(\frac{P_y}{P_x} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{a_1 \sin(q_2) + a_3 \sin(2q_2)}{a_1 + a_2 \cos(q_2) + a_3 \cos(2q_2)} \right) \quad (2)$$

$$q_2 = \cos^{-1} \left(- \frac{2a_1 a_2 + 2a_3 a_2 \mp \sqrt{(2a_1 a_2 + 2a_3 a_2)^2 - 8 * 2a_1 a_3 (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 - p_x^2 - p_y^2 - 2a_1 a_3)}}{4 * 2a_1 a_3} \right) \quad (3)$$

$$q_3 \approx \frac{7}{11} q_2 \quad (4)$$

2.2. Enfermedades músculo esqueléticas de las manos

Estas son enfermedades producidas por lesiones musculares, en los tendones o en los nervios. Causadas por movimientos repetitivos, carga prolongada, retorcimiento repetitivo de agarre, postura prolongada, entre otros [30].

2.2.1. Síndrome del túnel carpiano

Enfermedad como se muestra en la Figura 5 que ocurre cuando el nervio mediano, que abarca desde el antebrazo hasta la mano, se presiona o se atrapa dentro del túnel carpiano a nivel de la muñeca. Puede ser causada por factores genéticos, inflamación en los tendones o las articulaciones, fracturas, obesidad, embarazo,

digitar en un teclado, escribir, tejer, cocinar, realizar trabajos de carpintería, usar herramientas, conducir o tocar algunos instrumentos musicales [31].



Figura 5. Mano afectada por el síndrome del túnel carpiano. ⁴

Para tratar esta enfermedad se pueden usar antiinflamatorios, terapia física, férulas e inyecciones de esteroides en la muñeca y/o realizarse una pequeña incisión en la muñeca para liberar el nervio comprimido [31].

3.2.2. Tendinitis

Es la inflamación como se observa en la

Figura 6. Irritación e hinchazón de un tendón, la estructura fibrosa que une el músculo con el hueso, puede ser causada por una lesión o sobrecarga también puede ser generada por la artritis reumatoidea o la diabetes.



⁴ Cirugiamano.net. (2016). *Síndrome del Túnel Carpiano - Operación endoscópica*. [online] Available at: http://cirugiamano.net/tunel_carpiano/tunel_carpiano_p05.htm [Accessed 22 Jun. 2016].

Figura 6. Tendinitis en el dedo meñique. ⁵

Esta enfermedad se puede tratar descansando el tendón afectado, consumiendo antiinflamatorios, fortaleciendo el músculo con ayuda de la fisioterapia y/o con cirugía para retirar el tejido inflamado [64].

3.2.3. Tenosinovitis

Es la enfermedad que se aprecia en la

Figura 7 que consiste en la inflamación del revestimiento de la vaina que rodea al tendón, el cordón que une el músculo con el hueso, puede ser causada por una infección, una lesión, una sobrecarga o una tensión.



Figura 7. Tenosinovitis en la mano. ⁶

Para tratar esta enfermedad se puede descansar o mantener quietos los tendones afectados, usar antiinflamatorios y/o cirugía [32].

3.2.4. Artritis

Es la inflamación de una articulación y puede ocurrir en múltiples áreas de la mano y la muñeca. El dolor relacionado con la artritis puede deberse a distintas causas, entre ellas la inflamación de la membrana sinovial, los tendones o ligamentos [18].

⁵ Dr-johnny-acosta.coiguayana.com.ve. (2016). *Tendinitis del Dedo* | DR Johnny Acosta - Cirujano de Mano - Traumatólogo Ortopedista. [online] Available at: <http://dr-johnny-acosta.coiguayana.com.ve/tag/tendinitis-del-dedo/> [Accessed 23 Jun. 2016].

⁶ Rodríguez, A., Pérez-Fontán, F., Fernández, P., Álvarez, A., Midón, J. and Martelo, F. (2007). Tenosinovitis flexora piógena de la mano: hallazgos ecográficos. *Cir. plást. iberolatinoam.*, 33(3).

Existen diferentes tipos de artritis entre las más comunes se puede encontrar la juvenil psoriasica y reumatoide. La última como se muestra en la Figura 8 puede persistir durante varios años y puede causar daños en cartílagos, huesos, tendones y ligamentos de las articulaciones [33].



Figura 8. Manos enfermas de Artritis reumatoide. ⁷

3.3. Tratamiento y Rehabilitación de lesiones en las manos

La terapia de rehabilitación de la mano es una forma de terapia ocupacional [34] y está representado en la Figura 9, esta busca recuperar el uso funcional de la mano y brazo traumatizado y que la persona vuelva a sus ocupaciones como antes de generada la lesión [35], este tratamiento puede dividirse en dos categorías principales; estos son preventivas, no quirúrgico y postoperatorio. Usando la información presentada en la sociedad americana de cirugía de la mano (ASSH), una lista de las opciones de tratamiento ofrecidos a través de la terapia manual puede ser compilado y se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tratamientos de terapia postoperatoria y no quirúrgica de la mano.

Preventivo , no quirúrgico , conservador	Rehabilitación postoperatoria
Manejo del dolor agudo o crónico.	Manejo de heridas suturadas o abierta.
La desensibilización tras una lesión nerviosa o trauma.	Control de cicatrices hipertróficas o hipersensibles.

⁷ Elperiodicousa.com. (2016). Artritis reumatoide podría afectar a la población en general. [online] Available at: <http://elperiodicousa.com/news/2014/nov/04/artritis-reumatoide-podria-afectar-la-poblacion-en/> [Accessed 22 Jun. 2016].

Re-educación sensorial después de una lesión en un nervio.	Reducción de la inflamación.
<i>Diseño e implementación de programas de ejercicios en casa para aumentar el movimiento, destreza y/o fuerza.</i>	Fabricación de ortesis para proteger la cirugía o aumentar el movimiento.
La capacitación en el desempeño de habilidades de la vida diaria a través de métodos y equipos aptos.	<i>La instrucción en el programa de ejercicios en casa</i>
Férula de fabricación para la prevención o corrección de lesiones	
El acondicionamiento previo para regresar a trabajar.	

Como lo muestra la Tabla 2 el Diseño e implementación de programas de ejercicios en casa para aumentar el movimiento, destreza y/o fuerza demuestra la relevancia de este proyecto y los aspectos que se deben tener en cuenta para los mismos como la motivación adecuada, repetición continua e interesante, estimulación constante y evaluación [36]. En la actualidad es común que estos se lleven a cabo sin el uso de ayudas tecnológicas o sistemas.

La terapia como tratamiento para lesiones en las manos en un estudio arrojó una tasa de éxito del 80 por ciento, indicando que las personas luego de 8 semanas constantes y de un promedio de 13 horas de tratamiento realizado por un solo terapeuta ocupacional resultó ser exitosa y beneficiosa. Aunque la terapia de mano ya es una forma exitosa de tratamiento para lesiones en las manos [35] existen estudios que afirman que sería beneficioso el usar la tecnología en el tratamiento y no es un secreto que esta ya se ha aplicado con éxito en diferentes áreas de la rehabilitación [36].



Figura 9. Terapia de la mano.⁸

2.4. Ejercicios de la mano

Para prevenir que aparezcan las enfermedades en la mano se pueden realizar ejercicios sencillos que permiten relajar los músculos tensionados y evitar dolores producidos por posturas inadecuadas, repetitividad de movimientos y estrés [10]. Como lo son:

- *Ejercicio de flexión/ extensión:* Mover las manos flexionando y extendiendo las muñecas hacia arriba y hacia abajo como se muestra a continuación en la Figura 10, se puede realizar con la mano abierta o cerrada.



Figura 10. Extensión y flexión de la muñeca.

- *Ejercicio de aducción/abducción:* Consiste en el movimiento lateral de la muñeca. Se lleva a cabo en un eje perpendicular en relación con el ejercicio de flexión/extensión como se observa en la Figura 11.



Figura 11. Aducción y abducción de la muñeca.

- *Ejercicio de aprehensión:* Para conseguir fuerza nuevamente en la mano se debe cerrar lentamente la misma todo lo que sea posible hasta lograr “hacer un

⁸ Fuente: propia.

puño” [69] y así sería el movimiento de aprehensión como se observa en la Figura 12.



Figura 12. Aprehensión de la mano.

- *Entre otros:*
 - a) Muñeca neutral con los dedos extendidos y el pulgar.
 - b) Conector del puño.
 - c) La flexión del puño.
 - d) Extendió el brazo con la palma y los dedos se doblan.
 - e) Mano como mesa.
 - f) La palma recta.
 - g) Recta con el pulgar extendido.
 - h) puño cerrado.
 - i) El puño con pulgar extendido.(Ver bibliografía divulgación de conocimiento [1]).

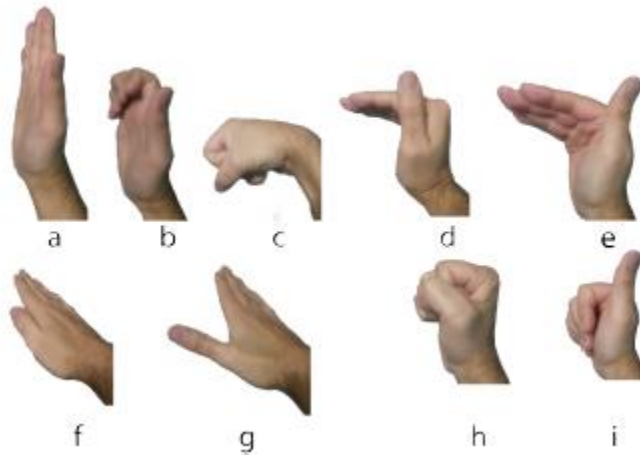


Figura 13. Otros ejercicios de la mano.⁹

2.5. Realidad virtual

Se puede definir como un sistema informático que genera en tiempo real por computador de una simulación tridimensional, imagen o medio ambiente que permite interactuar aparentemente de manera real o física por el usuario utilizando

⁹ Ver bibliografía divulgación de conocimiento [1]

un equipo de electrónica especial ya sea un casco con pantalla interior, guantes equipados con sensores y demás. [38]. En otras palabras, la realidad virtual es una herramienta muy poderosa en la que por medio de computador los humanos pueden interactuar, comunicarse con entornos generados de forma que se imite la vida real y se involucren los sentidos [39].

El potencial de los videojuegos con realidad virtual es tan grande que estudios han demostrado que los estos pueden ayudar a asistir, entrenar, tratar, distraer al paciente durante un procedimiento doloroso, mejorar la rehabilitación de los pacientes, en fin, promover el bienestar de pacientes [40].

Las ventajas de usar rehabilitación virtual son numerosas puede ser usada en diferentes tipos de pacientes, en diversos tipos de ejercicios, es interactiva y motivante, ofrece recompensas visuales y auditivas, permite que un terapeuta intervenga local o a distancia usando la realidad virtual en hardware y simulación, esta terapia se ha aplicado en varios pacientes, incluyendo aquellos con afecciones músculo esqueléticas y post-accidentes cerebrovascular. Además, es particularmente útil para personas con síndrome de estrés postraumático o con alguna fobia como por ejemplo el miedo a volar [41].

2.5.1. Exergames

Son juegos de animación digital que estimulan la movilidad del cuerpo mediante el uso de ambientes interactivos con experiencias inmersivas. Entre ellos el Nintendo Wii, el Play Station Move y el Xbox 360 con Kinect [42].

2.5.2. Exergames y la salud

Las exergames están presentes en la vida cotidiana de algunas personas y existen estudios que demuestran la importancia de estos en la salud de las personas. Al ser interactivos los participantes de un estudio tuvieron una significativa mejora en la calidad de vida respecto a salud mental y una creciente estimulación cognitiva [43].

2.5.3. Elementos de juego

Jugar tiene grandes beneficios como el superar la dislexia, retrasar el proceso de envejecimiento, ayuda a aliviar el dolor, facilita la toma de decisiones de forma rápida, puede reducir el estrés y la depresión, ayudan a las personas con autismo, son terapéuticos en niños con enfermedades crónicas y sirven para motivar a las personas. Generando en las personas emociones que los motivan a querer auto superarse y a seguir jugando.

Entre los elementos de juego se encuentran:

- Propósito o razón de ser: Objetivo, meta, intención o razón de ser del juego.
- Procedimientos para una acción: Operaciones específicas, pasos o acciones requeridas dependiendo del método de juego.
- Las normas que rigen la acción: Principios que determinan la conducta y normas de comportamiento.
- Número de jugadores requeridos: Número máximo o mínimo de personas necesarias para que la acción ocurra.
- Funciones de los participantes: Acciones indicadas que deben realizar los participantes.
- Patrones de interacción del participante:
- Resultados o incentivos: Valores asignados por el resultado de una acción.
- Habilidades y destrezas: Aspectos necesarios utilizados para llevar a cabo una actividad.
- Patrones de interacción: Definen el tipo de relación entre el usuario y en ambiente del juego.
- Entorno físico y requisitos del medio ambiente: Describen los requerimientos del entorno en el que se desarrollará el juego.
- Equipamiento: Dispositivos o artefactos usados en el desarrollo del juego [44].

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presentará de manera conceptual los antecedentes entre los que se incluyen los diferentes métodos usados para la captura de movimiento, procesamiento de señales y otras tecnologías usadas.

3.1. Captura de movimiento

En la captura de movimiento se han realizado investigaciones en diferentes aspectos del ser humano. Por ejemplo, para la captura de la marcha normalmente se utilizan laboratorios especializados con métodos de videogrametría en los que se analizan los movimientos del ser humano, pero debido a que este estudio lo realizan en ambientes controlados la persona en cuestión tiende a sentirse observada y cambiar los movimientos al marchar. Como solución a este problema se consideran dispositivos que implementan acelerómetros para determinar la aceleración, velocidad y posición de las articulaciones del ser humano al realizar la marcha y así poder capturar el movimiento en ambientes no controlados [45].

Otro método de captura de movimiento se puede realizar mediante visión artificial en el que a partir de una imagen proporcionada por una cámara, se realizan ciertas adecuaciones como el filtro de ruido y filtro del entorno, para la adquisición de información se emplean modelos biomecánicos en los que se obtienen de forma cualitativa consideraciones de esfuerzo y fatiga del comportamiento del sistema en análisis y posteriormente es comparado con patrones normales que fueron obtenidos mediante técnicas de fotogrametría [25].

3.2. Electromiografía

Otro aspecto para la captura de señales eléctricas del cuerpo se encuentra en la electromiografía la cual estudia la actividad eléctrica de los músculos, proporciona

el estado fisiológico y los nervios que los activan, se utiliza para el diagnóstico de patologías como la denervación, bloqueo neuromuscular, desordenes de la neurona motriz, entre otras enfermedades musculares. Existen varias fuentes de ruido las cuales afectan al sistema como lo son el ruido fisiológico, el ruido ambiental y el ruido de línea base. Para la implementación del sistema se encuentran las siguientes etapas: Pre-amplificación, filtros y de nuevo una amplificación, además, del uso de la tarjeta USB-1208HS para la adquisición de datos [24].

Tomando como ejemplo el escrito llamado Silla de ruedas eléctrica empleando electromiograma en el que se controla una silla de rueda mediante la señal que emiten los músculos de la mano capturada por el electromiograma, se convierte en el control de la silla de ruedas, por medio de movimientos definidos de las yemas de los dedos [46].

3.3. Procesamiento de imágenes

Una vez realizada la obtención de datos llega la etapa de adecuación para dar un correcto uso a la información, en el caso de las imágenes se realizan distintos filtros para eliminar el ruido que pueda existir, como por ejemplo; una investigación realizada para ayudar a los expertos contra las patologías en los pies: se toman huellas para conocer la distribución de las fuerzas en la planta del pie y realizar ciertos procesamientos de imágenes mediante la herramienta PodoMED, en el que según la huella se realiza una valoración del pie [47].

Por ejemplo, en el artículo la realidad aumentada: una tecnología en espera de usuarios se observa que en el sistema de captura de video y proyección usado en realidad aumentada, el procesamiento de imágenes consiste en extraer propiedades geométricas del entorno por medio de una computadora que analice el entorno en tiempo real [48].

3.4. Procesamiento de ondas usando Wifi

El envío y recepción de datos se puede dar mediante cables (alámbrica) o en forma inalámbrica; los XBee son dispositivos que permiten la comunicación a lugares remotos sin la necesidad de cables y a alta velocidad, por ejemplo; un desarrollo

tecnológico de una red de comunicación mediante XBee entre una minicomputadora Raspberry PI y un PC con el fin de almacenar información en una base de datos remota. La configuración del XBee será de comunicación punto-multipunto con coordinador, el cual tiene la capacidad de almacenar varios mensajes en espera que los módulos correspondientes los entreguen [49].

Por ejemplo; en el documento Look!: Framework para Aplicaciones de Realidad Aumentada en Android se desarrolla un mundo virtual interactivo en tres dimensiones y una aplicación para la creación de redes sociales con soporte para geolocalización, comparando diversos métodos de localización inercial, por radiofrecuencia y por Wifi, a lo se concluyó que este último ofrece un resultado aceptable sin necesidad de hardware externo [50].

3.5. Sensores inerciales

Por otro lado, encontramos los sensores inerciales los cuales se utilizan para el análisis y captura de movimiento, por ejemplo; para determinar la aceleración, velocidad angular o campo magnético de un objeto, con el uso de acelerómetros, giróscopos y magnetómetros respectivamente. Son muy utilizados en el campo de la robótica como por ejemplo en la investigación realizada sobre una plataforma de seguimiento de posición utilizando visión artificial y fusión sensorial con filtros de Kalman extendidos, buscando que el resultado sea más fiable [51].

Como se ve en el siguiente ejemplo Espejo Aumentado: sistema interactivo de Realidad Aumentada basado en Kinect. Se trata de un sistema interactivo de realidad virtual en el que se integran imágenes y videos reales en una pantalla a modo de espejo aumentado para controlar un avatar, por medio del Kinect se captura el movimiento y se grafica usando la librería OpenSceneGraph [52].

3.6. Exoesqueletos

Los exoesqueletos son estructuras que se utilizan sobre el cuerpo humano con el fin de aumentar las capacidades para el desarrollo de actividades que necesiten de un gran esfuerzo como el que aparece a continuación en un exoesqueleto para la mano. Son utilizadas en el campo de la salud, el ocio, el militar, entre otros. En el

campo de la salud los exoesqueletos como se observa en la Figura 14 se adaptan con sistemas inteligentes de procesamiento y sensado con el fin de realizar tareas de rehabilitación previamente planeadas. Como un ejemplo, se tiene la investigación realizada por Jiting Li, Yuru Zhang y Shuang Wang los cuales realizaron un exoesqueleto con cuatro grados de libertad con el fin de rehabilitar el dedo índice, generando movimiento de flexión y extensión para las articulaciones del dedo.

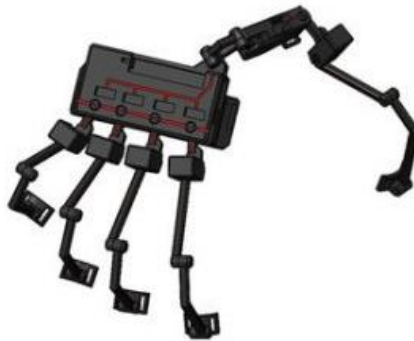


Figura 14. Exoesqueleto Dexmo Classic.¹⁰

Como lo muestra el siguiente artículo Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación se presentan las diferentes aplicaciones que se le puede dar al exoesqueleto mediante una revisión bibliográfica, resaltando la variedad de exoesqueletos para la rehabilitación de la mano ya sean mecánicos, con sensores Flexiforce y con realimentación pasiva de fuerza [53].

3.7. Dispositivos comerciales y otras herramientas

Se refiere a algunos de los dispositivos y aplicaciones que se pueden conseguir en el mercado para la captura de movimiento de la mano.

3.7.1. Leap Motion

¹⁰ Realovirtual.com. (2014). *Exoesqueleto Dexmo para una mano, en Kickstarter*. [online] Available at: <http://www.realovirtual.com/noticias/1026/exoesqueleto-dexmo-mano-kickstarter> [Accessed 22 Jun. 2016].

Este dispositivo mostrado en la Figura 15 que recibe con una gran precisión los movimientos de las manos, se compone de 2 cámaras monocromáticas IR y 3 LEDs infrarrojos, dando al dispositivo de una zona de observación semiesférica con una distancia de aproximadamente 1 metro. Las cámaras infrarrojas pueden correr a una velocidad de hasta 300 cuadros por segundo (en contraposición a 30 con el Kinect), mientras que los LED generan un patrón de puntos 3D compuestas de luz IR [54]. Algunos beneficios de este dispositivo aparte de su tecnología no invasiva, su pequeño tamaño que le brinda gran portabilidad, es duradero y actualmente se encuentra integrado en algunos computadores.

Este dispositivo tiene diversas aplicaciones, como el desarrollo implementado en el juego Fruit Ninja, ya que de esta manera colabora con la rehabilitación cerebrovascular del sujeto que realiza la práctica, además de mejorar la coordinación ojo mano, entre otros beneficios [55].

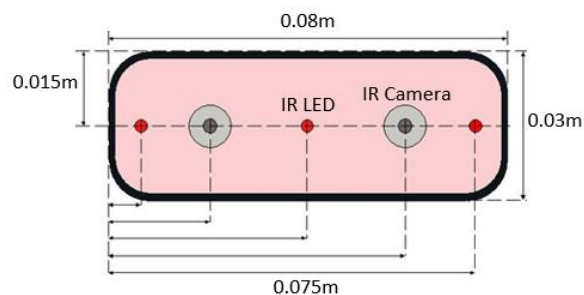


Figura 15. Vista esquemática del Leap Motion. ¹¹

Por ejemplo, en el escrito Realidad Aumentada (RA) en el contexto de usuarios finales se propone el diseño y elaboración de un framework para explorar e interactuar con un catálogo online, que contiene realidad aumentada, utilizando captura de objetos por medio del Kinect y la galería interactiva a través de gestos manuales usando el Leap Motion [56].

3.7.2. Kinect

EL Kinect dispositivo que se muestra en la Figura 16 creado por Microsoft que incorpora sensor de profundidad de IR utilizada para leer la entrada en el espectro,

¹¹ Controller, A. (2016). Fig. 1: Schematic view of leap motion controller (LMC). [online] Researchgate.net. Available at: https://www.researchgate.net/figure/266614710_fig1_Fig-1-Schematic-view-of-leap-motion-controller-LMC [Accessed 22 Jun. 2016].

una cámara a color RGB estándar y cuatro micrófonos con los cuales proporciona captura de movimiento en 3D, reconocimiento de caras y reconocimiento de voces [57]. Tanto la cámara IR y la de ejecución RGB cuentan con una resolución de 640x480 con una velocidad de 30 fotogramas por segundo. Una de las ventajas de este sistema además de no ser invasivo es que se puede utilizar la captura de datos en cualquier mano, es más robusto y duradero que un guante.



Figura 16. Dispositivo Kinect. ¹²

Un ejemplo del uso del Kinect se encuentra en el desarrollo de un software para el reconocimiento de señas manuales para que posteriormente sean traducidas por texto en el computador realizando diversas comparaciones con patrones preestablecidos [58]. Otras aplicaciones se pueden ver en el campo de la robótica en el que se implementa para el control de un robot Scara [59].

Como ejemplo está el Control de un brazo robótico usando el hardware Kinect de Microsoft. Se propone controlar un brazo robótico manipulador de forma fácil tomando como referencia dos movimientos de la mano, utilizando la plataforma de Lego MindStorm, la librería de detección de articulaciones del SDK del Kinect y un controlador que permite que el brazo robótico llegue a la posición deseada [60].

3.7.3. Guante 5DT

Es un guante electrónico que se muestra en la Figura 17, desarrollado por Tecnologías quinta dimensión (Fifth Dimension Technologies) se caracteriza por la captura de movimiento y animación profesional utilizando como librería SDK, una interface RS-232 o USB, dependiendo del modelo existirán diferentes distancias

¹² Greene, J. (2012). *Microsoft debuts Kinect for Windows, commercial SDK*. [online] CNET. Available at: <http://www.cnet.com/news/microsoft-debuts-kinect-for-windows-commercial-sdk/> [Accessed 22 Jun. 2016].

máximas de comunicación. El guante tiene un total de 14 sensores, utiliza fibra óptica patentada y es posible detectar hasta 16 gestos [61].



Figura 17. Guante 5DT. ¹³

Un ejemplo es la implementación en el campo de la salud para el desarrollo de interpretación de señas de las manos a través del guante electrónico y luego poder convertirlas en caracteres y posteriormente reproducirlo con una voz artificial, con el fin de ayudar a la sociedad acercarse a los sordo mudos y así mismo mejorar la calidad de vida, disminuyendo las limitaciones del entorno social [62].

Un ejemplo para lo anterior es el Desarrollo de un Guante de Datos con Retorno Háptico Vibro-táctil Basado en Arduino. Presenta el diseño y desarrollo de un guante que retorna datos vibro-táctiles que tiene como objetivo ser utilizado para interactuar en el entorno y realizar numerosas tareas en el ambiente 3D [63].

3.7.4. Peregrine

Este dispositivo como se aprecia en la Figura 18 es un guante con el que se puede controlar el computador en ciertos juegos, permite que el usuario interaccione de forma poco invasiva y muy inmersiva [64]. El guante tiene 18 paneles táctiles, 3 almohadillas activadas con pistas conductoras de acero inoxidable, es un material que se puede lavar y transpirable; permitiendo el soporte de 30 acciones programables configuradas utilizando el software del fabricante GloveBox, sin embargo, no puede percibir la flexión / extensión o abducción / aducción de los dedos o el pulgar [65]. Una de las desventajas de este sistema es la portabilidad y

¹³ Cadlab.tuc.gr. (2016). VR SYSTEM. [online] Available at: <http://www.cadlab.tuc.gr/vr.htm> [Accessed 22 Jun. 2016].

que para algunos trastornos músculo esqueléticos como se muestra en la Figura 8 no sería posible que la persona utilizara este sistema.



Figura 18. Guante peregrine. ¹⁴

3.7.5. HumanGlove

El guante humano (HumanGlove) como se muestra en la Figura 19, es un sistema desarrollado por la compañía HumanWare usado en medicina, rehabilitación, realidad virtual y tele robótica, este utiliza tecnología Bluetooth de forma predeterminada, utiliza un total de 15 sensores efecto hall para medir la flexión / extensión y abducción / aducción y tiene un peso total de 290gr. El HumanGlove utiliza el software del fabricante para la calibración, en este caso, un paquete llamado "mano virtual gráfica "[66].



¹⁴ Author, G. and Author, G. (2016). Top Devices for PC Gamers | GamerNode. [online] Gamernode.com. Available at: <http://www.gamernode.com/top-10-devices-for-pc-gamers/> [Accessed 22 Jun. 2016].

Figura 19. HumanGlove. ¹⁵

3.7.6. OpenCV

Es una biblioteca para el ordenador que usa un código abierto (Open Source Computer Vision) que contiene más de 500 funciones basadas en C / C ++, lo que permite una amplia gama de aplicaciones basadas en visión del computador, incluyendo imágenes médicas, de seguridad y robótica. Es compatible con una amplia gama de cámaras disponible en el mercado, la cámara utiliza la posición y el color de un píxel para construir una matriz de números y esta matriz es utilizada por el programa. Además, OpenCV es una biblioteca robusta y accesible para la visión por ordenador, algunas de las aplicaciones de esta se pueden apreciar en la Figura 20. Este recurso podría ser potencialmente un buen complemento para los sistemas de captura de movimiento de la mano basados en un guante [67].

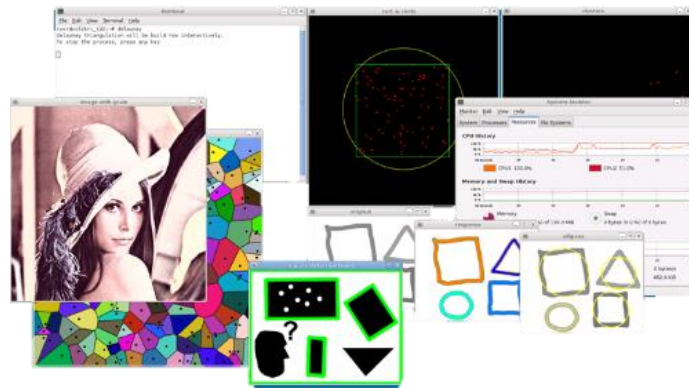


Figura 20. Aplicaciones hechas con OpenCV. ¹⁶

Un ejemplo de aplicaciones que utilizan la librería OpenVC es aquel en el que se controla un videojuego por medio de un algoritmo en tiempo real para rastrear y reconocer los gestos con las manos y así interactuar en el videojuego. El algoritmo está basado en el color de piel para segmentar de la mano y se realiza un seguimiento empleando las características morfológicas extraídas de la mano, luego se clasifica la dirección del movimiento de la mano en categorías para finalmente reconocer los gestos [68].

¹⁵ User, S. (2016). Humanglove. [online] Hmw.it. Available at: <http://www.hmw.it/it/humanglove.html> [Accessed 22 Jun. 2016].

¹⁶ Developer.toradex.com. (2016). *OpenCV (Linux)*. [online] Available at: [http://developer.toradex.com/knowledge-base/opencv-\(linux\)](http://developer.toradex.com/knowledge-base/opencv-(linux)) [Accessed 22 Jun. 2016].

3.7.7. MYO

Myo es un brazalete elástico y liviano como se aprecia en la Figura 21 que consiste en una serie de contactos metálicos que miden la actividad eléctrica en el músculo del antebrazo para transmitir los gestos que se realizan con la mano a un dispositivo conectado a través de Bluetooth. La configuración y sincronización con el brazalete se realiza a través de un dongle USB que se conecta a su computadora portátil, también es posible conectar directamente a través de Bluetooth a otros dispositivos e incluso controlar herramientas como robots utilizando Myo. El uso de la propia Myo es relativamente cómodo y no es invisible [69]. No reconoce todos los movimientos ya que tiene muy pocos gestos en la base de datos.



Figura 21. Brazalete Myo.¹⁷

3.8. Aplicaciones de Realidad Virtual

La amplia disponibilidad de hardware ha permitido que se generen diversas soluciones de RV relacionadas con la actividad física. Desde aplicativos para el entretenimiento hasta exergames orientados al mantenimiento, recuperación o acondicionamiento físico.

MORENO, Francisco, et al. (2013) Un Framework para la Rehabilitación Física en Miembros Superiores con Realidad Virtual. Se utiliza la realidad virtual en la rehabilitación física de pacientes ya que han superado los resultados de la

¹⁷ Manzana, N. (2016). *Brazalete MYO, el control por gestos* | *TodoSmartwatches*. [online] *TodoSmartwatches*. Available at: <http://www.todosmartwatches.com/brazalete-myo-control-gestos/> [Accessed 14 Jul. 2016].

metodología tradicional. Mediante la creación de un videojuego con actividades físicas particulares se atrae la atención del paciente y este se entretiene [70].

RUEDA, Ariel Molina, et al. (2010) Seguimiento 3D de la mano. Se propone un modelo 3D realista de los movimientos de la mano, implementando un modelo propuesto de múltiples hipótesis, un sistema de seguimiento de mano estática y un sistema de render de mallas 3D. Para lograr un seguimiento 3D de la mano más expresivo [71].

YUNDA, L. (2011). La Plataforma Web para un nuevo modelo de tele rehabilitación, de base comunal, en áreas rurales en el que se realizan acciones de rehabilitación a distancia con enfoque RBC, capaz de comunicar a los expertos en rehabilitación con los discapacitados [72].

F. Arranz Aranda (2012) Interacción persona-computador basada en el reconocimiento visual de manos. Se propone un método de interacción basado en movimientos y posiciones de la mano por medio de una cámara RGB, utilizando gestos predefinidos por medio de inteligencia artificial con aprendizaje basado en las derivadas de Sobel [73].

COLADO, Ulises Zaldívar, et al. (2011) Seguimiento visual de las manos y dedos para actualizar un mundo virtual interactivo proyecto realizado por estudiantes de la UAS y del Cinvestav. En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de seguimiento sin contacto que detectan los parámetros que caracterizan el movimiento de los dedos, por medio de cámaras Web que permiten la reconstrucción en 3D representada en el mundo virtual [74].

ORTIZ, Saskia; URIBE-QUEVEDO, Alvaro; KAPRALOS, Bill (2016). En el artículo se desarrolla un Exergame basado en la captura de movimiento de la mano para fines de salud ocupacional, que permiten al usuario realizar ejercicios de forma sencilla por medio de un dispositivo de captura de movimiento rentable, no invasivo para evitar algunos de los problemas asociados al uso excesivo de los teclados y dispositivos móviles como lo son los trastornos músculo esqueléticos (Ver bibliografía divulgación de conocimiento [2]).

SCHÖNAUER, Christian, et al. Se habla de los serious games que tienen la hipótesis de apoyar a los pacientes a mantener sus funciones físicas por sí mismos, sobre todo, cuando el juego se controla con el desempeño propio del cuerpo del paciente. En este proyecto se implementa un sistema que proporciona la entrada multimodal, incluyendo un sistema de captura de movimiento de cuerpo completo (Microsoft Kinect) y dispositivos de adquisición de bioseñales como motor de juego.

Además, permite el uso de los datos adquiridos multimodales para serious games en un entorno médico [75].

O'HARA, Kenton; GRIAN, Hazel, et al. Se estudia el juego de realidad alternativa (ARG) MeiGeist en el que los medios de comunicación y elementos de la narrativa de una historia presenta a los jugadores la posibilidad de interactuar con los eventos y personajes del juego, utiliza el mundo real como plataforma y la historia del juego puede ser afectada por las ideas o acciones de los participantes [76].

3.9. Juegos para la rehabilitación

Son aquellos juegos que permiten al usuario lograr un propósito específico utilizando el componente de entretenimiento y el compromiso proporcionado por la experiencia de juego [77]. Pueden ser útiles en el diagnóstico, prevención, publicidad, formación, condición física, rehabilitación, relajación, entre otros. El objetivo de este tipo de juegos es ayudar a las personas que padecen de trastornos funciones físicas como consecuencia de una enfermedad para llevar a cabo su terapia física durante el progreso de rehabilitación [78].

Por ejemplo, VirtualRehab producto clínicamente validado para la rehabilitación y desarrollo de habilidades motoras finas a través de ejercicios de índole manipulativa, que combina modernas técnicas de captura de movimiento con el Leap Motion para las manos (una a la vez) y el Kinect XboxOne para el cuerpo, con tecnología de videojuegos [79].

Otra herramienta para la rehabilitación fina de dedos y manos en el área de la terapia ocupacional desarrollada por el Dr. Manuel Murie Fernandez es el 'EM One Hand' utiliza el sensor Leap Motion y como su nombre lo indica se utiliza una mano a la vez y su retroalimentación visual al usuario aparte del movimiento de un personaje son los puntos obtenidos a lo largo del juego [80].

3.10. Consideraciones

Recientemente ha habido un impulso en el desarrollo de soluciones de rehabilitación en cuanto a sistemas para la captura de movimiento invasivos en la actualidad se tienen los exoesqueletos, los guantes peregrine, 5DT, HumanGlove y los no

invasivos como el Leap Motion, el MYO, el Kinect y la tendencia es usar estos elementos para crear entornos interactivos para alentar y motivar a los usuarios a realizar los ejercicios. Por último, se evidencia la necesidad que existe en desarrollar tecnologías modernas que sirvan de apoyo a los profesionales de la salud en el tratamiento de las diferentes patologías.

CAPÍTULO 4: DESARROLLO

En este capítulo se describen los pasos principales para llevar a cabo los tres juegos para la ejercitación de la mano en salud ocupacional.

4.1. Selección del sensor de captura de movimiento de la mano.

Primero se realizó una tabla teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de algunos sistemas no invasivos para la captura de movimiento de la mano cómo se puede apreciar en la Tabla 3, luego se revisan los requerimientos mínimos del proyecto como lo son la captura y detección de la muñeca, dedos, ángulos de movimiento, dirección, coordenadas de las dos manos y la portabilidad del sistema.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de sistemas no invasivos para la captura de movimiento de la mano. Fuente propia.

	LEAP MOTION	KINECT	OPENCV	KINECT 2
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene tres luces LED y dos infrarrojos. ✓ Dispositivo hecho para reconocer dedos y muñeca de la mano. ✓ Contiene la función de reconocimiento de gestos. ✓ Embebido en Computadores y tabletas (Unicase). ✓ Mejor precisión en captura de movimiento de las dos manos. ✓ Mas adecuado para juegos e interacción en y con el computador. ✓ Portátil de pequeño tamaño. ✓ Rango de interacción de 3 pies. ✓ Fácil integración con computadores y Oculus Rift. ✓ Resolución de movimiento de 1/100 mm. ✓ Debido a su alta resolución permite el reconocimiento de escritura y teclado virtual. ✓ No invasivo, permite interacción inalámbrica. ✓ una alta velocidad de fotogramas a una distancia de 6 cm. ✓ Puede reconocer si se esta sosteniendo algo y realizar seguimiento de este. ✓ Tiene soporte multiplataforma Windows, Linux y Mac OS X. ✓ El usuario puede estar de pie o sentado. ✓ Relativamente económico. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cámara RGB (640x480) y cámara de profundidad (320x240). ✓ Captura y seguimiento del esqueleto. ✓ Mas popular y adecuado para juegos de consola. ✓ Permite una interacción de 0,4 a 4,5 metros. ✓ Resolución de movimiento de 1,3mm. ✓ No invasivo, permite interacción inalámbrica. ✓ sus API permiten a los diseñadores de juego acceder a la información sobre la posición y la velocidad de las diferentes partes del cuerpo. ✓ Posee reconocimiento de vos. ✓ Seguimiento de hasta 2 personas . ✓ Fácil integración con computadores y Oculus Rift. ✓ Promueve el ejercicio y movimiento corporal. ✓ No invasivo, permite interacción inalámbrica. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Código abierto, optimizado y desarrollado para aplicaciones en tiempo real. ✓ No se pierde la calidad de la imagen. ✓ Estable en tiempo real . ✓ Se puede usar para una alta carga computacional. ✓ Tiene soporte para Android, linux, Mac Osx, IOS y Android. ✓ Tiene interfaces para C, C++, Java y Python. ✓ No invasivo, permite interacción inalámbrica. ✓ El usuario puede estar de pie o sentado. ✓ Fácil integración con computadores. ✓ Relativamente mas económico. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejor resolución cámara de color 1920x1080 y cámara de profundidad de 512x424. ✓ Permite reconocer hasta las arrugas de la ropa. ✓ Tiene visión nocturna. ✓ Reconoce la orientación de los huesos. ✓ Permite una interacción de 0,5 a 4,5 metros. ✓ Reconoce expresiones. ✓ Medición de frecuencia cardiaca. ✓ No invasivo, permite interacción inalámbrica. ✓ Posee reconocimiento de vos. ✓ Detección de dedos y muñecas. ✓ Seguimiento de hasta 6 personas. ✓ Detección de músculos . ✓ Fácil integración con computadores y Oculus Rift. ✓ Promueve el ejercicio y movimiento corporal.
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pequeña región de trabajo. ✓ Limitación en el reconocimiento de algunas posiciones de la mano. ✓ Posicionamiento incomodo. ✓ No se puede realizar seguimiento de todo el cuerpo. ✓ Debe estar localizado cerca del computador 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No funciona cuando se esta demasiado cerca. ✓ Solo se puede utilizar un sensor por ordenador. ✓ No tan portátil debido a su gran tamaño. ✓ Debe estar localizado cerca del computador . ✓ El usuario debe estar de pie . ✓ Se requiere Windows 7,8. ✓ Se necesita un espacio amplio y buena iluminación. ✓ No tiene detección de dedos y muñecas. ✓ Relativamente costoso. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es necesario calibrar y rectificar las cámaras . ✓ Mas difícil de integrar con otros dispositivos. ✓ Resolución depende de las cámaras. ✓ Tiempo de adquisición depende de las cámaras.. ✓ Se debe tener en cuenta la distancia entre una y otra cámara. ✓ Malos resultados en condiciones adversas (iluminación, posición y orientación). ✓ Malos resultados con pocas imágenes de entrenamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se necesitan 2 espacios USB para conectar al computador. ✓ Sensible a fuente infrarroja externa (luz solar). ✓ No puede detectar objetos cristalinos o muy reflectivos . ✓ Se requiere Windows 8.

Considerando que el ambiente de riesgo profesional más común se encuentra en el trabajo con computadores como se presenta en la Figura 22, la ejecución de pausas activas pueden ser ejecutadas varias veces durante la jornada laboral para reducir el riesgo de sufrir de desórdenes músculo esqueléticos [81]. De los dispositivos de captura revisados y tomando como requerimiento la precisión del dispositivo, que sea asequible, portátil con suficiente espacio para interactuar como se muestra en la Figura 23 y que a su vez fácil de usar e instalar, se decidió utilizar el sensor de captura Leap motion¹⁸ ya que es un sistema que se ajusta a los ejercicios de la mano que se desean monitorear. Así mismo, debido a su tamaño, a la inclusión del mismo en dispositivos de cómputo¹⁹ y al auge de este dispositivo como herramienta de interacción con gestos de mano de bajo costo, es una interfaz de usuario ampliamente utilizada y cuyas propiedades han sido objeto de estudio. Bachmann, Rudack y Fisseler (2013), estudiaron la robustez del sensor por medio de un robot industrial Kuka Robot KR 125/3, usando un escenario estático que permite la medición de la desviación máxima de una posición conocida con respecto al tiempo y uno dinámico que se utiliza para probar la posición exacta de un objeto en movimiento. Aunque no se logró una exactitud teórica de 0,01mm la precisión promedio fue de 0.7mm en lo que concluyeron que el Leap Motion ofrece el potencial de innovación para el desarrollo de muchas nuevas aplicaciones [82].

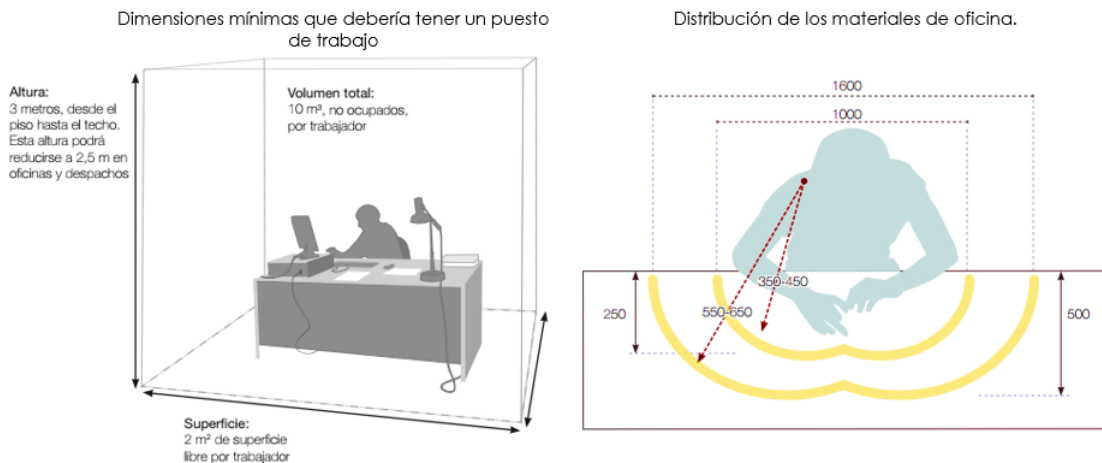


Figura 22. Espacio de trabajo.

¹⁸ Motion, L. (2016). *Leap Motion*. [online] Leapmotion.com. Available at: <https://www.leapmotion.com/> [Accessed 14 Jul. 2016].

¹⁹ Wwww8.hp.com. (2016). *HP Leap Motion Notebook, Desktop | HP® Colombia*. [online] Available at: <http://www8.hp.com/co/es/ads/envy-leap-motion/overview.html> [Accessed 14 Jul. 2016].

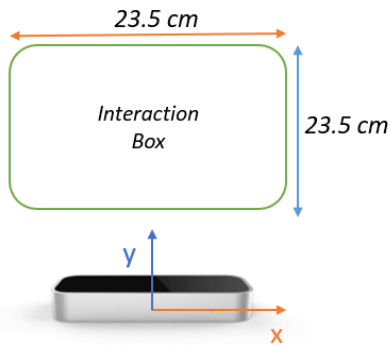


Figura 23. Espacio de interacción del Leap Motion.

4.2. Caracterización de movimientos

Primero se procede a caracterizar los ejercicios mencionados en los objetivos del proyecto como lo son:

- Flexión: Movimiento de flexión de la palma hacia abajo en dirección a la muñeca, el Angulo de flexión para una persona promedio es de 90 grados. Por lo tanto, se decide usar un rango de 90 a 60 grados aproximadamente para la detección del ejercicio en el prototipo.
- Extensión: Movimiento de elevación del dorso de la mano, el ángulo de extensión para una persona promedio es de 90 grados. Por tanto, se decide usar un rango de 90 a 60 grados aproximadamente para la detección del ejercicio en el prototipo.
- Abducción: También conocida como flexión cubital, es el movimiento de flexión de la muñeca hasta el dedo meñique o hueso cubital, el ángulo de flexión para una persona promedio es de 30 grados. Por tanto, se decide usar un rango de 30 a 10 grados aproximadamente para la detección del ejercicio en el prototipo.
- Aducción: También conocida como flexión radial, es el movimiento de flexión de la muñeca hacia el pulgar o hueso radial, el ángulo de flexión para una persona promedio es de 20 grados. Por tanto, se decide usar un rango de 20 a 10 grados aproximadamente para la detección del ejercicio en el prototipo.
- Apreensión: Dedos flexionados, el ángulo de flexión para una persona promedio es de 100 grados. Por tanto, se decide usar un rango de 100 a 85 grados aproximadamente para la detección del ejercicio en el prototipo.

Cada uno de estos movimientos debería realizarse al menos diez veces [83] y tienen como propósito prevenir lesiones producidas en la muñeca en las pausas activas en salud ocupacional. A continuación, se muestra en la Figura 24 la caracterización de los ejercicios anteriormente mencionados.

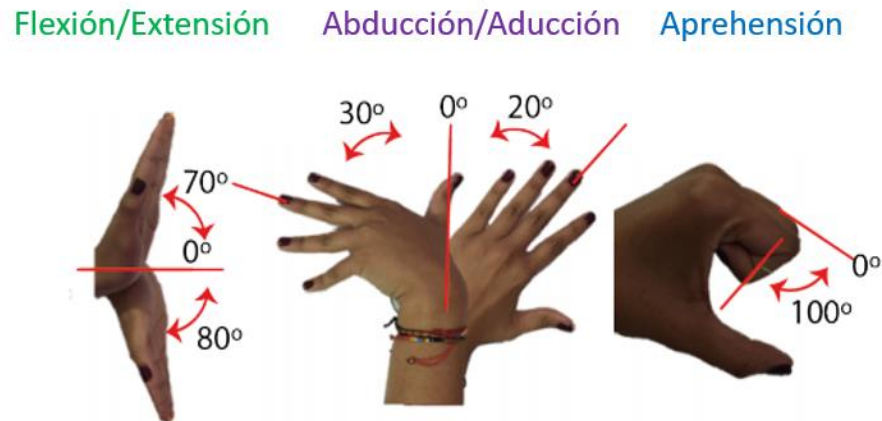


Figura 24. Caracterización de los ejercicios Flexión/Extensión, Abducción/Aducción y aprehensión de la mano.

4.3. Selección de los Software a utilizar

Para realizar los juegos es necesario el implementar un software para la simulación, uno para la construcción de los personajes o elementos de juego y otro para exportar los personajes y/o elementos al software de simulación. Para seleccionar el software de simulación además de considerar la compatibilidad con el sensor a usar en este caso el Leap Motion, se compararon los softwares para desarrollar juegos más populares como se observa en el Apéndice E y se escoge el software Unity debido a su multiplataforma, compatibilidad con dispositivos de realidad virtual y su simplicidad en el flujo de trabajo en el desarrollo del juego, lo que lo convierte en una herramienta fácil de usar e implementar. Luego para la selección del software para la construcción de personajes o elementos de juego en 3D se comparan tres softwares como se aprecia en el Apéndice F y se selecciona el software Solidworks herramienta que permite crear piezas y elementos de forma paramétrica, fácil, con la herramienta de ensamble de componentes y con cuenta con la opción de trasladar los diseños de este al software de acople con el software de diseño. Por último se escoge el software Blender después de comparar algunos softwares como se muestra en el Apéndice G, ya que este software es fácil de usar,

liviano, de libre uso comercial y cumple con los requerimientos de acople entre el software de diseño y el de simulación.

4.4. Caracterización del sensor de captura de movimiento

En segundo lugar se realiza la captura de la información, como se implementa el software Unity se descargan los Assets de la página oficial del Leap motion y se incorporan en el proyecto, posteriormente se procede a usar el controlador Leap motion , se capturan los datos de la posición, dirección y magnitud de cada una de las falanges de los dedos de la mano. Usando el sistema de coordenadas del Leap motion como se muestra en la Figura 25.

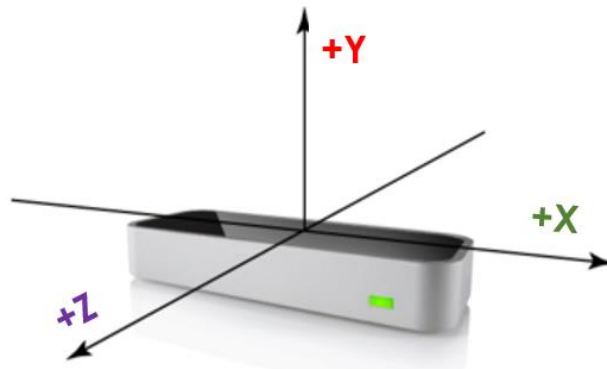


Figura 25. Sistema de coordenadas de Leap Motion Controller.²⁰

Con respecto al sistema de coordenadas como lo muestra la Figura 26 se definen los ángulos a utilizar y para tener certeza de que los ángulos correspondieran a su respectivo eje, se realizaron movimientos de rotación en todos los ejes, visualizando los grados de movimiento y si variaba este valor cuando se rotaba la mano en ángulo de rotación correspondía a ese eje. Para detectar que se realicen los ejercicios en este caso se usara el ángulo Roll para la detección de los movimientos de flexión/ extensión, aprehensión y el ángulo Pitch para los movimientos de abducción/ aducción.

²⁰ Developer.leapmotion.com. (2016). *Coordinate Systems — Leap Motion C# SDK v3.1 documentation*. [online] Available at: https://developer.leapmotion.com/documentation/csharp/devguide/Leap_Coordinate_Mapping.html [Accessed 25 Jun. 2016].

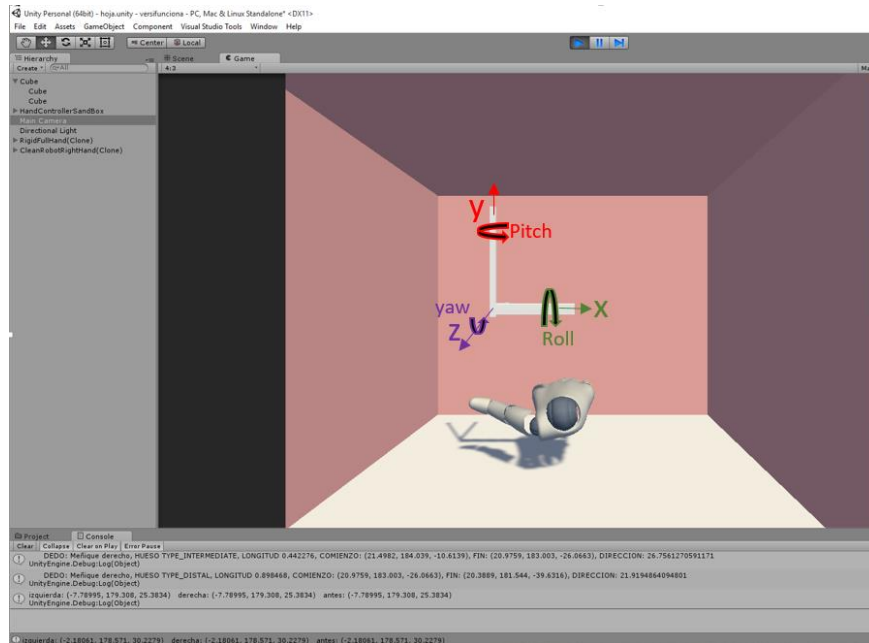


Figura 26. Ángulos del sistema de coordenadas.

4.5. Diseño de los entornos de RV

Para el desarrollo del aplicativo se escogió herramienta para desarrollo el motor para desarrollo de videojuegos Unity3D²¹. Unity3D permite de forma gratuita generar aplicaciones fáciles de programar, disponibles en varias plataformas, tiene detección de colisiones sin usar las matemáticas, usa varios lenguajes de programación y se puede hacer casi cualquier ambiente virtual que se tenga en mente.

Para la integración de LeapMotion con Unity3D, los fabricantes del sensor disponen de un plugin²² que permite el acceso a la información del esqueleto virtual de la mano cómo se presenta en la Figura 27.

²¹ Unity3d.com. (2016). *Unity - Game Engine*. [online] Available at: <https://unity3d.com/es> [Accessed 15 Jul. 2016].

²² Developer.leapmotion.com. (2016). *Leap Motion Unity Assets and Plugin — Leap Motion Unity SDK v3.1 documentation*. [online] Available at: <https://developer.leapmotion.com/documentation/unity/index.html> [Accessed 15 Jul. 2016].

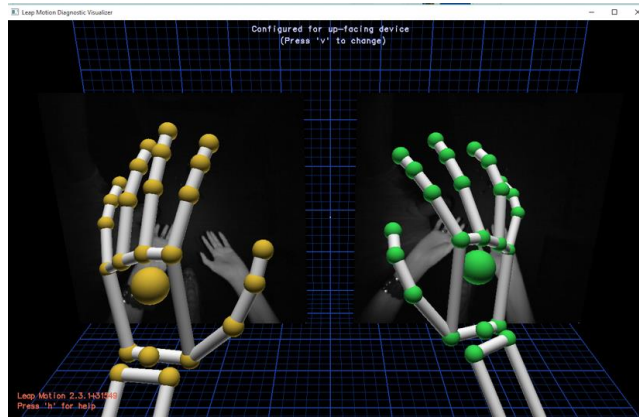


Figura 27. Plugin del Leap Motion visualización del esqueleto de la mano.

El aplicativo de diseño de forma modular que permite al usuario interactuar con un ambiente generado por computador a través de los movimientos de sus manos. El aplicativo se compone de tres escenarios que proveen actividades interactivas que presentan objetivos claros estructurados bajo los principios de ejercitación. Cada escenario se diseñó en forma de exergames para motivar a los usuarios a utilizarlos como herramienta complementaria de ejercitación para la reducción de riesgos de sufrir de desórdenes músculo esqueléticos.

Cada juego tiene sus diferentes entradas y salidas como se presenta en la Tabla 4 y un diagrama de flujo que explica el paso a paso del juego en su ejecución como se aprecia en la Figura 28, Figura 29 y la Figura 30.

Tabla 4. Entradas y salidas de las aplicaciones.

Juegos	I/O	Entradas	Salidas
El juego 1 (Extensión/Flexión)		Angulo de movimiento Roll de los dedos de la mano	Retroalimentación visual en el movimiento del personaje, puntos y mejor desempeño en el juego en grados
El juego 2 (Abducción/Aducción)		Angulo de movimiento Pitch de la muñeca	Retroalimentación visual en el movimiento del personaje, puntos y mejor desempeño en el juego en grados
El juego3 (Aprehensión)		Angulo de movimiento Roll de los dedos y movimiento de la mano	Retroalimentación visual del movimiento de las manos, puntos y mejor desempeño en el juego en grados

4.5.1. Juego 1

El primer juego tiene como escenario un lago a mitad de un bosque en el cual habita una familia de patos. El personaje principal trata de un pato que desea encontrarse con su familia y para ello cuenta con 80 segundos en los que el usuario debe ejecutar de forma correcta el movimiento de flexión/ extensión, recolectar las monedas, pasar a través de los puntos de chequeo y llegar hasta la meta antes de que el tiempo se acabe para encontrar a su familia o de lo contrario el usuario perderá. Los parámetros de movimiento y tiempo fueron ajustados con base en guías de ejercitación y asesorías con expertos del cuidado de la salud ocupacional. La realimentación se realiza a través de la pantalla final cuando el usuario ha completado el juego en esta se muestran los resultados obtenidos tanto en la puntuación como su mejor movimiento realizado que se genera al comparar todos los datos capturados desde el momento en el que inicia el juego hasta que se acaba, cuando el sensor captura un dato mejor, el anterior se borra y el nuevo dato se compara con los datos siguientes, para así conservar el mejor dato y descartar los demás datos.

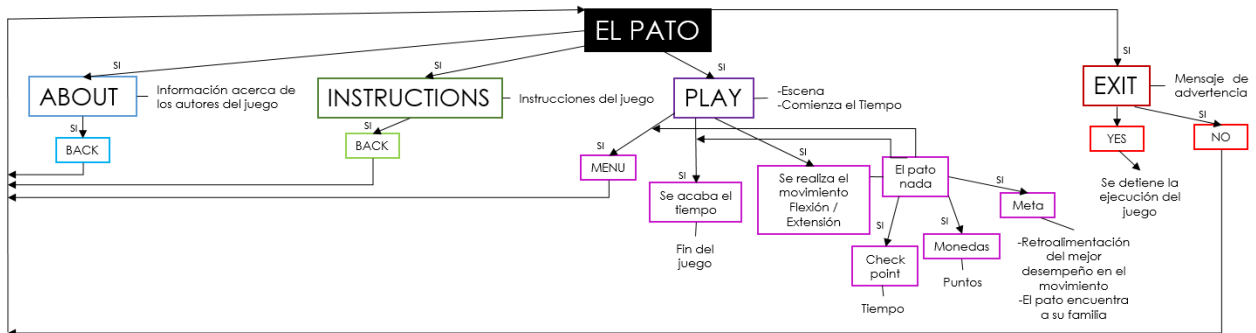


Figura 28. Diagrama de flujo del juego 1.

4.5.2. Juego 2

El segundo juego tiene como escenario un pantano a mitad de un bosque en el cual habita una familia de insectos en la basura. El personaje principal trata de un sapo que desea encontrar alimento y para ello cuenta con 80 segundos en los que el usuario debe ejecutar de forma correcta el movimiento de abducción/ aducción, recolectar las monedas, pasar a través de los puntos de chequeo y llegar hasta la meta antes de que el tiempo se acabe para encontrar su comida o de lo contrario el usuario perderá. Los parámetros de movimiento y tiempo fueron ajustados con base en guías de ejercitación y asesorías con expertos del cuidado de la salud

ocupacional. La realimentación se realiza a través de la pantalla final cuando el usuario ha completado el juego en esta se muestran los resultados obtenidos tanto en la puntuación como su mejor movimiento realizado que se genera al comparar todos los datos capturados desde el momento en el que inicia el juego hasta que se acaba, cuando el sensor captura un dato mejor, el anterior se borra y el nuevo dato se compara con los datos siguientes, para así conservar el mejor dato y descartar los demás datos.

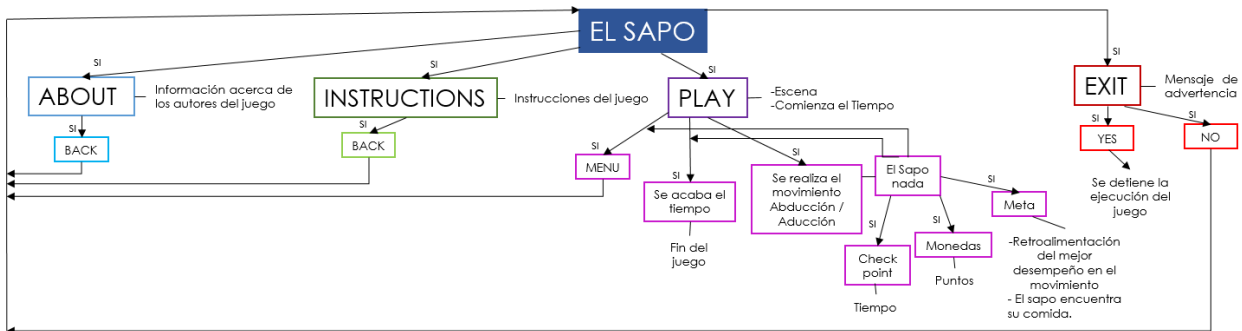


Figura 29. Diagrama de flujo del juego 2.

4.5.3. Juego 3

El tercer juego tiene como escenario un laboratorio químico. El usuario interactúa con sus manos y para ello cuenta con 160 segundos para recoger todos los químicos marcados con una letra L(izquierda) o R(derecha) que define con que mano deben ser depositados (sin soltarlos) en el contenedor que corresponda al color del químico, cada vez que un químico sea depositado correctamente en el contenedor el usuario ganara 20 puntos, cuando se llegue a un total de 360 puntos sin que el tiempo se halla acabado se ganara el juego. Los parámetros de movimiento y tiempo fueron ajustados con base en guías de ejercitación y asesorías con expertos del cuidado de la salud ocupacional. La realimentación se realiza a través de la pantalla final cuando el usuario ha completado el juego en esta se muestran los resultados obtenidos tanto en la puntuación como su mejor movimiento realizado que se genera al comparar todos los datos capturados desde el momento en el que inicia el juego hasta que se acaba, cuando el sensor captura un dato mejor, el anterior se borra y el nuevo dato se compara con los datos siguientes, para así conservar el mejor dato y descartar los demás datos.

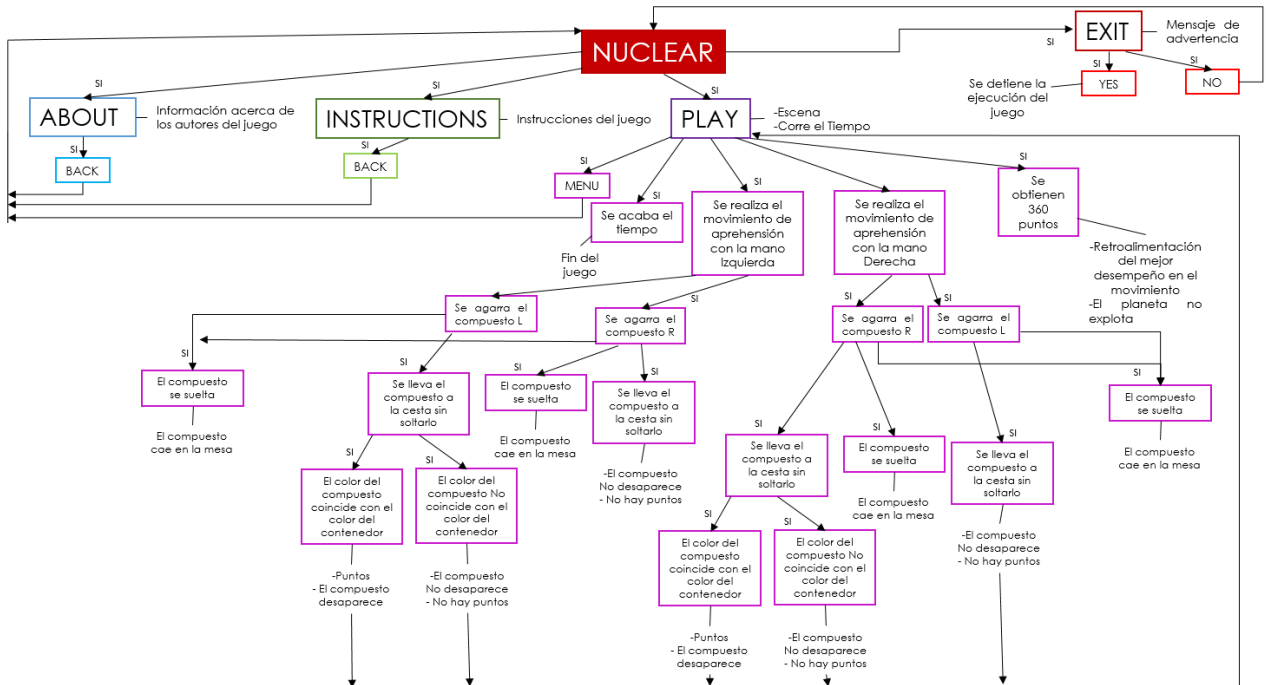


Figura 30. Diagrama de flujo del juego 3.

4.6. Elementos formales de los juegos

Para el diseño de los juegos se tienen en cuenta los elementos formales de los juegos que se muestran a continuación en las Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7 con el objetivo de que los juegos estén bien estructurados y así el jugador interactúe de forma ordenada con los elementos para que cumpla el objetivo del juego.

4.6.1. Juego 1

Tabla 5. Elementos formales del juego 1.

TIPO DE JUGADOR	No se tienen restricciones. Interacciones basadas en rangos de movimiento promedio de la mano. Para personas con limitaciones, los rangos pueden ser ajustados desde el Código fuente del juego.
PROCESO	Por medio del sensor Leap Motion se captura el movimiento de la mano (flexión y extensión), el cual resulta en interacciones con el entorno virtual a través del control de las patas del pato que permiten al personaje nadar.

OBJETIVOS	Alcanzar la meta recolectando los otros patos dispersos en el lago dentro de un límite de tiempo de 80 segundos.
REGLAS	<ul style="list-style-type: none"> • El personaje se mueve (nada) cuando la persona realiza el movimiento de flexión con una mano, con la otra el de extensión y luego realiza el movimiento contrario con cada mano, si se estaba realizando extensión esta mano pasa a flexión y viceversa. • Existe un tiempo límite para completar el juego. • Si no se gana el juego no aparecerá el valor del mejor desempeño de los movimientos. • La recolección de monedas resulta cuando el personaje colisiona con la moneda esta se desaparece. • La llegada a la meta resulta en la pantalla final. • Cuando se acaba el tiempo aparece la pantalla de Gameover. • Cuando no se ejecutan los movimientos dentro del rango configurado para el ejercicio el personaje no se mueve. • Los checkpoints permiten obtener tiempo.
RECURSOS	<ul style="list-style-type: none"> • Monedas: Estas proveen puntos que permiten motivar al usuario en la ejecución del juego. • Tiempo: Este recurso va en disminución desde que la partida inicia, a través de los checkpoints, se pueden recuperar 20 segundos. • Visualización de los movimientos en forma de movimiento del personaje.
CONFLICTO	<ul style="list-style-type: none"> • El juego tiene un límite de tiempo y si se acaba este el usuario pierde y debe reiniciar el juego.
LIMITES	El juego está limitado por el tiempo y las dimensiones del escenario.
DESENLAJE	El juego finaliza cuando el jugador recoge todas las monedas y llega a la meta encontrándose con su familia dentro del tiempo esperado.

4.6.3. Juego 2

Tabla 6. Elementos formales del juego 2.

TIPO DE JUGADOR	No se tienen restricciones. Interacciones basadas en rangos de movimiento promedio de la mano. Para personas con limitaciones, los rangos pueden ser ajustados desde el código fuente del juego.
PROCESO	Por medio del sensor Leap Motion se captura el movimiento de la mano (abducción y aducción), el cual resulta en interacciones con el entorno virtual a través del control de las patas del sapo que permiten al personaje nadar.
OBJETIVOS	Alcanzar la meta recolectando la comida en el pantano dentro de un límite de tiempo de 80 segundos.
REGLAS	<ul style="list-style-type: none"> • El personaje se mueve (nada) cuando la persona realiza el movimiento de abducción con una mano, con la otra el de aducción y luego realiza el movimiento contrario con cada mano, si se estaba realizando aducción esta mano pasa a abducción y viceversa. • Existe un tiempo límite para completar el juego.

	<ul style="list-style-type: none"> • Si no se gana el juego no aparecerá el valor del mejor desempeño de los movimientos. • La recolección de monedas resulta cuando el personaje colisiona con la moneda esta se desaparece. • La llegada a la meta resulta en la pantalla final. • Cuando se acaba el tiempo aparece la pantalla de Gameover. • Cuando no se ejecutan los movimientos dentro del rango configurado para el ejercicio el personaje no se mueve. • Los checkpoints permiten obtener tiempo.
RECURSOS	<ul style="list-style-type: none"> • Monedas: Estas proveen puntos que permiten motivar al usuario en la ejecución del juego. • Tiempo: Este recurso va en disminución desde que la partida inicia, a través de los checkpoints, se pueden recuperar 20 segundos. • Visualización de los movimientos en forma de movimiento del personaje.
CONFLICTO	<ul style="list-style-type: none"> • El juego tiene un límite de tiempo y si se acaba este el usuario pierde y debe reiniciar el juego
LIMITES	El juego está limitado por el tiempo y las dimensiones del escenario.
DESENLACE	El juego finaliza cuando el jugador recoge todas las monedas y llega a la meta encontrándose con su alimento dentro del tiempo esperado.

4.6.3. Juego 3.

Tabla 7. Elementos formales del juego 3.

TIPO DE JUGADOR	No se tienen restricciones. Interacciones basadas en rangos de movimiento promedio de la mano. Para personas con limitaciones, los rangos pueden ser ajustados desde el código fuente del juego.
PROCESO	Por medio del sensor Leap Motion se captura el movimiento de la mano (aprehensión), el cual resulta en interacciones con el entorno virtual a través del control de las patas del sapo que permiten al personaje nadar.
OBJETIVOS	Alcanzar la meta recolectando los compuestos dispersos en el laboratorio dentro de un límite de tiempo de 160 segundos.
REGLAS	<ul style="list-style-type: none"> • Si el compuesto tiene la letra R debe ser depositado (sin soltar) por la mano derecha. • Si el compuesto tiene la letra L debe ser depositado (sin soltar) por la mano izquierda. • Cada vez que se deposite un compuesto (sin soltar) se debe acercar la mano y colocarla cerca, encima del contenedor y realizando el movimiento de aprehensión. • Solo se desaparecerá el compuesto si está en el contenedor adecuado; para compuesto amarillo el contenedor amarillo, para compuesto azul el contenedor azul y para compuesto rojo el contenedor rojo.

	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se recolecten todos los compuestos en sus respectivos contenedores y estos desaparezcan se ganará el juego • Existe un tiempo límite para completar el juego. • La llegada a la meta resulta en la pantalla final. • Cuando se acaba el tiempo aparece la pantalla de Gameover.
RECURSOS	<ul style="list-style-type: none"> • Al depositar (sin soltar) un compuesto en sus respectivos contenedores se obtendrán 20 puntos • Tiempo: Este recurso va en disminución desde que la partida inicia • Visualización de los movimientos en forma de movimiento del personaje.
CONFLICTO	<ul style="list-style-type: none"> • El juego tiene un límite de tiempo y si se acaba este el usuario pierde y debe reiniciar el juego
LIMITES	El juego está limitado por el tiempo y las dimensiones del escenario.
DESENLAZADO	El juego finaliza cuando el jugador recoge todos los compuestos y estos desaparecen dentro del tiempo esperado.

4.7. Arquitectura del sistema

A partir de la caracterización de la mano, los ejercicios, el sensor y las mecánicas de los juegos, el siguiente paso es proponer una arquitectura de sistema que tome esta información y la procese a través de diferentes subsistemas que permitan al usuario realizar los ejercicios y enfocar su atención a la tarea que se le presenta. La arquitectura del sistema se compone de agentes que intervienen y no intervienen directamente en la ejecución del juego:

Tabla 8. Arquitectura del sistema agentes de juego.

Agentes que intervienen en la ejecución del juego	Agentes que no intervienen directamente en la ejecución del juego
<ul style="list-style-type: none"> • Usuario (User). • Dispositivos (Device): consisten en el Leap Motion y computador con mouse. • Interfaz gráfica de usuario (GUI): compuesta por la simulación del juego con su menú, la configuración previa (código en c#), puntaje y la revisión de los datos obtenidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Especialista de la salud (Health care specialist).

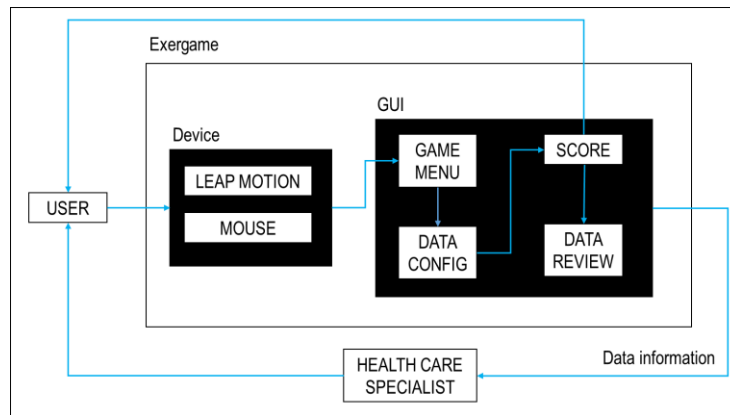


Figura 31. Arquitectura de los juegos.

4.8. Diseño de los personajes de los juegos

Una vez definida la trama de los tres juegos se prosigue a realizar los personajes con los que va a interactuar el usuario teniendo en cuenta los ejercicios a realizar, la complejidad de los personajes, como puede esta afectar los cuadros por segundo y que tengan relación con la trama.

4.8.1. Juego 1.

Para el primer juego se decide hacer un pato ya que se observa el movimiento de las patas del pato al nadar pareciera que las extiende y flexiona. Este personaje consta de tres piezas el cuerpo, las piernas y las patas todas diseñadas en el software Solidworks como se aprecia en la Figura 32 (a), luego se exporta en el software Blender. Figura 32(b) y para realizar la animación que corresponde a imitar el movimiento de patas primero se realiza un esqueleto del personaje como se muestra en la Figura 32 (c) y por medio de una herramienta de animación se mueve el esqueleto hasta obtener el movimiento deseado para el juego en este caso que el pato nade Figura 32 (d).

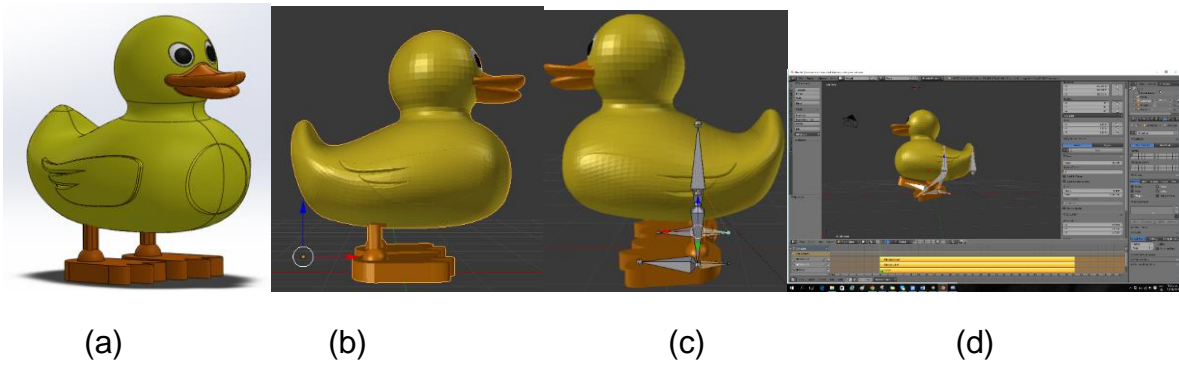


Figura 32. Personaje pato.

Por consiguiente se procede a exportar el personaje al software Unity en formato .fbx y allí se usa la herramienta animator en la que se incorpora la animación realizada y se definen las variables que controlan la activación de la misma como se puede apreciar en Figura 33 y la Figura 34.



Figura 33. Pato en Unity.

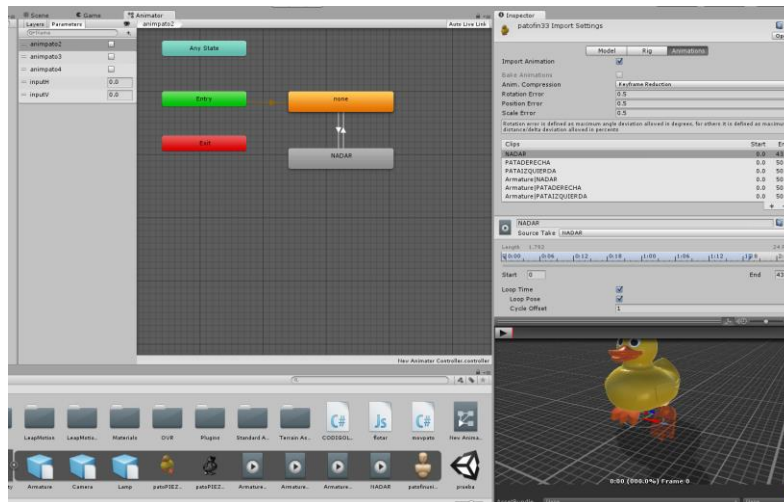


Figura 34. Animación del pato en el software Unity.

4.8.2. Juego 2.

Para el segundo juego se decide utilizar un sapo, animal que al nadar mueve sus manos de adentro hacia afuera en lo que parece el movimiento de abducción y

aducción, este personaje consta de una pieza hecha en el software Blender como se aprecia en la Figura 35 (a), para realizar la animación que corresponde a imitar el movimiento de patas primero se realiza un esqueleto del personaje como se muestra en la Figura 35 (b) y por medio de una herramienta de animación se mueve el esqueleto hasta obtener el movimiento deseado para el juego, en este caso que el sapo nade Figura 35 (c).

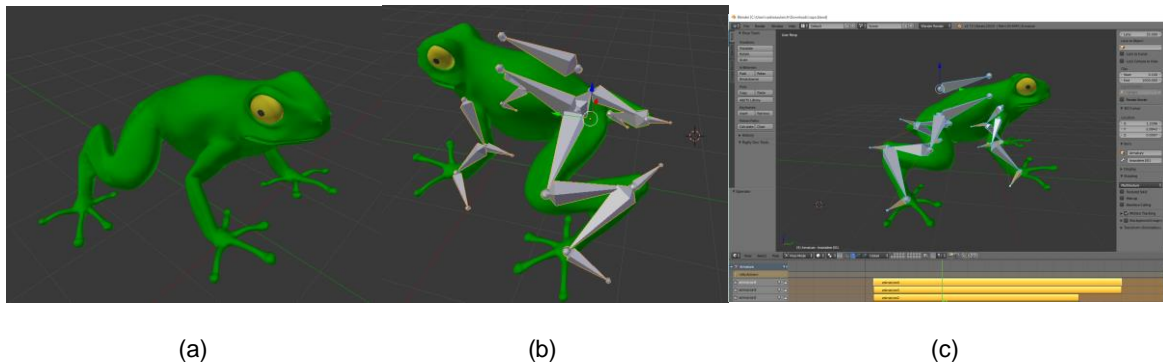


Figura 35. Personaje sapo.

Luego se procede a exportar el personaje al software Unity en la carpeta Assets como se aprecia en la Figura 36 y allí se emplea la herramienta animator en la que se incorpora la animación realizada y se definen las variables que controlan la activación de la misma como se puede apreciar en Figura 37.



Figura 36. Sapo en Unity.

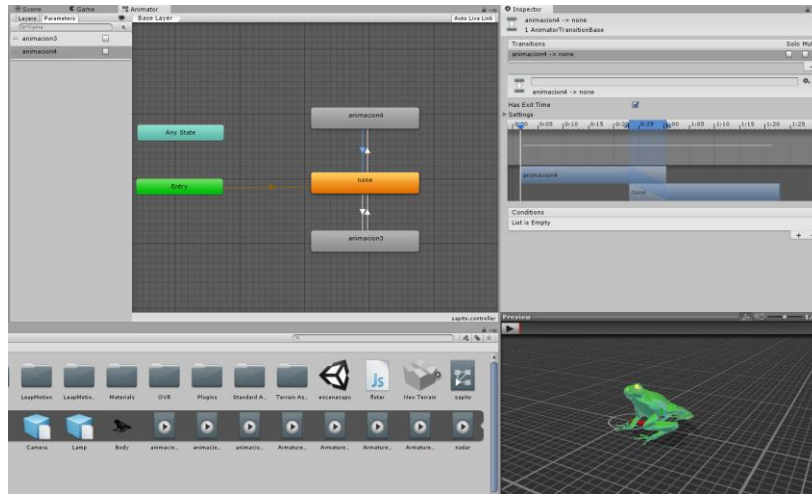


Figura 37. Animación del sapo en el software Unity.

4.8.3. Juego 3.

Para el tercer y último juego se usaran las manos que se encuentran en el asset Leap motion en la carpeta prefabs, subcarpeta HandModelsNomhuman y se seleccionan las manos llamadas GlowRobot como se observa en la Figura 38. Permittedle al usuario interactuar directamente con los objetos del juego, moverlos, agarrarlos y visualizar cada movimiento. En el Anexo A se pueden observar otros tipos de mano disponibles en la librería.



Figura 38. Mano GlowRobot de la librería prefabs del Asset del Leap Motion.

4.9. Diseño de los escenarios de los juegos

Se diseñan los entornos para que el usuario interactúe con los personajes en el software Unity.

4.9.1. Juego 1.

Para la escena del juego Extensión / Flexión se crea un terreno considerando el entorno y los sistemas de control del juego, se insertan los árboles, el pasto, el agua, las monedas, el checkpoint, la meta, el pato y su familia como se muestra en la Figura 39.



Figura 39. Escenario del juego1 (pato).

4.9.2. Juego 2.

Para este juego en el que se desarrolla el movimiento de abducción/ aducción se crea un terreno considerando el entorno y los sistemas de control del juego, se insertan los árboles, el pasto, el agua, las monedas, el checkpoint, la meta, el sapo y su alimento como se muestra en la Figura 40.

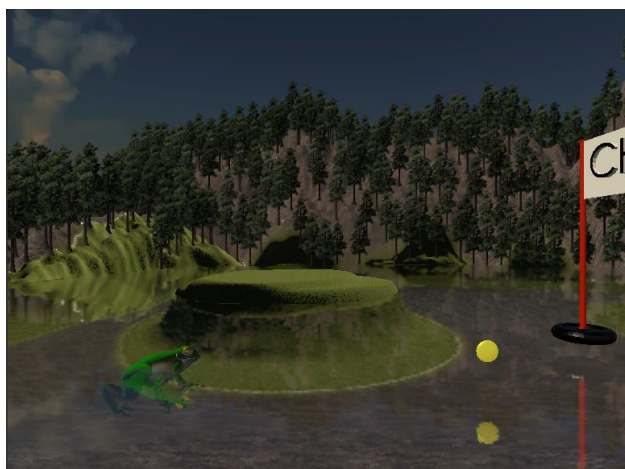


Figura 40. Escenario del juego 2 (sapo).

4.9.3. Juego 3.

En cuanto al tercer juego el diseño es algo diferente se utilizan las manos que se observan en la Figura 38 para la interacción del usuario con el juego, se implementan unos contenedores (cestas Figura 41) para almacenar compuestos químicos (cubos Figura 42) de acuerdo a su color, teniendo presente la letra escrita en el compuesto que puede ser la L para mano izquierda y la R para mano derecha.



Figura 41. Contenedores de los compuestos químicos.

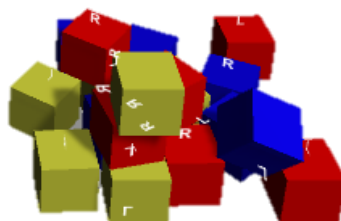


Figura 42. Compuestos químicos.

Además, cuando el usuario va a almacenar el compuesto con la mano y en la cesta correcta deje ejecutar el movimiento de aprehensión para acumular puntos, el objetivo es recolectar todos los compuestos que se muestran en la escena en la Figura 43 antes de que se acabe el tiempo para ganar y si el usuario gana se procede a mostrar una retroalimentación del valor aproximado del mejor movimiento realizado a lo largo de la ejecución del juego.



Figura 43. Escena del juego 3 (nuclear).

4.10. Diseño del menú de los juegos

Al empezar todos los juegos va a aparecer una portada con cuatro opciones jugar, instrucciones, salir y datos sobre el juego como se muestra en la Figura 44. Si el usuario da click en play (jugar) el juego correspondiente iniciará, si realiza el click en instructions (instrucciones) aparecerá un recuadro como el que se aprecia en la Figura 45, si se da click en exit (salir) se mostrara un mensaje como el de la Figura 46 y por último si se realiza click en about (información sobre el juego) como se enseña en la Figura 47.



Figura 44. Portada de las aplicaciones.



Figura 45. Instrucciones de las aplicaciones.

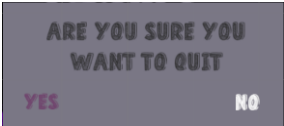


Figura 46. Mensaje para salir de la aplicación.

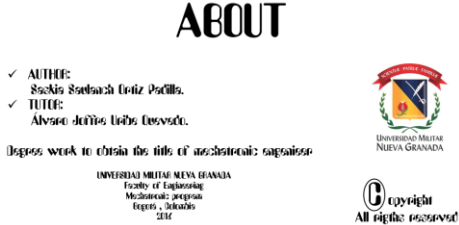


Figura 47. Información sobre el juego.

4.11. Captura de movimiento en los juegos.

Se usa el Leap Motion para capturar el movimiento de la mano y se realiza un código para extraer los datos de interés que para el caso del juego del pato es el ángulo de movimiento de los dedos con respecto al eje X y para el caso del sapo es el ángulo de movimiento de la muñeca con respecto al eje Y y se colocan los condicionales para que cuando el usuario realice un movimiento de forma correcta con una mano y el movimiento contrario con la otra el personaje se desplace, intercepte las monedas y llegue a la meta antes de que el tiempo se acabe y el usuario pierda el juego. Por el contrario, si el usuario gana se mostrará un valor aproximado del mejor movimiento realizado a lo largo de la ejecución del juego.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

En este Capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la validación de los tres juegos desarrollados para el cuidado de la mano.

Se realizaron dos sesiones experimentales. La primera sesión se realizó principalmente para sintonizar el desarrollo de la base de juegos. En la siguiente sesión se centró en la recopilación de datos con el fin de evaluar cómo los usuarios evaluaron las aplicaciones.

5.1. Configuración experimental

El controlador Leap Motion (LMC) se ubicó entre el portátil y el sujeto en la misma superficie de la portátil, mirando hacia arriba a aproximadamente unos 12 cm de distancia de la portátil.

En frente del computador se colocó una silla con un asiento que permitiría a los sujetos se extienden sus brazos con las manos por encima del sensor Leap Motion, manteniendo una distancia entre este y las manos de al menos 10 cm.

Se probaron dos configuraciones diferentes para el posicionamiento de los brazos. La primera el usuario mantiene sus brazos por encima del sensor sin ningún tipo de apoyo como se aprecia en la Figura 48 se realizó en el laboratorio de realidad virtual de la Universidad Militar Nueva Granada.

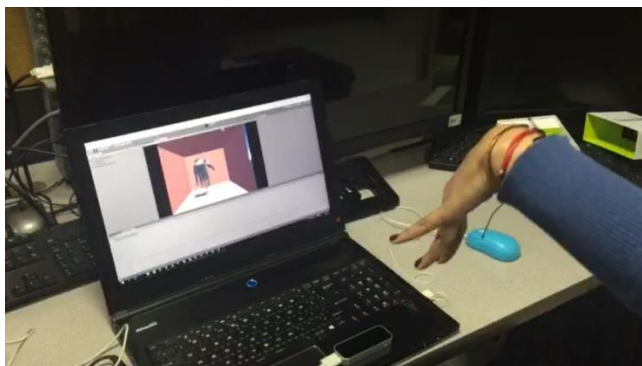


Figura 48. Montaje experimental con el Leap Motion.

En la segunda configuración se añadió una almohada bajo el antebrazo, como soporte Figura 49. El objetivo de estas configuraciones es que el usuario mantenga sus antebrazos lo más recto posible, moviendo sólo las muñecas para jugar. Además, la segunda configuración ayuda a reducir el esfuerzo de los hombros en el usuario. Se optó por usar la primera configuración para los juegos 1 y 3 y la segunda configuración para el juego 2 ya que existe un cabezal que se utiliza con frecuencia en la terapia física, por lo que es fácil encontrar uno en una unidad dedicada .



Figura 49. Montaje experimental con el cojín.

El objetivo de la primera sesión experimental fue obtener una primera respuesta que validara el diseño con respecto a la experiencia de los sujetos. Antes de realizar la primera sesión, primero se prueba la captura del movimiento como se aprecia en la Figura 50 y la Figura 51 y posteriormente se prueba el juego del pato y se realiza una encuesta que se presentó a un grupo de diez personas entre las cuales habían siete estudiantes trabajando con ordenadores en un laboratorio de realidad virtual para medir su percepción de utilizar los juegos y el seguimiento del movimiento para promover la salud que se aprecia en el Apéndice B. Se solicitó a los participantes iniciar el juego, explorar el lago, y llegar a la meta. Los resultados preliminares indican que los usuarios encuentran útil el juego y les motiva a realizar y completar sus ejercicios. Los participantes también manifestaron que el hardware era asequible y adecuado para otras aplicaciones.

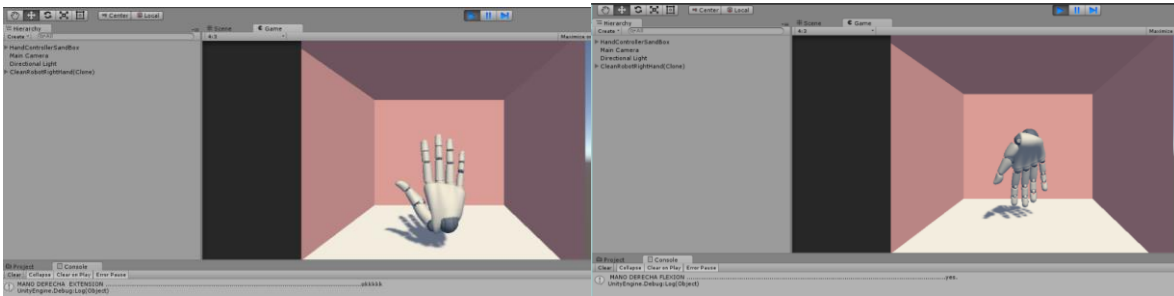


Figura 50. Detección del movimiento Flexión//extensión de la mano derecha.

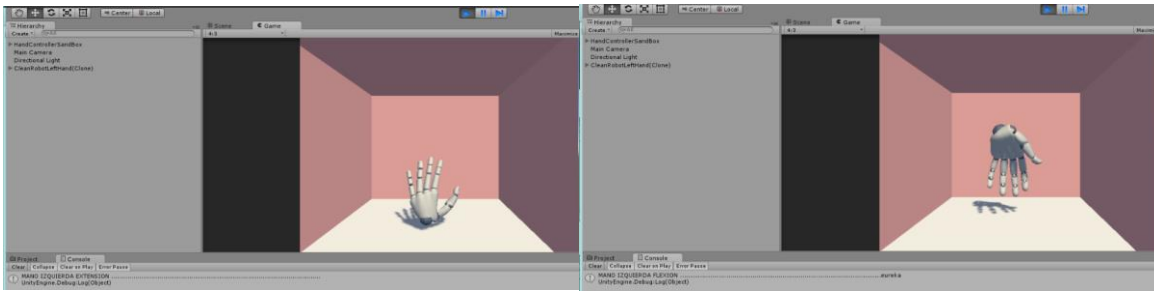


Figura 51. Detección del movimiento Flexión//extensión de la mano izquierda.

En la segunda sesión experimental se prueban los tres juegos desde el menú de inicio hasta que se gane o pierda y se realiza otra encuesta a 15 usuarios la mayoría adultos considerando que algunas enfermedades como por ejemplo el síndrome del túnel carpiano generalmente se produce en los adultos. [20] como se observa en el Apéndice C, el juego que más dificultad les causó a los usuarios es el del sapo.

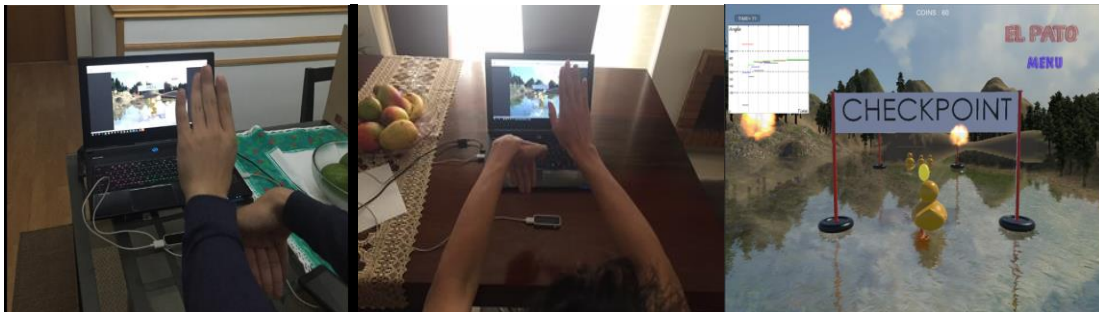


Figura 52. Sesión dos pato.

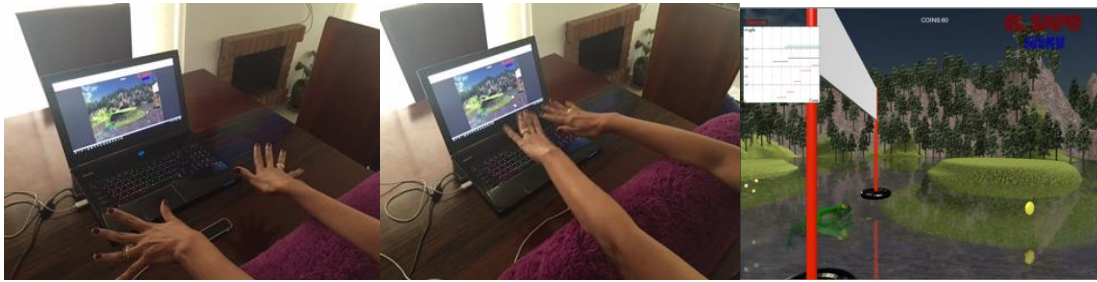


Figura 53. Sesión dos sapo.

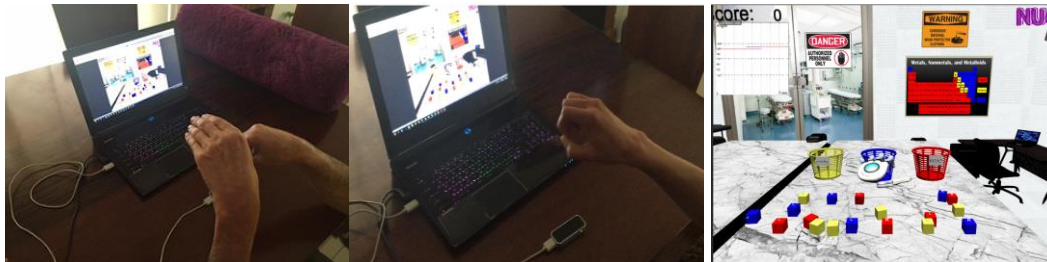


Figura 54. Sesión dos nuclear.

5.2. Retroalimentación de los Usuarios

La respuesta de los encuestados después de probar los juegos fue positiva; en particular, el sistema de puntuación añade un factor de desafío los motiva a concentrarse más en cada ejercicio. Surgiendo algunas adicciones y cambios que han hecho los juegos más atractivos. Como por ejemplo, en la primera sesión se detectó que todos los estudiantes no perfeccionaban el movimiento dentro del primer rango estipulado así que para la segunda sesión se amplió este rango y disfrutaron más de los ejercicios, expresando la facilidad que es ejercitar las manos a través de este tipo de juegos. El 71% de los encuestados están totalmente de acuerdo que con el prototipo se incrementara el interés de las personas en realizar estos ejercicios para prevenir los trastornos músculo esqueléticos y en cuanto al aspecto más atractivo del prototipo el 50% de los encuestados opino que el ser interactivo.

Los usuarios estaban haciendo sin quejarse, los mismos ejercicios que encuentran aburridos y difíciles durante la terapia física estándar. El nivel de atención requerido por el juego, el sistema de puntos, la meta y el nivel de entretenimiento creado por el juego en sí, superó la fatiga inducida por realizar el ejercicio. Esta puede ser la respuesta más importante ya que se evalúa la utilidad de los juegos y la bondad de

los mismos. El 100% de los encuestados preferiría realizar los ejercicios de esta forma en vez de la convencional.

Al finalizar cada juego, si el usuario gana se presenta un valor aproximado del mejor desempeño que tuvo este al realizar el movimiento, todo esto para que se determine cuán bueno fue el desarrollo que tuvo durante el juego y así poder examinar a futuro o con un especialista la condición de la persona. En la Figura 55 se aprecia que la persona tuvo un mejor desempeño realizando el movimiento de flexión que el de extensión a lo largo del juego, en la Figura 56 se observa que el movimiento de Abducción tuvo un mejor desempeño ya que estuvo cerca del mejor resultado que es de 20 grados, aunque su movimiento de aducción es cercano al de una persona convencional que es de 30 grados. Por último en el juego nuclear se concluye que la persona tiene un buen desempeño para realizar en movimiento en sus dos manos como se muestra en la Figura 57.



Figura 55. Datos capturados en la ejecución del juego el pato.

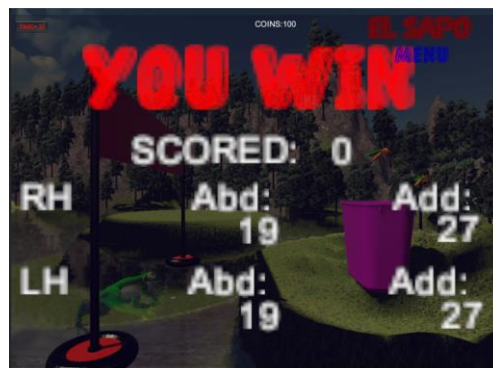


Figura 56. Datos capturados en la ejecución del juego el sapo.

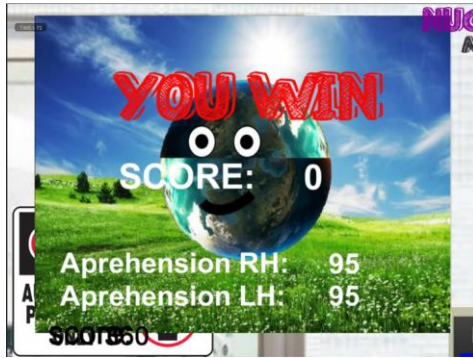


Figura 57. Datos capturados en la ejecución del juego nuclear.

Se realizan varias tablas en donde enseñan los datos obtenidos en la ejecución del juego Vs los datos de una persona promedio con su respectiva gráfica como se muestra a continuación en la Tabla 9 para el movimiento de flexión.

Tabla 9. Análisis movimiento de flexión.

	Flexión	
	valor promedio	Mejor valor obtenido
Mano derecha	60° - 90°	79°
Mano izquierda	60° - 90°	79°

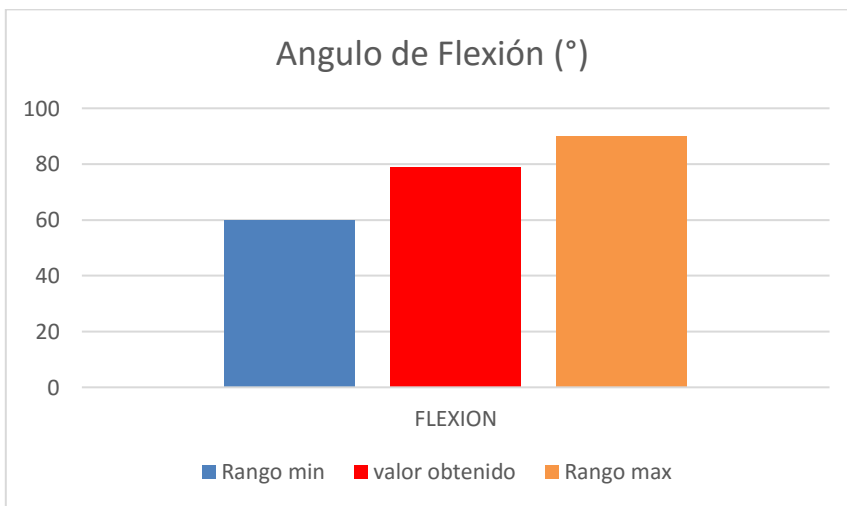


Figura 58. Grafica de análisis movimiento de flexión en Excel.

Se observa en la Figura 58 que entre el valor del ángulo de movimiento de una persona promedio y el mejor valor obtenido en el juego por el usuario hay once grados de diferencia. Para el análisis del movimiento de flexión se realiza la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis movimiento de extensión.

	Extensión	
	valor promedio	Mejor valor obtenido
Mano derecha	60° - 90°	77°
Mano izquierda	60° - 90°	77°

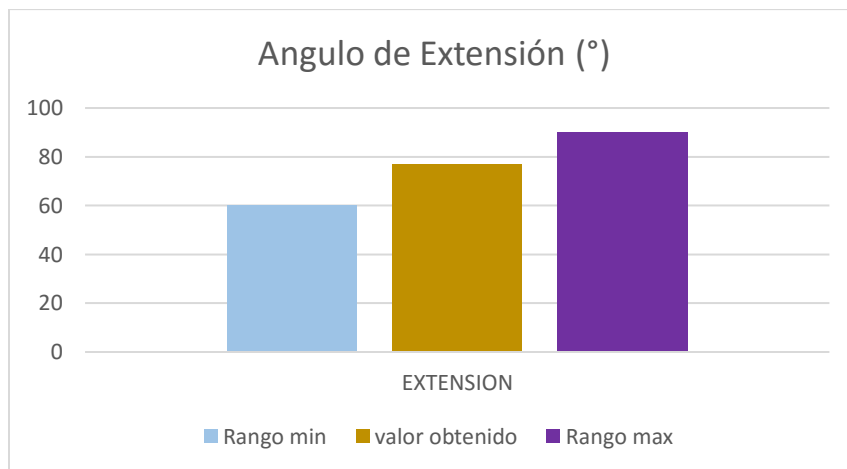


Figura 59. Grafica de análisis movimiento de extensión en Excel.

Se aprecia en la Figura 60 que entre el valor del ángulo de movimiento de una persona promedio y el mejor valor obtenido en el juego por el usuario existen trece grados de diferencia. Para el análisis del movimiento de abducción se realiza Tabla 11.

Tabla 11. Análisis movimiento de abducción.

	Abducción	
	valor promedio	Mejor valor obtenido
Mano derecha	20° - 30°	27°
Mano izquierda	20° - 30°	27°

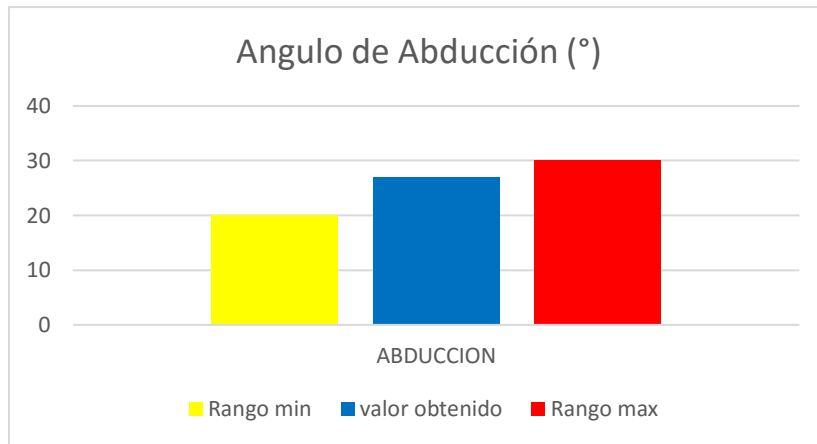


Figura 60. Gráfica de análisis movimiento de abducción en Excel.

En la Figura 61 se muestra que entre el valor del ángulo de movimiento de una persona promedio y el mejor valor obtenido en el juego por el usuario solo hay tres grados de diferencia, lo que demuestra que estuvo muy cerca del valor de una persona promedio. Para el análisis del movimiento de aducción se realiza Tabla 12.

Tabla 12. Análisis movimiento de aducción.

	Aducción	
	valor promedio	Mejor valor obtenido
Mano derecha	10° - 20°	19°
Mano izquierda	10° - 20°	19°

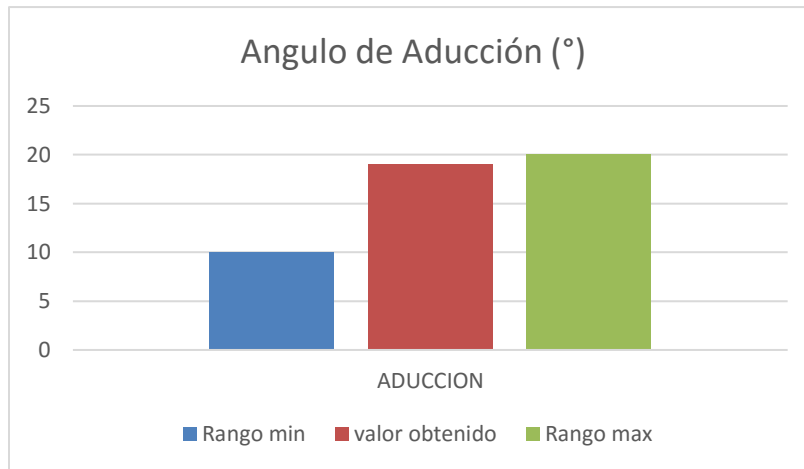


Figura 61. Gráfica de análisis movimiento de aducción en Excel.

En la Figura 62 se observa que entre el valor del ángulo de movimiento de una persona promedio y el mejor valor obtenido en el juego por el usuario solo hay un grado de diferencia, lo que demuestra que estuvo muy cerca del valor de una persona promedio. Para el análisis del movimiento de aprehensión se realiza Tabla 12.

Tabla 12. Análisis movimiento de aprehensión.

	Aprehensión	
	valor promedio	Mejor valor obtenido
Mano derecha	85° - 100°	95°
Mano izquierda	85° - 100°	95°

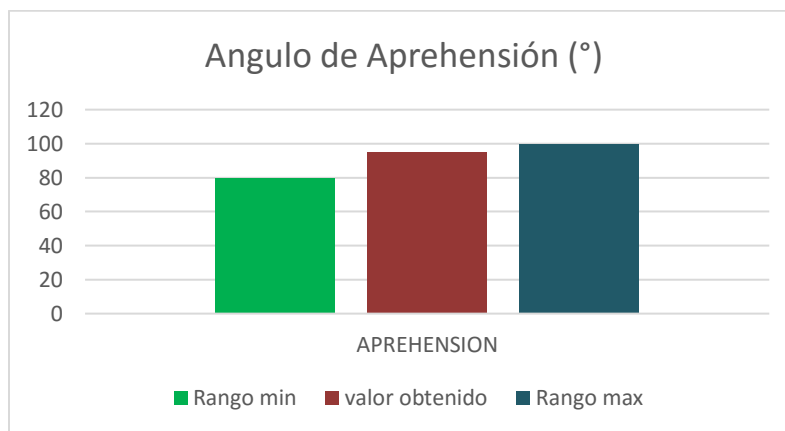


Figura 62. Gráfica de análisis movimiento de aprehensión en Excel.

En la Figura 63 se observa que entre el valor del ángulo de movimiento de una persona promedio y el mejor valor obtenido en el juego por el usuario solo hay un cinco grados de diferencia, lo que demuestra que estuvo muy cerca del valor de una persona promedio.

5.3. Retroalimentación de la fisioterapeuta

Se probaron los ejercicios en la oficina de la fisioterapeuta de la Administración de riesgos laborales de la Universidad Militar Nueva Granada y esta analizó los ejercicios en cuanto a cinco factores como lo son:

- Tiempo: Se recomienda que la duración de los ejercicios sea mayor para que alcance a cubrir toda una pausa activa (7 minutos).
- Ergonomía: Se aconseja considerar la altura entre el sistema y el trabajador ya que esta es importante para relajar los músculos.
- Estiramiento: Se recomienda incluir en la herramienta un ejercicio para estirar luego de realizar los ejercicios de Flexión/Extensión, Abducción/Aducción y Aprehensión.
- Continuidad del movimiento: Se aconseja que la variación entre uno y otro movimiento se haga con una velocidad moderada.
- Ejercicios: Se recomienda incluir más tipos de ejercicios para la ejercitación de las manos.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó un prototipo de ambiente virtual utilizando elementos de juego basado en captura de movimiento sin realimentación háptica como herramienta complementaria a las guías de ejercitación para las manos de salud ocupacional. El diseño interactivo utilizado permitió el desarrollo de una solución que tiene el potencial de atraer la atención de una amplia gama de usuarios para la realización de ejercicios de salud ocupacional de la mano. Para alcanzar este objetivo, se mezclaron reglas de diseño de juegos generales con su respectivo menú, instrucciones, salir del juego, personaje principal, trama y una retroalimentación visual para el usuario.

Los juegos emplean un controlador Leap Motion como complemento a los métodos tradicionales de ejercitación. El bajo costo de este sensor y su masiva integración en computadores permite que sea cada vez más común contar con este tipo de dispositivo. A pesar de su funcionalidad, existen consideraciones que se deben tener en cuenta al implementar el Leap Motion, la iluminación, uso de guantes, posturas incorrectas e interacciones fuera del área de captura, resultan en experiencias negativas pues el sensor puede no detectar las manos. Debido al gran auge de este dispositivo, la disponibilidad de SDK para múltiples plataformas de desarrollo, permite que sea una herramienta versátil pues permite acceso a la información de movimientos, rotaciones y orientaciones de los elementos que componen la mano virtual. Esto resulta en un gran potencial a nivel de interacciones de usuarios basadas en manos no sólo en ejercitación sino también en otros tipos de usuarios.

Antes de completar el desarrollo de los juegos, se realizó una prueba para asegurar la precisión del sistema en la captura del movimiento Extensión/Flexión como se aprecia en las figuras 50 y 51. Estas pruebas han demostrado que las diferencias entre los tiempos de repetición según lo registrado por el sistema son mínimas (100 milisegundos en promedio), lo que sugiere que, si se realizan los movimientos muy rápidamente la captura de información es imprecisa y si los de dedos de la mano siempre están unidos las lecturas fallan.

En cuanto a la opinión de la fisioterapeuta con respecto a los ejercicios se concluye que el sistema funcionaria en la población sana, pero si se implementa en personas que ya poseen las patologías se debe cambiar el rango de los movimientos, el tiempo de duración del ejercicio, la velocidad entre la ejecución de los ejercicio y así

evitar que se genere un impacto negativo en los tejidos de la población con trastornos músculo esqueléticos.

A futuro otros modos de juego se añadirán a los ya existentes. Por ejemplo, un modo de juego en que la dificultad se adapta a la fisiología del usuario en relación al desempeño durante la ejecución del juego. Se considera también la posibilidad de crear un sitio web que recopile las mejores puntuaciones en todos los empleados, registrando la identidad del trabajador, la frecuencia con la que desarrolla los ejercicios y los puntajes obtenidos, con gráficos que permiten a los usuarios comparar su rendimiento con los de sus compañeros de trabajo. Al hacerlo, se podría utilizar el factor competitivo para motivar a los usuarios a jugar y realizar los ejercicios. Por último se podrían diseñar más juegos con el fin de cubrir todos los ejercicios que se puedan realizar con las manos, un juego adicional con el propósito de hacer estiramientos después de finalizar la ejercitación y aumentar la duración de cada uno de los juegos para así cumplir con el tiempo de una pausa activa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] « Number of Internet Users (2015) - Internet live stats,» [En línea]. Disponible: <http://www.internetlivestats.com/internet-users/>. [Último acceso: 07 2015].
- [2] Sites.google.com. (2016). Beneficios y peligros de las TIC - Sesiones. [online] Available at: <https://sites.google.com/site/sesionestic/beneficios-y-peligros-de-las-tic> [Accessed 6 Jul. 2016].
- [3] Osha.europa.eu. (2016). Trastornos músculo esqueléticos - Salud y seguridad en el trabajo - EU-OSHA. [online] Available at: <https://osha.europa.eu/es/themes/musculoskeletal-disorders> [Accessed 7 Jul. 2016].
- [4] Efesalud.com. (2016). 10 males de las nuevas tecnologías - Por Laura Muñoz. [online] Available at: <http://www.efesalud.com/blog-salud-prevención/10-males-de-las-nuevas-tecnologías/> [Accessed 6 Jul. 2016].
- [5] SHEET, NIH Carpal Tunnel Syndrome Fact. July 2012. NIH Publication# 12-4898.
- [6] Espanol.arthritis.org. (2016). Manos y dedos. [online] Available at: <http://espanol.arthritis.org/espanol/ejercicio/ejercicios-acuaticos/ejercicios-acuaticos-ejemplos/ejemplos-ejercicios-acuáticos-jacuzzi/ejercicios-jacuzzi-manos/> [Accessed 6 Jul. 2016].
- [7] Traumatología Hellín. (2011). Ejercicios de mano y muñeca. [online] Available at: <https://traumatologiahellin.wordpress.com/ejercicios/ejercicios-de-mano-y-muneca/> [Accessed 6 Jul. 2016].
- [8] MUNOZ CARDONA, John E.; HENAO GALLO, Oscar A.; LOPEZ HERRERA, Jose F. Sistema de Rehabilitación basado en el Uso de Análisis Biomecánico y Videojuegos mediante el Sensor Kinect. 2013.
- [9] «El portal de la seguridad, la prevención y la salud ocupacional de chile,» [En línea]. Disponible: http://www.paritarios.cl/consejos_tendinitis.htm. [Último acceso: 07 2015].
- [10] Universidad Católica, «Guías para realizar pausas activas,» [En línea]. Disponible: <http://ucatolica.co/noticias/20boletinabril/archivos/salud.pdf>. [Último acceso: 07 2015].
- [11] Anon, (2016). REVISTA DIGITAL: ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE, [online] (volumen 2), p.7. Available at: <http://www.udca.edu.co/wp-content/uploads/revista-deportes/revista-digital-actividad-fisica-deporte-vol2-no1.pdf> [Accessed 6 Jul. 2016].
- [12] University of Maryland Medical Center. (2016). Carpal tunnel syndrome. [online] Available at: <http://umm.edu/health/medical/reports/articles/carpal-tunnel-syndrome> [Accessed 7 Jul. 2016].

- [13] Actualicese.com. (2016). » Ley 1562 de 11-07-2012. [online] Available at: <http://actualicese.com/normatividad/2012/07/11/ley-1562-de-11-07-2012/> [Accessed 12 Jul. 2016].
- [14] TANG, Richard, et al. Physio@ Home: Exploring visual guidance and feedback techniques for physiotherapy exercises. En Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2015. p. 4123-4132.
- [15] BEAR-LEHMAN, Jane; ABREU, Beatriz Colon. Evaluating the hand: issues in reliability and validity. *Physical Therapy*, 1989, vol. 69, no 12, p. 1025-1033.
- [16] G. BURDEA, «Virtual rehabilitation-benefits and challenges,» *International Workshop on Virtual Reality Rehabilitation* , pp. 1-11, 2002.
- [17] ANDIKA, Billy. SCHOOLS SECTION: Healing through Gaming.
- [18] Miguel Díez de Ulzurrun Sagala, Ana Garasa Jiménez, M^a Goretti Macaya Zandio, Jvier Eransus Izquierdo, Trastornos músculo-esqueléticos de origen laboral, Pamplona, 2007.
- [19] Alwin Luttmann , Matthias Jäger, Barbara Griefahn. Prevención de trastornos músculo esqueléticos en el lugar de trabajo.
- [20] encolombia.com, 'AUSENTISMO LABORAL Y SINTOMAS MÚSCULO-ESQUELETICOS TRABAJADOR DE LA SALUD', 2013. [En línea]. Disponible: <http://encolombia.com/medicina/revistas-medicas/academedia/vol104/relacion-ausentismo-laboral/>. [Último acceso: 14- Jul- 2015].
- [21] Manual de Trastornos, 1st ed. Secretaria de Salud Laboral Castilla y León, 2008.
- [22] C. Psicólogos, 'SALUD MENTAL Y ABSENTISMO LABORAL: UN BINOMIO POR RESOLVER', Infocop.es, 2009. [En línea]. Disponible: http://www.infocop.es/view_article.asp?id=2244. [Último acceso: 10- Jul- 2015].
- [23] Who.int, 'WHO | eHealth', 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.who.int/topics/ehealth/en/#>. [Último acceso: 13- Jul- 2015].
- [24] JÍMENEZ ARANDA, ITZAEL, «Diseño y construcción de un sistema para la captura y desplegado de señales electromiográficas,» 2015.
- [25] Sanabria, John J., John F. Archila, «Detección y análisis de movimiento usando visión artificial,» *Scientia et Technica*, vol. 3, pp. 180-188, 2011.
- [26] Rosas, Nelson Felipe, Carolina Rosas, Marcelo Herrera Martínez., «Sistema de monitorización remoto de señales biomédicas de vía celular.,» *Ingenium*, vol. 13, pp. 25-35, 2015.
- [27] Miller Gómez Mora, «Aplicación de realidad virtual en la rehabilitación cognitiva,» 2013. [En línea]. Disponible:

- <http://revistavinculos.udistrital.edu.co/files/2013/11/Aplicacion-de-realidad-virtual-en-la-rehab-cognitiva18.pdf>. [Último acceso: 07 2015].
- [28] « Dolores y Problemas de la Mano - The University of Chicago Medicine,» [En línea]. Disponible: <http://www.uchospitals.edu/online-library/content=S04014>. [Último acceso: 07 2015].
- [29] HERRERA, Gustavo; CIMADEVILLA, Hernando. Tesis: "Diseño de un sistema articulado emulando el movimiento de una mano". Cenidet, 2006.
- [30] MANRESA, Cristina, et al. Hand tracking and gesture recognition for human-computer interaction. *ELCVIA Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, 2005, vol. 5, no 3, p. 96-104.
- [31] Espanol.arthritis.org. (2016). Artritis reumatoide. [online] Available at: <http://espanol.arthritis.org/espanol/disease-center/imprimia-un-folleto/dc-ar/> [Accessed 22 Jun. 2016].
- [32] Amini D.
Occupational therapy interventions for work-related injuries and conditions of the forearm, wrist, and hand: a systematic review, pp.29-36, Ajot, 2011.
- [33] Case-Smith, J. (2003). Outcomes in Hand Rehabilitation Using Occupational Therapy Services. *American Journal of Occupational Therapy*, 57(5), pp.499-506.
- [34] Lavanon, Y., 2013. The Advantages and Disadvantages of using High Technology in Hand Rehabilitation. *Journal of Hand Therapy*, Volume 26, pp. 179-183.
- [35] « Ejercicios de mano y muñeca Traumatología Hellin,»2011 [En línea]. Disponible: <https://traumatologiahellin.wordpress.com/ejercicios/ejercicios-de-mano-y-muneca/>. [Último acceso: 07 2015].
- [36] «Virtual reality - Oxford Dictionaries Language matters,» [En línea]. Disponible: <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/virtual-reality>. [Último acceso: 07 2015].
- [37] Wiley.com. (2016). Wiley: Virtual Reality Technology, 2nd Edition - Grigore C. Burdea, Philippe Coiffet. [online] Available at: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471360899.html> [Accessed 7 Jul. 2016].
- [38] D. M. a. S. Chen, *Serious Games*, Lexington: Course Technology cengage learning, 2013.
- [39] Burdea, G. C. (2003). Virtual rehabilitation-benefits and challenges. *Methods of Information in Medicine-Methodik der Information in der Medizin*, 42(5), 519-523.

- [40] J. Trujillo, J. Muñoz and J. Villada, 'Exergames: una herramienta tecnológica para la actividad física', *Revista Médica de Risaralda*, vol. 19, no. 2, 2013.
- [41] «Exergames y Realidad Virtual,» [En línea]. Disponible: <https://sites.google.com/site/exergamesuam/home/exergames-y-salud>. [Último acceso: 07 2015].
- [42] E. AVEDON, «The structural elements of games,» [En línea]. Disponible: <http://itu.dk/people/miguel/DesignReadings/Readings/Lecture%20%20-%20Toys,%20Rules,%20Mechanics/The%20Structural%20Elements%20of%200Games.pdf>. [Último acceso: 07 2015].
- [43] Madrid.org. (2016). Diseño del puesto de trabajo en oficinas y despachos en las Administraciones Públicas. [online] Available at: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadertype=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DGu%C3%ADa-PuestoTrabajo.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1220362141880&ssbinary=true> [Accessed 24 Jun. 2016].
- [44] Healthline. (2016). 7 Hand Exercises to Ease Arthritis Pain. [online] Available at: <http://www.healthline.com/health/osteoarthritis/arthritis-hand-exercises#Tablebend7> [Accessed 7 Jul. 2016].
- [45] Camargo, C., Garzón, G., Camacho, P., & Víctor, A «Sistema portatil de captura de movimiento para el analisis cinematico de la marcha humana,» *Tecnura*, vol. 16, pp. 67-83, 2012.
- [46] Bautista, A. P., Díaz, D. V., Ramírez, O. D., & Gutiérrez, S. M., «Realidad aumentada,» *Construyendo el software del futuro*.
- [47] Díaz, C. A., Torres, A., Ramírez, J. I., García, L. F., & Álvarez, N., «Descripción de un sistema para la medición de las presiones por medio del procesameinto de imágenes fase I,» *EIA*, vol. 3, pp. 43-55, 2013.
- [48] LARA, Lizbeth Heras; VILLARREAL, José Luis., «La Realidad Aumentada: Una Tecnología En Espera De Usuarios,» *Revista digital universitaria*, vol. 10, 2004.
- [49] MORAN, E., LEONOR, C., CEVALLOS, C., FERNANDO, C., & VALDIVIESO ARMENDARIZ, C. E., «Red de comunicación xbee entre minicomputadora raspberry pi y pc con capacidad WIFI para el almacenamiento de informacion en base de datos remota,» 2013.
- [50] Bellón Alcarazo , Sergio ,Creixel Rojo, Jorge y Serrano Laguna, Ángel (2011) «Look!: Framework para aplicaciones de realidad aumentada en android,» 2011. [En línea]. Disponible: <http://eprints.ucm.es/13050/1/Memoria.pdf>. [Último acceso: 07 2015].

- [51] Chiriboga, L., & Santiago, C., «Diseño e implementación de una plataforma strap-down para "tracking position" en sistemas indoor usando visión artificial,» *EPN*, 2015.
- [52] Vera, L., Gimeno, J., Coma, I., & Fernández, M., «Espejo Aumentado: sistema interactivo de Realidad Aumentada basado en Kinect.,» *Interacción 2011*, pp. 347-356, 2011.
- [53] Cardona, Manuel Alejandro Chávez; Spitia, Felipe Rodríguez; López, Asfur Baradica, «Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación,» *Ingeniería Biomédica*, vol. 4, pp. 63-73, 2010
- [54] YouTube. (2016). Leap Motion Structured Light Pattern. [online] Available at: http://www.youtube.com/watch?v=UI5EBzU_QqM [Accessed 22 Jun. 2016].
- [55] Khademi, M., Mousavi Hondori, H., McKenzie, A., Dodakian, L., Lopes, C. V., & Cramer, S. C., «Free-hand interaction with leap motion controller for stroke rehabilitation,» *Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1663-1668, 2014.
- [56] Ierache, J. S., Igarza, S., Mangiarua, N. A., Becerra, M. E., Bevacqua, S. A., Verdicchio, «Realidad Aumentada (RA) en el contexto de usuarios finales.,» *En XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 2014.
- [57] Zhengyou Zhang, «Microsoft kinect sensor and its effect,» *Multimedia IEEE*, vol. 19, pp. 4-10, 2012
- [58] Rodríguez Claudia Patricia, Jhon Alexander Pineda, Diego Fabián Sánchez. « Software que captura, por medio de Kinect, los datos de señas manuales y los traduce a texto.,» *Ingeniería y región*, vol. 10, pp. 67-76, 2013.
- [59] Pillajo Carlos, Javier E. Sierra., «Human Machine Interface HMI using Kinect sensor to control a SCARA Robot,» *Communications and computing(COLCOM)*, pp. 1-5, 2013.
- [60] Aguilar, José David Posada, Jair Villanueva Padilla, «Control de un brazo robótico usando el hardware kinect® de microsoft.,» *Prospectiva*, vol. 11, pp. 88-93, 2013.
- [61] 5dt.com. (2016). 5DT Products. [online] Available at: <http://www.5dt.com/products/pdataglove5u.html> [Accessed 22 Jun. 2016].
- [62] Duque Arias, Diego Fernando, Marcos Rodrigo Ibarra Caicedo, «Diseño e implementación de un guante electrónico que permite transformar el lenguaje de señas en caracteres y reproducción sonora de voz artificial,» 2014.
- [63] Martínez, J., Molina, J. P., García, A. S., Martínez, D., & González, P. «Desarrollo de un Guante de Datos con Retorno Háptico Vibro-táctil Basado en Arduino,» *Jornadas de Realidad Virtual* , pp. 1-10, 2009.
- [64] Alexander Crowder, «WEARBLE TECHNOLOGY WITH ENTERTAINMENT AND GAMES.»

- [65] Theperegrine.com. (2016). Product | The Peregrine. [online] Available at: <http://theperegrine.com/product/> [Accessed 22 Jun. 2016].
- [66] User, S. (2016). Humanglove. [online] Hmw.it. Available at: <http://www.hmw.it/it/humanglove.html> [Accessed 22 Jun. 2016].
- [67] Bradski, G. and Kaehler, A. (2008). Learning OpenCV. Sebastopol, CA: O'Reilly.
- [68] MANRESA, Cristina, et al. Hand tracking and gesture recognition for human-computer interaction. *ELCVIA Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, 2005, vol. 5, no 3, p. 96-104.
- [69] Mack, E. (2016). Myo gesture control armband review: Pointless or ahead of its time?. [online] Gizmag.com. Available at: <http://www.gizmag.com/myo-gesture-control-armband-review/39103/> [Accessed 7 Jul. 2016].
- [70] Moreno, F., Jordan, O., Esmitt, R. J., Christiam, M., Omaira, R., Jeanlight, R., & Silvio, Á., «Un framework para la rehabilitación física en Miembros superiores con Realidad Virtual,» *Primera Conferencia Nacional de Computacion, Informatica y Sistemas. Universidad Central de Venezuela.*, 2013.
- [71] A. M. Rueda, «Propuesta de Tesis Doctoral: Seguimiento 3D de la mano,» 18 01 2010. [En línea]. Disponible: <http://ccc.inaoep.mx/~villasen/CursoSeminarioII/PropuestaArielMolina.pdf>. [Último acceso: 07 2015].
- [72] Yunda, L. (2011). Plataforma Web para un nuevo modelo de tele-rehabilitación, de base comunal, en áreas rurales. *Revista S&T*, pp. 55 - 67.
- [73] F. Arranz Aranda, «Interaccion persona-computador basada en el reconocimiento,» [En línea]. Disponible: http://eprints.ucm.es/16073/1/Interaccion_persona-computador_basada_en_el_reconocimiento_visual_de_manos.pdf. [Último acceso: 07 2015].
- [74] Colado, U. Z., Sánchez, C. A. L., Cárdenas, S. J. G., Guerrero, V. M. F., Colado, X. Z., Campos, D. M., & Martínez, C. G. Seguimiento visual de las manos y dedos para actualizar un mundo virtual interactivo. 2011
- [75] SCHÖNAUER, Christian, et al. Chronic pain rehabilitation with a serious game using multimodal input. En *2011 International Conference on Virtual Rehabilitation*. IEEE, 2011. p. 1-8.
- [76] [d] O'HARA, Kenton; GRIAN, Hazel; WILLIAMS, John. Participation, collaboration and spectatorship in an alternate reality game. En *Proceedings of the 20th Australasian Conference on Computer-Human Interaction: Designing for Habitus and Habitat*. ACM, 2008. p. 130-139.

- [77] P. Rego, P. Moreira, and L. Reis, "Serious games for rehabilitation: A survey and a classification towards a taxonomy", Information Systems and Technologies (CISTI), 2010 5th Iberian Conference, pp. 1-6, 2010.
- [78] Sawyer, "From cells to cell processors: The integration of health and video games", IEEE Comp. Graph. App., vol. 28, no. 6, pp. 83-85, 2008.
- [79] Virtualrehab.info. (2016). Virtualrehab | Virtual Rehabilitation System. [online] Available at: <http://www.virtualrehab.info/es/> [Accessed 6 Jul. 2016].
- [80] Aedem.org. (2015). Genzyme desarrolla 'EM One Hand', una herramienta virtual para la rehabilitación de pacientes con EM. [online] Available at: <http://aedem.org/3039-genzyme-desarrolla-%E2%80%98em-one-hand%E2%80%99,-una-herramienta-virtual-para-la-rehabilitaci%C3%B3n-de-pacientes-con-em> [Accessed 6 Jul. 2016].
- [81] D. Juan, «Sura. Para que las manos no duelan,» [En línea]. Disponible: <http://www.sura.com/blogs/calidad-de-vida/tunel-carpiano.aspx>. [Último acceso: 07 2015].
- [82] Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B., & Fisseler, D. (2013). Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. *Sensors*, 13(5), 6380-6393. Published: 14 May 2013
- [83] « Tendinitis: MedlinePlus enciclopedia médica,» [En línea]. Disponible: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001229.htm>. [Último acceso: 07 2015].

Divulgación de conocimientos

- [1] Artículo presentado en NEXTMED/MMVR (Medicine Meets Virtual Reality): ORTIZ, Saskia; URIBE-QUEVEDO, Alvaro; KAPRALOS, Bill. Hand VR Exergame for Occupational Health Care. *Medicine Meets Virtual Reality 22: NextMed/MMVR22*, 2016, vol. 220, p. 281. El uso desmedido y la ubicuidad de las tecnologías informáticas móviles tales como teléfonos inteligentes, tabletas, ordenadores portátiles y consolas de juegos portátiles que han dado lugar a un aumento en los trastornos músculo esqueléticos debido al uso excesivo, las malas posturas, movimientos repetitivos, posturas fijas y de- acondicionado físicos causados por una baja masa muscular mientras Demandas usando (y el abuso) de estos dispositivos. En este artículo se presenta el desarrollo de una realidad virtual movimiento de la mano -basado -basado Exergame con fines de salud ocupacional Que permite al usuario realizar ejercicios fáciles usando un costo no -efectivo – invasivo dispositivo de captura de movimiento para ayudar a superar y prevenir algunas de los problemas músculo esqueléticos asociados con el uso excesivo de los teclados y dispositivos móviles.

[2] Artículo presentado en IISA 2016: ORTIZ, Saskia; URIBE-QUEVEDO, Alvaro; ROJAS David; KAPRALOS, Bill. *Hand Tracking as a Tool to Quantify Carpal Tunnel Syndrome Prevention Exercises. IISA 2016*. Varias profesiones han aumentado la tasa de El síndrome del túnel carpiano (CTS) dada la dependencia regular y movimientos repetitivos de la mano y la muñeca. Con el uso extendido de dispositivos informáticos, la popularidad de los juegos de video, y la naturaleza ubicua de los dispositivos móviles, la ocurrencia de CTS ha aumentado entre el público en general. Debido el aumento en CTS sus correspondientes consecuencias, incluidos reducida productividad en el trabajo y la reducción en la calidad de vida, existe un interés significativo en el diseño de intervenciones efectivas a prevenir el STC. Los enfoques no invasivos incluyen diversos ejercicios que han demostrado ser eficaces para el estiramiento de base. Sin embargo, Al igual que con cualquier programa de ejercicios, la motivación para continuar la programa disminuye rápidamente. Aquí se describe un movimiento de la mano enfocado al seguimiento de un usuario en 3D basado en el juego de acoplamiento interfaz (3DUI) para promover ejercicios de estiramiento de la mano. Para los ejercicios de estiramiento de la mano se realiza un seguimiento y retroalimentación que se proporciona al usuario con respecto a los movimientos de este modo, en última instancia, se ayuda a los usuarios a realizar el ejercicio correctamente. Los resultados preliminares indican que el sistema puede ser utilizado para promover ejercicios de la mano de una manera divertida y de manera atractiva.

APÉNDICES

A. Requerimiento del sistema

A.1. Requerimiento de Hardware

El computador en el que se desarrolla la aplicación cumplir con los requisitos mínimos de sistema como:

- OS: Windows 7 SP1+, 8, 10; Mac OS X 10.8+.
- GPU: Tarjeta NVIDIA GTX 970 / AMD R9 290 equivalente o superior.
- Procesador Intel® Core™ i5 o uno superior.
- 8GB+ RAM.
- Puerto USB 3.0.
- Leap Motion.

A.2. Requerimiento de Software

- Leap Motion Drivers.
- Leap Motion SDK.
- Visual Studio 2015.
- Blender.
- Unity 5.1 o una versión reciente.
- SolidWorks.

B. Encuesta sesión uno.

Encuesta realizada a siete estudiantes de la universidad Militar Nueva Granada, consta de seis preguntas y tiene el siguiente formato como se muestra en la Figura 63, se analiza la respuesta a cada una de las preguntas realizadas por medio de un diagrama circular y se concluye.

ENCUESTA # 1						
	Muy en desacuerdo %	En desacuerdo %	Neutral %	Parcialmente de acuerdo %	De acuerdo %	Totalmente de acuerdo %
La captura de movimiento fue apropiado						
Usted fue capaz de completar las tareas con facilidad						
Se siente mejor utilizando un sistema no invasivo						
Cree que con el prototipo se incrementará la tasa de la práctica de los ejercicios para prevenir los trastornos musculoesquelético						
	Innovador %	Interactivo %	entretenido %			
Qué aspecto cree usted que es el más atractivo sobre el prototipo						
	no invasivo %	Facil de usar %	Pequeño tamaño %			
Qué aspecto cree usted que es el más atractivo sobre el Leap Motion						

Figura 63. Encuesta No 1.

Primera pregunta: La captura de movimiento fue apropiado (Figura 64).
 Conclusión: El 57% de las personas encuestadas están parcialmente de acuerdo en que la captura de movimiento fue apropiada en el juego.

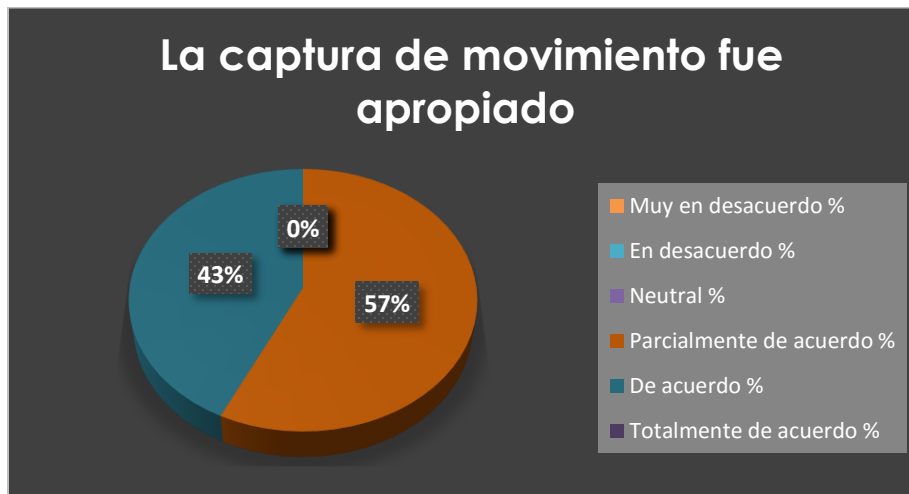


Figura 64. Primera pregunta encuesta No.1.

Segunda pregunta: Usted fue capaz de completar las tareas con facilidad (Figura 65).

Conclusión: El 43% de las personas encuestadas creen que fueron capaces de completar las tareas con facilidad de forma neutral.

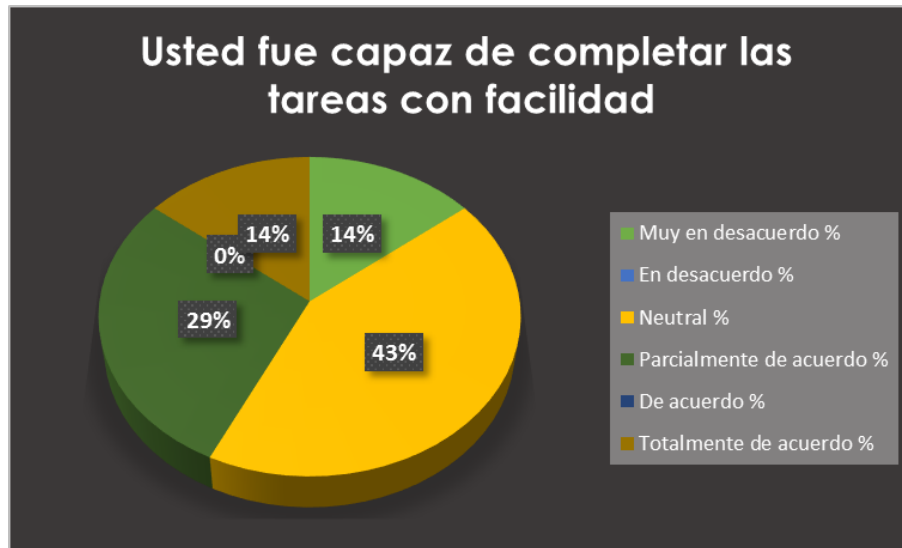


Figura 65. Segunda pregunta encuesta No.1.

Tercera pregunta: Se siente mejor utilizando un sistema no invasivo (Figura 66).
 Conclusión: El 71% de las personas encuestadas están totalmente de acuerdo en que se sienten mejor utilizando un sistema no invasivo.



Figura 66. Tercera pregunta encuesta No.1.

Cuarta pregunta: Cree que con el prototipo se incrementara la tasa de los ejercicios para prevenir los trastornos músculo esquelético (Figura 67).
 Conclusión: El 71% de las personas encuestadas están totalmente de acuerdo en

que con el prototipo se incrementará la tasa de los ejercicios para prevenir los trastornos músculo esqueléticos.

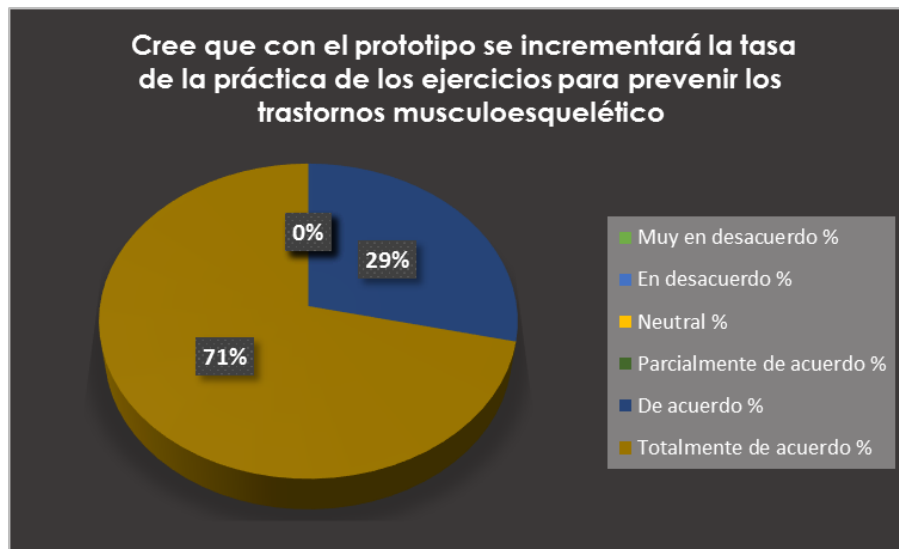


Figura 67. Cuarta pregunta encuesta No.1.

Quinta pregunta: Que aspecto cree usted que es el más atractivo sobre el Leap Motion entre no invasivo, fácil de usar y pequeño tamaño (Figura 68). Conclusión: El 57% de las personas encuestadas piensan que el aspecto más atractivo sobre el Leap Motion es que no es invasivo.

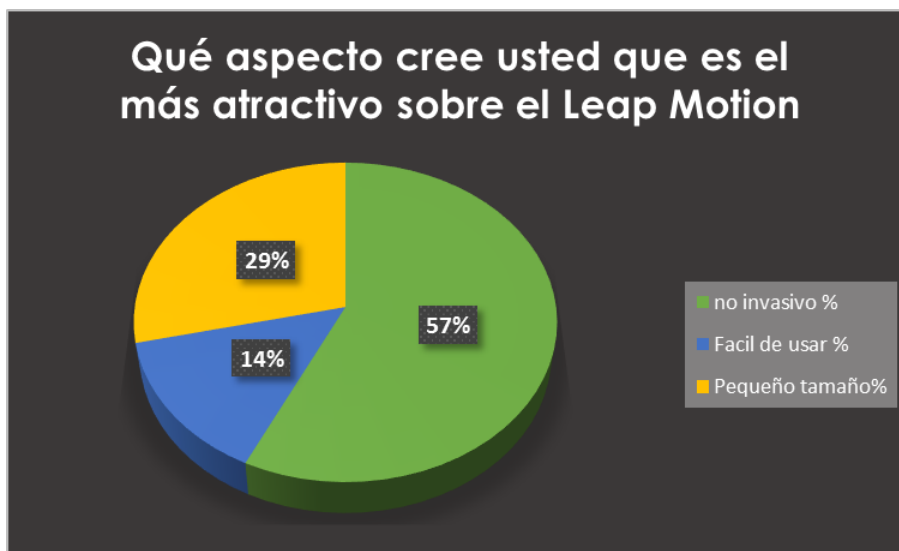


Figura 68. Quinta pregunta encuesta No.1.

Sexta pregunta: Que aspecto cree usted que es el más atractivo sobre el Prototipo entre innovador, interactivo y entretenido (Figura 69). Conclusión: El 50% de las personas encuestadas piensan que el aspecto más atractivo sobre el Prototipo es que es interactivo.

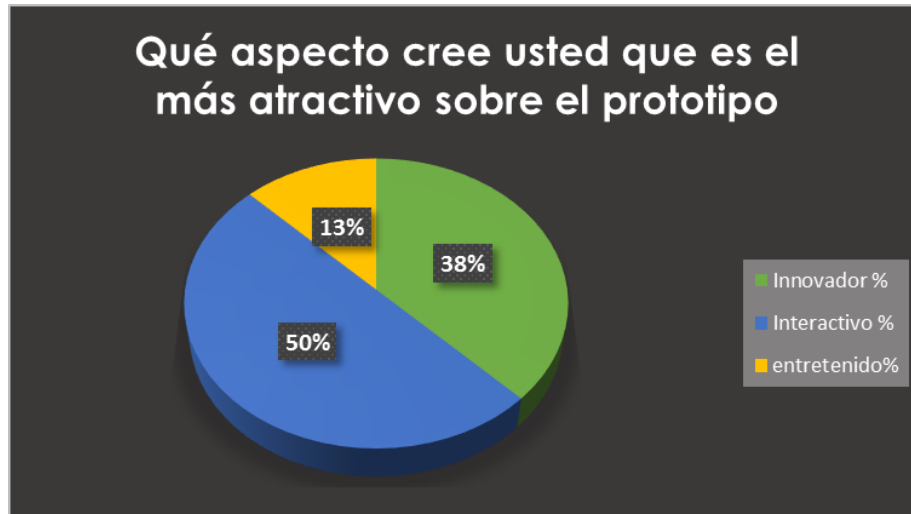


Figura 69. Sexta pregunta encuesta No.1.

C. Encuesta sesión dos.

Encuesta realizada a quince personas, consta de diez preguntas y tiene el siguiente formato como se muestra en la Figura 70, se analiza la respuesta a cada una de las preguntas realizadas por medio de un diagrama circular y se concluye.

ENCUESTA # 2			
	si	no	
Tuvo problemas para jugar, mover el personaje, recolectar monedas			
Pudo completar el juego			
cree que el personaje es adecuado para el juego			
El escenario de los juego es adecuado para la trama y el desarrollo del juego			
cree que el juego cumple con su objetivo			
sintio alguna molestia realizando los juegos			
la experincia con el Leap Motion fue buena			
Preferiria realizar ejercicios de esta forma en vez de la forma convencional			
La dificultad le parecio adecuada			
	sapo	pato	nuclear
que juego le gusto mas			

Figura 70. Encuesta No 2.

Primera pregunta: Tuvo problemas para jugar, mover el personaje, recolectar monedas (Figura 71).

Conclusión: El 67% de las personas encuestadas estuvieron de acuerdo con esta afirmación.

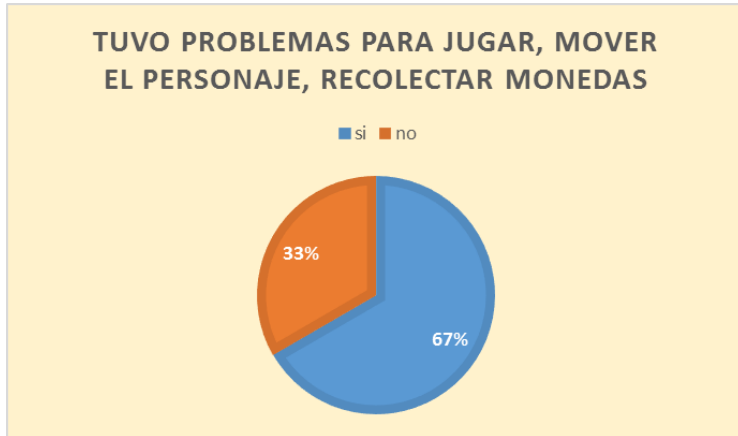


Figura 71. Primera pregunta de la encuesta No 2.

Segunda pregunta: Pudo completar el juego (Figura 72).
 Conclusión: El 73% de las personas encuestadas estuvieron de acuerdo con esta afirmación.



Figura 72. Segunda pregunta de la encuesta No 2.

Tercera pregunta: Cree que el personaje es adecuado para el juego (Figura 73).
 Conclusión: El 100% de las personas encuestadas estuvieron de acuerdo con esta afirmación.

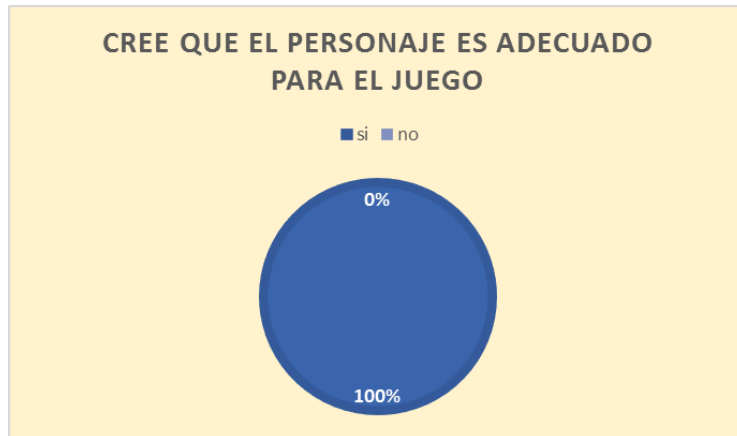


Figura 73. Tercera pregunta de la encuesta No 2.

Cuarta pregunta: El escenario de los juegos es adecuado para la trama y el desarrollo del juego (Figura 74).
 Conclusión: El 100% de las personas encuestadas estuvieron de acuerdo con esta afirmación.

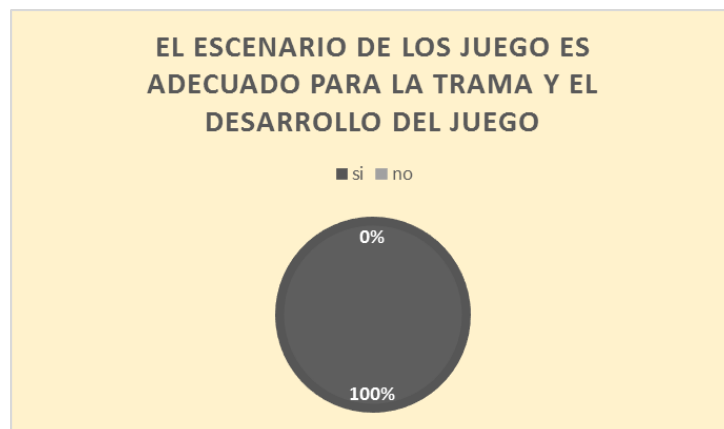


Figura 74. Cuarta pregunta de la encuesta No 2.

Quinta pregunta: cree que el juego cumple con su objetivo (Figura 75).
 Conclusión: El 100% de las personas encuestadas estuvieron de acuerdo con esta afirmación.



Figura 75. Quinta pregunta de la encuesta No 2.

Sexta pregunta: Sintió alguna molestia realizando los juegos (Figura 76).
 Conclusión: El 67% de las personas encuestadas estuvieron en desacuerdo con esta afirmación.



Figura 76. Sexta pregunta de la encuesta No 2.

Séptima pregunta: La experiencia con el Leap Motion fue buena (Figura 77).
 Conclusión: El 93% de las personas encuestadas estuvieron de acuerdo con esta afirmación.

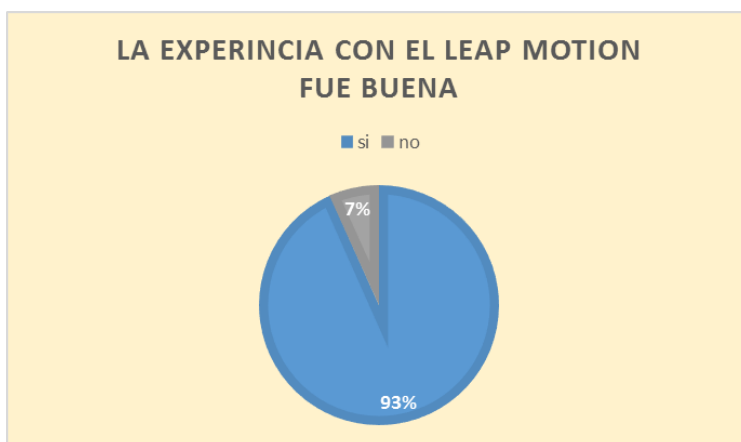


Figura 77. Séptima pregunta de la encuesta No 2.

Octava pregunta: Preferiría realizar ejercicios de esta forma en vez de la forma convencional (Figura 78).

Conclusión: El 100% de las personas encuestadas estuvieron de acuerdo con esta afirmación.

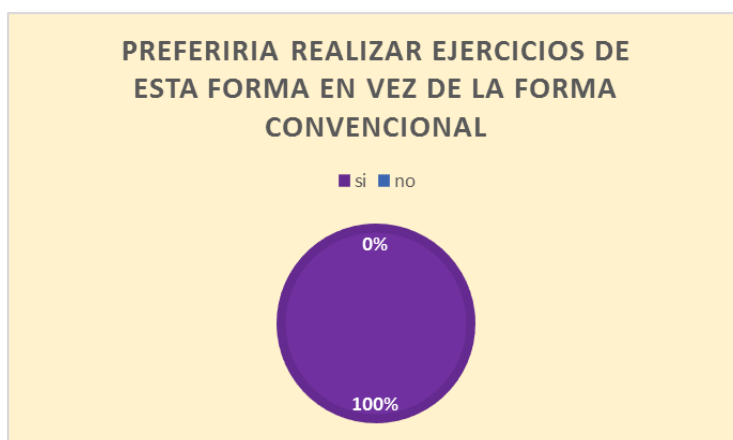


Figura 78. Octava pregunta de la encuesta No 2.

Novena pregunta: La dificultad le pareció adecuada (Figura 79).

Conclusión: El 100% de las personas encuestadas estuvieron de acuerdo con esta afirmación.



Figura 79. Novena pregunta de la encuesta No 2.

Decima pregunta: Que juego le gusto más entre el sapo, el pato y nuclear (Figura 80).

Conclusión: El 47% de las personas encuestadas escogieron el juego nuclear como el que más les gusto entre todos los juegos.



Figura 80. Decima pregunta de la encuesta No 2.

D. Poster presentado en NEXTMED/MMVR (Medicine Meets Virtual Reality)

Hand VR Exergame for Occupational Health Care

Saskia ORTIZ
Mechatronics Engineering
Mil. Nueva Granada University
saskiaortiz44@gmail.com

Alvaro URIBE-GUEVEDO
Industrial and Multimedia Engineering
Mil. Nueva Granada University
alvaro.j.urbeg@ieee.org

Bill KAPRALOS
Faculty of Business and Entrepreneurship
University Of Ontario
bill.kapralos@uoft.ca

ABSTRACT

The widespread use and ubiquity of mobile computing technologies such as smartphones, tablets, laptops and portable gaming consoles has led to an increase in musculoskeletal disorders due to overuse, bad posture, repetitive movements, fixed postures and physical de-conditioning caused by low muscular demands while using these devices. In this paper we present the development of a hand motion-based virtual reality-based exergame for occupational health purposes that allows the user to perform simple exercises using a cost-effective non-invasive motion capture device to help overcome and prevent some of the musculoskeletal problems associated with the overuse of keyboards and mobile devices.

INTRODUCTION

Despite the benefits these technologies offer, improper uses can lead to musculoskeletal disorders such as carpal tunnel which, in worst case scenarios requires surgery to correct. Most of these devices have moved from working related activities to our private lives, further increasing the risk of suffering a health related disorder.

The World Health Organization acknowledges and promotes the inclusion of ICT to improve healthcare through its e-health initiative. ICT growth has also led to the development of apps and multimedia-based applications to motivate employees into performing quick exercises referred to as active pauses. Further complicating matters is the lack of expert follow-up and assessment that and thus limit any feedback provided to the employee.

DEVELOPMENT

The exergame records flexion and extension hand-based movements that were mapped to a swimming duck. Due to the sensor's characteristics, the ranges of motion were limited to a maximum of 50 with respect to flexion and 70 with respect to extension to ensure proper tracking and interactions (see Fig 1).



Fig 1. Human hand bones and movements

The goal of the exergame is to capture hand movements of the user performing flexion and extension and transform them into suitable inputs to control an avatar within a goal-based virtual environment using game elements to increase user engagement. Fig 2 presents the system architecture proposed for develop the exergame.



Fig 2. System architecture



Fig 3. Duck virtual character, scenario and integration.

RESULTS

The exergame records flexion and extension hand-based movements that were mapped to a swimming duck. Due to the sensors characteristics, the ranges of motion were limited to a maximum of 50 with respect to flexion and 70 with respect to extension to ensure proper tracking and interactions. Finger tracking was not implemented due to the lack of accuracy that would have resulted in improper user interactions (this may have ultimately lead to reduced engagement and motivation). The exergame was presented to a group of seven students working with computers in a Virtual Reality laboratory to gauge their perception of using games and motion tracking to promote healthcare. The participants were asked to start the exergame, explore the lake, and reach the goal. Preliminary results indicate that users found the exergame useful and believed motivate them to perform and complete their exercises. Fig 3 presents the exergame interactions.



Fig 3. Duck virtual character, scenario and integration

CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

Here we have presented a preliminary version of an exergame that offers users (employees) the opportunity to perform hand-based occupational health exercises in a simple, engaging, and fun manner. The exergame employs a Leap Motion controller to capture the user's hand movements and then compares them to a reference (correct) motion performed by an occupational health expert. Future work includes a larger scale user study to examine the effectiveness of the exergame with various scenarios and additional hand movements.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the support of Mil. Nueva Granada's Virtual Reality Center and the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada in support of the IMMERSe network.

www.umng.edu.co



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
La U para todos

Figura 81. Poster Hand VR Exergame For Occupational Health Care.

E. Comparación de los Software de simulación del juego.

Tabla 13. Comparación de los Software de simulación del juego.²³

UNITY	Unreal Engine 4	CryENGINE
<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz fácil de entender. • Fácil integración multiplataforma (Android, iOS, Windows Phone 8 y BlackBerry, Playstation 3 , xbox360, Wii U y navegadores web). • Compatible con aplicaciones 3D como 3ds Max, Maya, Softimage, Cinema 4D, Blender. • Cuenta con una amplia biblioteca de archivos que pueden ser descargados o comprados. • Cuenta con una versión gratuita. • Se permite el uso de los lenguajes Java, 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran capacidad gráfica y de iluminación dinámica. • Uso del lenguaje c++. • Se puede usar en PC, Mac, iOS, Android, Xbox One y PlayStation 4. • Buen rendimiento y uso complejo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser usado en plataformas y consolas de PC, incluyendo PlayStation 4 y Xbox One. • Motor de juego muy potente complicado de usar si no se tiene experiencia en motores de juegos. • Tiene mejor capacidad de iluminación, sistemas avanzados de animación

F. Comparación de lo software de construcción de personajes y/o elementos del juego

Tabla 14. Comparación de lo software de construcción de personajes y/o elementos del juego.²⁴

SOLIDWORKS	MAYA	INVENTOR
<ul style="list-style-type: none"> • Excelente en diseño mecánico en 3D, que incluye el análisis basado en el tiempo de movimiento , ECAD colaboración / MCAD , enrutamiento de tuberías y tubos , 	<ul style="list-style-type: none"> • Bueno en modelado orgánico 3D, dinámica y efectos, animación 3D. • Para usarlo bien se debe aprender su software y su flujo de trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente en diseño mecánico. • Maneja tipos de archivo como 3DS, DWF, DWG, DWS, DWT, DXF, PLT, SAT

²³ Fuente: propia.

²⁴ Fuente: propia.

<p>ingeniería inversa , y aplanamiento superficial avanzado .</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puede ser usado en plataformas como Windows, Mac OSX y linux. • Maneja tipos de archivo como ACIS, ACIS SAT, DWG, DXF, aros de archivo de metadatos, HPGL / PLT, IGES, IGS, JPEG, Parasolid, PARASOLID XT, PDF, EPR, SAT, SolidWorks, STEP, STL, STP, TIF / TIFF, VRML, WRL 	<ul style="list-style-type: none"> • Avisos de alerta al realizar operaciones invalidas. • Posee una arquitectura de red de nodos (grafico complejo). 	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrece control sobre la retroalimentación del diseño
--	---	--

G. Comparación entre los software de acople.

Tabla 15. Comparación entre los software de acople.²⁵

BLENDER	3DSMAX	CINEMA4D
<ul style="list-style-type: none"> • Multiplataforma: sistemas operativos. Windows, Mac OS y Linux. • Pesa poco para ser autodesk. • Contiene la herramienta de escultura digital • Editor de video y composición. • Alta velocidad de desarrollo. • Libre uso comercial. • Fácil de usar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lenguaje python. • Manejo avanzado de sombras. • Manejo mejorado de escenas. • Buen rendimiento en la visualización acelerada • Dificultad en aprendizaje. • Muchas herramientas de modelaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible con Windows y apple. • Requiere 4GB de Ram. • Fácil de aprender. • Más rápido que 3DSMax. • Pocas herramientas de modelaje.

²⁵ Fuente: propia.

ANEXO

A. Tipos de mano librería tomado del Prefabs del Leap Motion del Software Unity.

- Modelo de manos humanas.

A continuación, se observan algunos tipos de manos humanas ellas pueden variar en su color, textura y clases de mano si es derecha o izquierda.

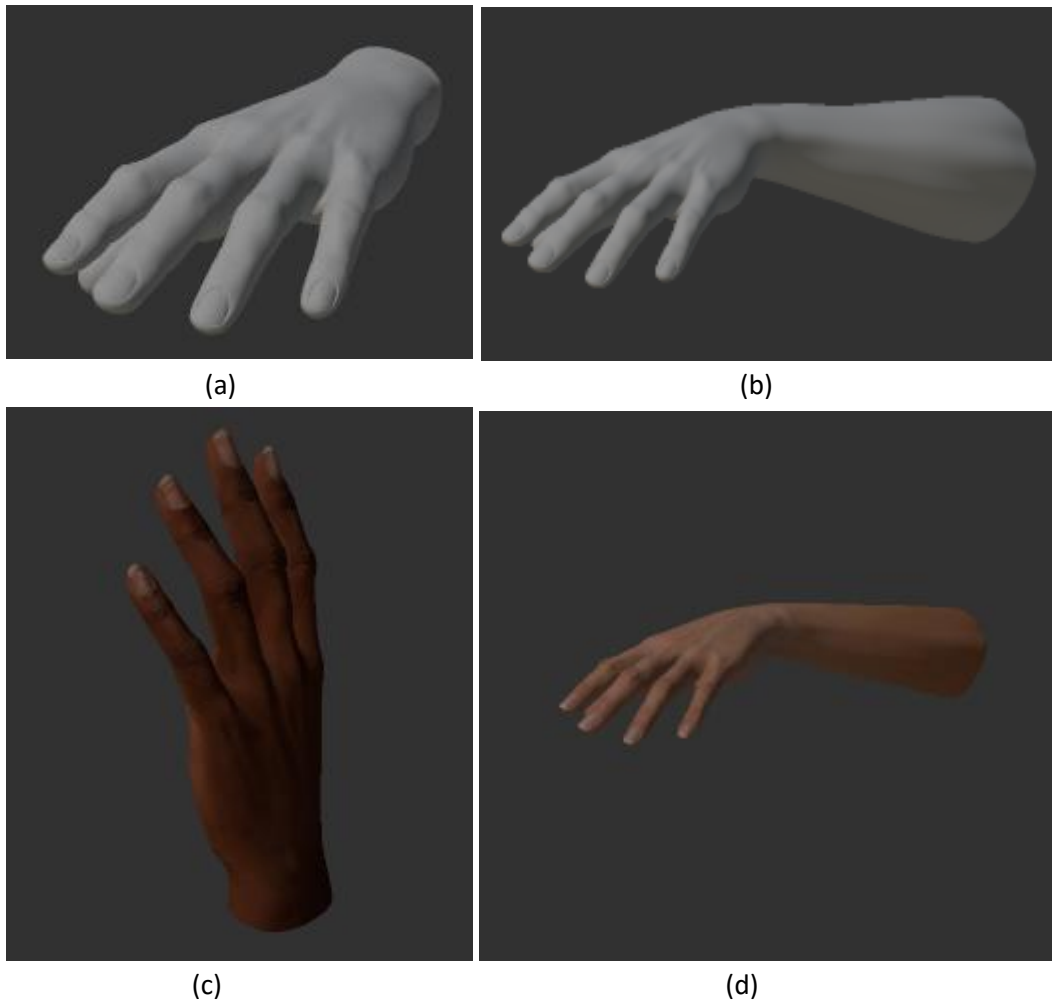


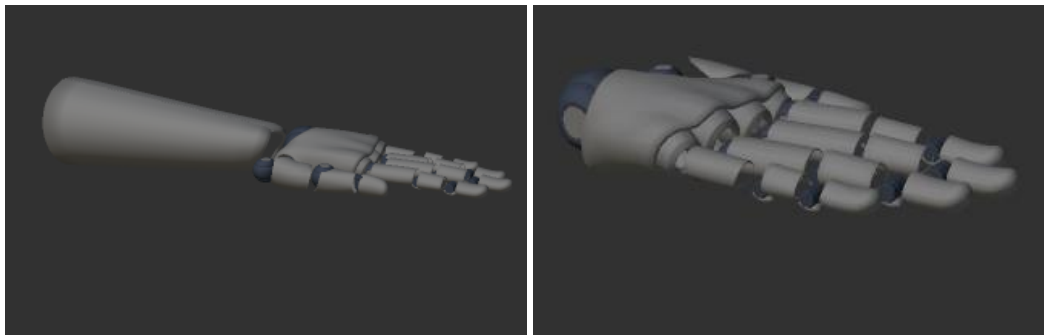
Figura 82. Diferentes tipos de mano de la librería prefabs del Leap Motion.

En la Figura 82 (a) se aprecia la PepperBaseCutLeftHand que tiene un color gris, es la mano izquierda y solo se ve la muñeca, en la Figura 82 (b) se aprecia la PepperBaseFullLeftHand que tiene un color gris, es la mano izquierda y se ve la mano con su antebrazo, en la Figura 82 (c) se aprecia la SaltDarkCutLeftHand que

tiene un color café, es la mano izquierda y solo se ve la muñeca y en la Figura 82 (d) se aprecia la SaltDarkCutLeftHand que tiene un color moreno, es la mano izquierda y se ve la mano con su antebrazo.

- Modelo de manos no humanas

A continuación, se observan algunos tipos de manos no humanas ellas pueden variar en su color, contextura y clases de mano si es derecha o izquierda.



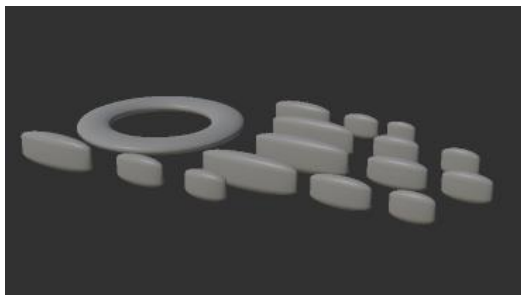
(a)

(b)



(b)

(c)



(d)

Figura 83. Diferentes tipos de mano no humanas de la librería prefabs del Leap Motion.

En la Figura 83 (a) se aprecia la CleanRobotFullLeftHand que tiene un color gris, es la mano izquierda, luce como un Robot y se ve la mano con su antebrazo, en la Figura 83 (b) se aprecia la CleanRobotRightHand que tiene un color gris, es la mano derecha, luce como un Robot y solo se ve la muñeca, en la Figura 83 (c) se aprecia la GlowRobotFullLeftHand que tiene un color gris con azul, es la mano izquierda, luce como un Robot y se ve la mano con su antebrazo, en la Figura 83 (d) se aprecia la GlowRobotLeftHand que tiene un color gris con azul, es la mano izquierda, luce como un Robot y solo se ve la muñeca y en la Figura 83 (e) se aprecia la MinimalHand que tiene un color hueso, luce como el esqueleto de la mano y solo se ve la muñeca.