



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

VIDEOJUEGO PARA APOYAR EN LA REHABILITACIÓN DEL RANGO
ARTICULAR EN NIÑAS/OS DE COANIQUEM.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN COMPUTACIÓN

ERIC EDUARDO CONTRERAS PERNAU

PROFESOR GUÍA:
FRANCISCO GUTIÉRREZ FIGUEROA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MARÍA CECILIA RIVARA ZUÑIGA
ELÍAS ZELADA BAEZA

SANTIAGO DE CHILE
2023

Resumen

Los videojuegos para apoyar en la rehabilitación de movilidad articular se crean para ayudar en la población que tiene dificultades para realizar esta acción. Parte de esta población está compuesta por niñas/os con quemaduras, para quienes existen soluciones no muy usables ya que requieren sensibilidades, diseños y configuraciones personalizadas. Por lo que el objetivo general de esta memoria fue desarrollar un videojuego que fuese diseñado para asegurar usabilidad en las niñas/os de COANIQUEM.

Utilizando la literatura disponible y realizando entrevistas con expertos de dominio, se desarrolló un videojuego para el sistema operativo *Windows 11* con el propósito de respaldar la rehabilitación del rango articular. Este videojuego se diseñó teniendo en cuenta las sugerencias y requisitos proporcionados por los profesionales de la salud. Se crearon dos juegos enfocados en el hombro y el codo. Ambos juegos generan datos en un formato consistente para cada articulación. Después de verificar el prototipo con expertos en el dominio, se llevó a cabo un proceso de evaluación del software.

Este proceso se realizó con usuarios simulando limitaciones en la movilidad de un brazo a partir de una hombrera o codera ortopédica, para poder estudiar la usabilidad del prototipo realizado y así inferir oportunidades de mejora. Esta elección se basó en consideraciones de tiempo y dificultad de acceso a la población objetivo, ya que encontrar niños con limitaciones de movimiento en los brazos debido a quemaduras requería un período prolongado que excedería el marco temporal de la memoria, así como someter el proyecto a una auditoría técnica ante un comité de ética institucional especializado en investigación con sujetos humanos en el área de la salud, lo que escapa del alcance de este primer prototipo de software.

La prueba consistió en que los participantes probaran ambos juegos y luego completaran el cuestionario NASA-TLX para evaluar la carga de trabajo percibida. Dicha evaluación se realizó con una muestra de 27 participantes voluntarios, quienes interactuaron con ambos juegos en orden aleatorio, en un notebook equipado con dos joy-con conectados vía bluetooth. Al comparar los resultados y dividir la muestra en dos grupos según el orden de los juegos, se concluyó que los juegos eran utilizables y comprensibles, con cierta dificultad.

A partir de esta evaluación, también se identificaron oportunidades de mejora tanto en las funcionalidades de la interfaz como en los errores que agregan dificultad de ambos juegos. El siguiente paso para este prototipo es abordar estas cuestiones y realizar pruebas con pacientes clínicos para garantizar la usabilidad del desarrollo en la población objetivo.

El problema planteado inicialmente fue resuelto parcialmente, ya que el videojuego es capaz de obtener los datos necesarios para apoyar en la rehabilitación de movilidad articular, validado con un estudio, pero no se comprueba la usabilidad en la población objetivo. La solución desarrollada entrega una aplicación robusta y funcional, permitiendo realizar análisis y mejoras de la misma.

*Para los que me apoyaron
Para mi familia y amigos*

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en la realización de esta tesis y en mi camino académico. Sus apoyos y contribuciones han sido invaluable, y sin ellos, este logro no habría sido posible.

A mi familia, por su amor, paciencia y constante apoyo durante todo este proceso. Agradezco especialmente a mis hermanos por su motivación y aliento en cada paso de este camino.

Agradezco también a mi fiel compañero felino, Luffy, por estar siempre a mi lado y proporcionar ese cariño incondicional que me ha llenado de alegría en los momentos más desafiantes.

A mi polola, por su comprensión, apoyo emocional y por ser mi fuente de inspiración en cada reto que enfrento.

A mis amigos por brindarme su amistad sincera y ser un apoyo inquebrantable en cada etapa de este proyecto. Mención honrosa a Jeison “Samuray” quien fue parte del diseño de algunos assets para las terminaciones visuales del juego.

Mi más sincero agradecimiento al profesor Francisco por su valioso tiempo, orientación y conocimiento técnico en el ámbito del software, que fue esencial para el desarrollo de este trabajo. Agradezco también a al Médico Fisiatra Matías Orellana y a la Doctora Gabriela Hidalgo por su colaboración y valiosos aportes, que enriquecieron significativamente esta investigación y a todos los expertos de dominio que forman parte de COANIQUEM.

Y finalmente, quiero agradecer a todos los participantes de las sesiones de prueba del videojuego creado. Sus comentarios y sugerencias fueron fundamentales para mejorar el producto final y hacen que este trabajo tenga un impacto real en la comunidad.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento. Su confianza y aliento han sido el motor que me impulsó a seguir adelante en este emocionante viaje académico.

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Solución desarrollada	3
1.3. Trazado del documento	3
2. Trabajo Relacionado	8
2.1. Terapias	8
2.2. Controles y motor gráfico	9
2.3. Ángulos de Euler	10
2.4. Revisión de videojuegos con punteros a la pantalla en el mercado	11
3. Diseño de la solución	13
3.1. Arquitectura del software	13
3.2. Diseño de juegos	15
3.2.1. Juego 1	15
3.2.2. Juego 2	17
3.3. Diseño de los punteros	18
4. Desarrollo de la solución	19
4.1. Menús	20
4.1.1. Menú de configuración	21
4.1.2. Menú final del juego	22
4.2. Desarrollo de los juegos	22
4.2.1. Solución al problema de orientación	22
4.2.2. Juego 1	24
4.2.3. Juego 2	26
4.2.4. Selector de juegos	29
4.3. Revisión de los resultados	30
5. Evaluación de la solución	32
5.1. Definición de la evaluación	32
5.2. Protocolo de experimentación	32
5.3. Participantes	33
5.3.1. ¿Quiénes conforman la muestra?	33

5.3.2.	¿Cómo se reclutaron los participantes?	33
5.3.3.	Categorización	33
5.3.4.	Criterios de inclusión y exclusión	34
5.3.5.	Verificabilidad de la muestra	34
5.3.6.	Consideraciones éticas	34
5.3.7.	Posible sesgo en la muestra	34
5.3.8.	Tamaño de la muestra	34
5.4.	Instrumentos de recolección de datos	35
5.4.1.	Tipo de estudio	35
5.4.2.	¿Cómo se recolectó la información?	35
5.4.3.	Calibración de los instrumentos	35
5.4.4.	Validez y confianza de los instrumentos	35
5.4.5.	Limitaciones de los instrumentos: validez interna y externa	35
5.5.	Materiales	35
5.5.1.	¿Qué se necesitaba para el estudio?	35
5.5.2.	Condiciones de control y de variación	36
5.5.3.	Plausibilidad del estudio	36
5.5.4.	Replicabilidad del estudio	36
5.6.	Definición del experimento	36
5.6.1.	Proceso de experimentación	36
5.6.2.	Replicabilidad del proceso	38
5.6.3.	Limitaciones del proceso	38
6.	Resultados	39
6.1.	Caracterización de la muestra	39
6.1.1.	Tamaño de la muestra	39
6.1.2.	Información etaria de la muestra	39
6.1.3.	Encuesta inicial	40
6.2.	Preparación del experimento	41
6.3.	Asignación por entorno de prueba	41
6.4.	Resultados del experimento	41
6.4.1.	Grupo 1	42
6.4.2.	Grupo 2	44
6.4.3.	Grupos de control, con coderas y con hombreras	46
6.5.	Resultados del software	48
6.6.	Información adicional	51
7.	Análisis y discusión de resultados	52
7.1.	NASA-TLX	52
7.1.1.	Juego 1	52
7.1.2.	Juego 2	53
7.2.	Software de visualizaciones	53
7.3.	Opinión de usuarios	54
8.	Conclusión y Trabajo futuro	56
	Anexos	63

A. Cuestionarios	63
B. Datos y resultados	66
C. Documento de instalación	71

Índice de ilustraciones

2.1.	imagen de joy-con, colores utilizados en el desarrollo del videojuego.	10
2.2.	Ángulos de Euler	11
2.3.	Diseños del mercado	12
3.1.	Estructura de acceso	13
3.2.	Pantalla con instrucciones	14
3.3.	Menú principal	14
3.4.	Configuración	14
3.5.	Selector de juegos	15
3.6.	Final del juego	15
3.7.	Movimientos de abducción-aducción sobre el eje anteroposterior del hombro derecho en el plano frontal [8].	16
3.8.	Estructura diseñada para el juego 1	16
3.9.	Flexión-extensión del codo derecho a partir de la posición 0 (paciente en decúbito dorsal) [8].	17
3.10.	Estructura diseñada para el juego 2	17
4.1.	Problema de orientación con los ejes. El vector morado indica la dirección de la cara superior del joy-con.	19
4.2.	solución a la orientación con los ejes	20
4.3.	Problema por movimientos bruscos al jugar	20
4.4.	Imagen descriptiva de menú base en el software	21
4.5.	Imagen descriptiva del menú de configuración en el software	22
4.6.	Imagen descriptiva del menú de fin del juego en el software	23
4.7.	Posible posición del vector en la posición superior.	23
4.8.	Otra posible posición	24
4.9.	juego 1 se observa el personaje con toda la vida, una manzana y un árbol	24
4.10.	juego 2 se observa el personaje con toda la vida, un pincho y un hielo	27
4.11.	Personajes seleccionables	29
4.12.	Máquina de estados del controlador de animaciones	29
4.13.	Aplicación sin archivo seleccionado	30
4.14.	Ventana emergente	30
4.15.	Aplicación con archivo seleccionado	30
4.16.	Gráfico de ejemplo creado a partir de los datos del archivo	31
5.1.	Distribución de grupos	33

6.1.	Histograma de distribución de edades para la muestra captada	40
6.2.	Histograma de distribución de puntuación de experiencia con controles de movimiento para la muestra captada.	40
6.3.	Boxplot de puntaje de experiencia con mandos de movimiento para ambos grupos al realizar el muestreo	41
6.4.	Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra grupo 1 en el cuestionario NASA-TLX.	43
6.5.	Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 1 en el cuestionario NASA-TLX.	43
6.6.	Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 2 en el cuestionario NASA-TLX.	44
6.7.	Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra grupo 2 en el cuestionario NASA-TLX.	45
6.8.	Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 1 en el cuestionario NASA-TLX.	46
6.9.	Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 2 en el cuestionario NASA-TLX.	46
6.10.	Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 1 en el cuestionario NASA-TLX.	47
6.11.	Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 2 en el cuestionario NASA-TLX.	47
6.12.	Persona aleatoria del grupo de control para el juego 1	48
6.13.	Persona aleatoria del grupo de hombreras para el juego 1	49
6.14.	Persona aleatoria del grupo de control para el juego 2	49
6.15.	Persona aleatoria del grupo de coderas para el juego 2	49
A.1.	Formulario NASA-TLX, para evaluación de carga de trabajo. Fuente: Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Link https://ergomedia.isl.gob.cl/app_ergo/nasatlx/	65
B.1.	Promedio Juego 1 por grupo	69
B.2.	Promedio juego 2 por grupo	69

Índice de tablas

6.1.	Resumen de resultados del cuestionario NASA-TLX para el grupo 1 en el juego 1	42
6.2.	Resumen de resultados del cuestionario NASA-TLX para el grupo 1 en el juego 2	42
6.3.	Resumen de resultados del cuestionario NASA-TLX para el grupo 2 en el juego 1.	45
6.4.	Resumen de resultados del cuestionario NASA-TLX para el grupo 2 en el juego 2.	45
6.5.	Promedio de valores estadísticos de cada grupo para el juego 1.	50
6.6.	Promedio de valores estadísticos de cada grupo en el juego 2.	51
B.1.	Puntaje obtenido NASA-TLX en el juego 1.	67
B.2.	Puntaje obtenido NASA-TLX en el juego 2.	68
B.3.	Resultados del software para un participante	70

Capítulo 1

Introducción

Las quemaduras son un problema relevante de salud pública en Chile, con más de 80.000 niños que se queman cada año [2]. Es por esto que la corporación de Ayuda al Niño Quemado, COANIQUEM [3], que es una institución privada sin fines de lucro, tiene como objetivos principales rehabilitar integralmente y de manera gratuita al niño y adolescente con quemaduras y otras cicatrices. Estas personas se ven restringidas en lo físico por su movilidad, como en lo mental y social por los problemas que conlleva la situación.

Las personas que sufren de quemaduras deben asistir a rehabilitación para poder ser lo más independientes dada su condición. Esto es crucial en etapas de infancia, ya que en esta edad se aprende sobre el rango de movimiento (ROM por sus siglas en inglés) y uno de los objetivos del tratamiento es conservar la función [19].

Las niñas/os que asisten a terapia requieren de una motivación para asistir a estas y considerando que en etapas tempranas del crecimiento humano el juego es un motivante. En efecto, según Vigotsky [18], el juego es básicamente el escenario práctico a través del cual el desarrollo social, afectivo e intelectual del niño y la niña se ven comprometidos con las dimensiones cognitivas superiores. Luego, su uso como herramienta terapéutica de motivación es altamente aconsejable y recomendado. Así pues, un videojuego es útil como herramienta terapéutica ya que permite simular las características del juego. Esto es, permite motivar al usuario y causa que los tratamientos sean más prolongados y que tenga adherencia a la rehabilitación [12].

La rehabilitación mediante videojuegos [15] busca mejorar las dificultades físicas y mentales del usuario a través de procesos terapéuticos. En estos procesos se usa un videojuego como motivador y distractor de la terapia ya que el usuario se enfoca en jugar y no en sus movimientos durante el juego. Además, el usar controles de movimiento permite mantener este enfoque y capturar datos físicos del usuario. Entre los controles de movimiento se encuentran las cámaras de vídeo o los mandos que poseen detección de movimiento, ya que permiten al videojuego obtener datos biométricos y ofrecerlos al especialista para su análisis sin ser invasivos.

La metodología de rehabilitación mediante videojuegos se ha aplicado en grupos de gente

de diversas enfermedades [10] en casos como la rehabilitación en pacientes con lesión medular, donde resulta útil para desarrollar la movilidad de la pelvis sin la cual no sería posible la realización de la marcha [9]. Lo anterior es importante ya que se presentan mejoras físicas a partir del uso de un videojuego, lo cual indica la factibilidad del proyecto.

Por lo tanto, aparece como oportunidad para explorar un videojuego de rehabilitación para apoyar a los usuarios de COANIQUEM. Este videojuego debería ser capaz de capturar y ofrecer datos sobre el rango articular del usuario, un dato importante para los terapeutas, ya que esta tiene su importancia en mantener la independencia del usuario.

Es así como el problema de esta memoria fue diseñar, prototipar y validar a nivel de prueba de concepto un prototipo de videojuego destinado a COANIQUEM. El proyecto se realizó con apoyo de expertos del dominio a modo de validadores en decisiones de diseño y en pruebas del prototipo. Los expertos son especialistas que ayudan en la rehabilitación de movilidad articular a niños/as que son parte de COANIQUEM, debido a que sufren de secuelas por quemaduras.

El videojuego desarrollado sigue los lineamientos específicos definidos por parte de COANIQUEM, los cuales se obtuvieron a partir de reuniones con los fisiatras y rehabilitadores de esta misma corporación. Los lineamientos que sigue el juego son: la obtención del rango articular de una sola articulación y contener personajes variados para motivar a las niñas/os desde sus gustos. Las restricciones son: no contener animaciones o alusiones a formas de quemarse y no tener que presionar una combinación de botones extensa para acceder al juego, por lo que se requiere una manipulación simple.

Los desafíos técnicos que conllevó el prototipar un videojuego de estas características son: obtener datos del usuario, como el rango articular partir de un control que se sujeta con las manos, y registrar el tiempo de uso del videojuego por parte de los usuarios. Los desafíos de diseño están enfocados en crear una aplicación simple con una curva de aprendizaje baja. Estos desafíos se consideran durante todo el desarrollo; desde la elección de la plataforma, hasta el funcionamiento de los joy-con como punteros en pantalla de acción de botones.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

El objetivo general de esta memoria de título es implementar un videojuego capaz de obtener los datos requeridos por los especialistas de COANIQUEM. Estos son: la medición del rango articular, la diferencia de ángulo en cada momento con el anterior y el tiempo de duración de la actividad usando el control joy-con de Nintendo Switch, a partir de acciones generadas por el movimiento durante el uso del videojuego.

1.1.2. Objetivos Específicos

1. Diseñar una interfaz usable y entendible para los usuarios.
2. Permitir una sesión de juego con una duración de al menos 1 minuto.

3. Obtener datos de rango articular del usuario con un error similar al que obtendría un goniómetro.
4. Ofrecer los datos en un formato estándar definido por COANIQUEM para permitir el análisis posterior por parte del equipo médico.

1.2. Solución desarrollada

La solución desarrollada para el problema planteado en este trabajo de título tiene como objetivo crear un videojuego que permite obtener los datos de los ángulos de sujeción medidos durante una sesión de juego.

El producto final posee estas características:

- La aplicación permite acceder a las distintas escenas.
- La aplicación permite al usuario escoger el juego y el personaje si corresponde.
- La aplicación permite al niño/a jugar por tiempo indefinido
- la aplicación almacena los datos de orientación del joy-con, el tiempo de juego y puntajes obtenidos durante el juego en un archivo con un nombre único en formato csv.
- La aplicación entrega la ubicación del archivo almacenado.
- La aplicación permite configurar aspecto y volumen.

En cuanto a objetivos no funcionales:

- Asegurar la usabilidad de la interfaz
- Evitar la frustración al jugar

Los requisitos funcionales surgen a partir de las reuniones con expertos de dominio y fueron validados por los mismos en una demostración del videojuego. Los no funcionales son parte de los objetivos definidos en conjunto con COANIQUEM para los videojuegos y se busca validar a partir del estudio realizado. Cumpliendo estos requisitos el producto final se considera terminado.

1.3. Trazado del documento

En los próximos capítulos se irán desarrollando las decisiones de diseño, desarrollo de la solución, evaluación y sus resultados, para finalmente hacer un análisis de estos y concluir. Los capítulos específicos, con su respectivo resumen, son:

El capítulo 2, titulado “Trabajo Relacionado”, aborda los distintos tipos de terapia de rehabilitación como parte del contexto para entender dónde se inserta el trabajo desarrollado, sobre cómo se usan los videojuegos como parte de la rehabilitación y decisiones de diseño relacionadas al formato del videojuego. Se realiza un análisis sobre las razones por las cuales se eligen los joy-con como parte integral del proyecto y cómo desempeñan un papel clave en el proceso. Se da una revisión a la literatura de uso de los joy-con conectados por bluetooth, donde se identificó joyconlib [5], una librería de c# encargada de obtener los datos de la

conexión por medio de Bluetooth, transformándolos en input directo similar a la sintaxis de Unity.

La implementación de joyconlib en Unity se beneficia del amplio material disponible en la web, ya que esta librería funciona directamente en el entorno de Unity, eliminando la necesidad de realizar adaptaciones. Las herramientas de diseño en Unity son simples y accesibles de forma gratuita. En el capítulo, se compara Unity con su competidor, Unreal Engine, que tiene una sintaxis diferente y un mayor nivel de complejidad en el proceso de aprendizaje, lo que lleva a la preferencia por Unity. También se compara con Godot, una herramienta que el autor ha utilizado, pero que, para los fines prácticos del proyecto, presenta menos documentación y potencia. Por lo tanto, se decide utilizar el entorno de desarrollo de Unity.

Además, se revisa el funcionamiento de la orientación en el sistema de unity. El cual usa los ángulos de Euler para un análisis visual de los datos de forma externa pero internamente hace uso de quaternion para representar la orientación. Lo anterior evita los problemas de singularidad o bloqueo presentes en el primer sistema. Para fines prácticos de la memoria basta con el conocimiento de los ángulos de alabeo, de elevación y de dirección para manipular las acciones y obtener datos.

Finalmente se revisan los diseños de juegos que usan punteros en su interacción para definir los diseños de las pantallas que son parte del proyecto, siendo validadas o modificadas según la opinión de expertos de dominio enfocadas directamente al público objetivo.

El capítulo 3, titulado “Diseño de la Solución”, se enfoca en las decisiones de diseño relacionadas con la estructura de software, las escenas que conforman los menús y cómo se realiza la transición entre ellas, ofreciendo una visión general del funcionamiento a gran escala. Luego se detalla el diseño de ambos juegos, considerando una articulación específica y la creación de juegos infinitos.

En el caso del primer juego, se centra en el hombro y su movimiento de separación, relacionándolo directamente con un personaje que tiene alas, el cual debe esquivar árboles en un bosque y recolectar manzanas. Estos elementos se generan de manera aleatoria a partir de un conjunto de obstáculos de manera individual. Por otro lado, el segundo juego se relaciona con el codo y su movimiento de extensión, incorporando acciones como correr, saltar y disparar en un juego tipo runner. Este juego incluye la gestión de una barra de energía, saltar obstáculos y derretir hielo con el disparo.

Además de los juegos, se diseñó un sistema que utiliza la orientación del joy-con como puntero, basado en un vector que apunta a un objeto en el menú correspondiente. Cada botón en el menú contiene un objeto que detecta el vector que permite activar la acción asignada al hacer clic. En este apartado, también se señala un problema de orientación observado en el joy-con.

El capítulo 4, titulado “Desarrollo de la Solución”, se hace referencia al desarrollo completo del prototipo, el conocimiento previo al inicio del desarrollo, y como se realiza cada parte observada en la arquitectura del software. Inicialmente se indica que el desarrollo se enfoca en pruebas de prototipos usando github como herramienta de manejo de versiones. Luego se pasa a explicar el funcionamiento general de los menús el cual es replicable para cada menú

particular. Además, se explican las funciones exclusivas de los menús de configuración y final del juego.

Se da paso al desarrollo de los juegos, donde se explica la solución al problema de orientación producido en el joy-con para poder medir los ángulos esperados durante la sesión de juego.

Para el caso del juego 1, se indica el funcionamiento de la mecánica principal, la cual funciona a partir de movimiento de la articulación del hombro reflejado en el joy-con, mostrando como se desarrolla la función que indica el esfuerzo realizado. Se indican los obstáculos y beneficios que entregan la complejidad del juego. Luego se muestra la escala de dificultad, enfocada en aumentar al gravedad a la que se ve sometido el personaje, el tiempo de aparición de los obstáculos, de los beneficios y a la velocidad que estos se aproximan a la pantalla. Finalmente se indica los datos obtenidos por el software en un archivo csv, como lo son el tiempo de juego, los ángulos de la articulación del hombro izquierdo y derecho, la variación de este mismo ángulo, el puntaje que lleva en el momento y la cantidad de manzanas tomadas. Se indica además los cambios que fueron parte de las sugerencias de los expertos.

Para el caso del juego 2, se indica el funcionamiento de la mecánica principal, creando una barra de energía que se carga realizando los movimiento de correr evaluados según el ángulo de movimiento del joy-con. Además, utilizando los datos de variación del acelerómetro para crear una medida que indica la potencia con la que se realiza un movimiento. Su funcionamiento es definir si realizó una acción o no y luego se usa para realizar la acción correspondiente. Se indica cuáles son los obstáculos y que este juego no contiene beneficios. los obstáculos tienen dos funcionalidades distintas, el pincho golpea al jugador y lo empuja en la dirección del golpe según una función descrita y el hielo simplemente empuja al jugador hacia el final de pantalla para causar daño. La escala de dificultad está definida por la magnitud de comparación para realizar una acción, el tiempo de aparición de los obstáculos y la velocidad de movimiento de los obstáculos. Las medidas obtenidas son el tiempo de juego, los ángulos del codo izquierdo y derecho, la variación de estos ángulos en el tiempo y el puntaje.

Los cambios sugeridos por los expertos fueron agregar personajes para permitir a los usuarios sentir identificación en el personaje. Se explica el funcionamiento del selector de personajes y como se diseñó la estructura del personaje.

Debido a que se cuenta con más de un videojuego surge la necesidad de desarrollar un selector de juegos, donde se indica el funcionamiento de este y como agregar un nuevo juego al sistema. Finalmente se aborda el desarrollo del software de revisión de los resultados el cual es un script de python para seleccionar el archivo y graficar los datos relevantes para los expertos. Se entrega un ejecutable del mismo.

El capítulo 5, titulado “Evaluación de la Solución” define el protocolo de experimentación. Lo primero que se establece es la definición del perfil de usuario que se busca para la prueba de software. Por razones de tiempo, debido a que buscar usuarios finales, niñas/os con problemas de movilidad en hombro o codo, podría no ser accesible, excediendo los tiempos de la memoria y por las consideraciones éticas que conlleva el proceso, es que se tomó la decisión de probar con personas simulando limitaciones de movilidad con codera u hombrera ortopédicas. Esto resulta ser significativo ya que permite validar las medidas que otorga el software y feedback

de los usuarios para generar oportunidades de mejora.

Para reclutar a los participantes se hace uso de las redes personales y de estudio. En el caso particular de la memoria se consiguió una muestra de 27 personas, una cantidad suficiente para la evaluación de un prototipo de videojuego a partir de cuestionario. El criterio de inclusión definido es que los usuarios tengan relativo conocimiento en juegos y controles de movimiento. La experiencia de los usuarios con este tipo de controles fue obtenida mediante autorreporte, con una encuesta que, mediante la realización de preguntas sobre el uso de controles de movimientos, permitían señalar el nivel de experiencia del usuario.

Se tuvieron en cuenta algunas consideraciones éticas, como no presionar al usuario durante el desarrollo de la experiencia, aparte de firmar un documento de consentimiento informado, en el cual se les explica todo sobre el experimento y sus derechos en este. Para poder ejecutar el experimento, se necesitó de un computador y dos controles de movimiento joy-con. La idea es que la muestra total se dividiese en dos para que estos grupos realizaran la prueba en un orden distinto, con el fin de evaluar la usabilidad como característica del software y no de la experiencia del usuario. Esta asignación de entornos se realizó según el orden de llegada a la experiencia, donde cada participante no sabía previamente en que grupo se iba a asignar, sin ningún orden impuesto a priori. La cantidad esperada de usuarios por grupo, se esperaba que oscilara, según la literatura, entre los 30-35. debido a que la prueba es parte de un proceso de prototipo, se realizó con 27 personas.

El experimento en sí corresponde a una prueba de aspectos cuantitativos en la que se utiliza el cuestionario NASA-TLX, cuyo objetivo es determinar la carga de trabajo percibida por el usuario durante el transcurso de la experiencia. Esta mide la carga mental y física, las exigencias temporales, rendimiento, esfuerzo y nivel de frustración. Todo este proceso se realizó en una sesión, donde se pedía firmar el consentimiento informado, llenar la encuesta previa, participar en las sesiones de juego y luego completar el cuestionario NASA-TLX con el fin de evaluar el proceso de cada juego. Los materiales usados y sus descripciones se encuentran explícitamente en el capítulo, junto con la definición específica de sus procesos y materiales usados en el anexo.

En el capítulo 6, titulado “Resultados” se muestran los resultados de la etapa de evaluación. Para eso se realizó la división de los resultados de la muestra en dos grupos. El primer grupo está compuesto por los participantes que probaron inicialmente el juego 1 y luego el juego 2. El segundo grupo lo componen quienes probaron el juego 2 y luego el juego 1. Luego en cada uno de los grupos se promediaron los resultados del cuestionario NASA-TLX. Además, usando los datos biométricos que capturó la aplicación se realizó un análisis para valorar la variación obtenida al agrupar por si usan codera, hombrera o son parte del grupo de control. Se hace una síntesis de los comentarios recibidos durante las sesiones para obtener recomendaciones y sensaciones para mejorar la aplicación.

En el capítulo 7, titulado “Análisis y Discusión de Resultados” se hacen los análisis y supuestos obtenidos a partir de los resultados. Se observa el esfuerzo requerido por los usuarios para aprender a jugar fuerte en un inicio, pero que consideran que el rendimiento también es similar al esfuerzo, por lo que al ser la primera vez puede que el esfuerzo baje y también aumente el rendimiento en pruebas siguientes. Se observa la exigencia temporal y física como parte de ambos juegos, un suceso esperable pero que puede ser reducido dependiendo de los

valores de dificultad dados según evaluaciones con expertos de dominio.

Además, en este capítulo se analizan los resultados del software confirmando que cumple con lo esperado. pero que los datos pueden estar sujeto a error por la forma de sostener el control y movimientos involuntarios de articulaciones no medido. Finalmente se identifican las oportunidades de mejora de la aplicación en general y de los juegos en particular, con sugerencias para darle solución o implementarlas. Los errores a los que hay que dar solución antes de una segunda prueba son: Modificar el obstáculo problemático y los ajustes de la cámara en el primer juego, corregir el problema de animación y la dificultad temporal en el segundo juego. y en general modificar la forma de cálculo de la posición del puntero.

En el capítulo 8, titulado “Conclusión y Trabajo Futuro” se documentan las reflexiones derivadas del proceso, incluyendo los aprendizajes y los resultados obtenidos. También se identifican las oportunidades de mejora identificadas durante la experimentación, junto con su nivel de importancia, con el objetivo de incorporarlas en futuras iteraciones. Se hace mención del producto obtenido en esta memoria y se destaca que la evaluación ha demostrado la usabilidad y funcionalidad del software. Se espera que en la siguiente iteración del desarrollo se aborden las oportunidades de mejora de alta importancia y se realice una prueba con pacientes clínicos para asegurar su usabilidad con usuarios objetivos, lo cual fue parcialmente cumplido en el desarrollo de esta memoria.

Capítulo 2

Trabajo Relacionado

2.1. Terapias

Para tomar las decisiones de diseño se revisó inicialmente los tipos de terapias de rehabilitación que se utilizan para ayudar a las personas a recuperarse de lesiones, enfermedades o discapacidades. La revisión fue realizada para definir el enfoque del videojuego. La principal referencia utilizada fue el manual Merck [7], en donde se obtiene los tipos de terapia junto a su función. Validando el enfoque en la terapia física y ocupacional con expertos de dominio. A continuación, se presentan algunos de los tipos de terapia de rehabilitación más comunes:

- **Terapia física:** La terapia física se enfoca en mejorar la función física y la movilidad. Los terapeutas físicos utilizan ejercicios y técnicas manuales para fortalecer los músculos, mejorar el equilibrio y la coordinación, y reducir el dolor.
- **Terapia ocupacional:** La terapia ocupacional ayuda a las personas a recuperar habilidades necesarias para realizar actividades diarias, como vestirse, comer, escribir y bañarse.
- **Terapia del habla y lenguaje:** Esta terapia se centra en ayudar a las personas a mejorar la comunicación verbal y no verbal, así como la capacidad de tragar.
- **Terapia respiratoria:** La terapia respiratoria se utiliza para tratar afecciones respiratorias y mejorar la función pulmonar.
- **Terapia psicológica:** La terapia psicológica o psicoterapia se enfoca en mejorar la salud mental y emocional de las personas.
- **Terapia ocupacional pediátrica:** Esta forma de terapia ocupacional se especializa en el tratamiento de niños y adolescentes. Los terapeutas ayudan a los niños a desarrollar habilidades motoras, cognitivas y sociales, y a superar desafíos relacionados con el desarrollo y el aprendizaje.

En estas terapias, algunos problemas son la deserción [16], y la poca adherencia a los tratamientos [14], por lo que se deben buscar formas de motivar a los usuarios, específicamente a los niños. Estos se ven interesados en videojuegos, por lo que su uso como herramienta terapéutica en usuarios que lo requieren es útil para este objetivo [11].

La rehabilitación mediante videojuegos [15] logra inserción dentro del juego, además de situaciones ideales para el usuario, permitiendo mejorar a su ritmo y bajo sus condiciones, motivando al usuario para lograr tiempos de uso elevados. En específico, como parte de las conclusiones desarrolladas por Muñoz, Henao y López [15], se observa que los videojuegos de rehabilitación se crean por la necesidad de obtener un sistema portable, económico, que no sea invasivo, que tenga una interacción natural con el paciente y dé una fácil implementación de uso por parte del personal médico.

2.2. Controles y motor gráfico

Específicamente para terapia física, los controles con sistemas capaces de obtener mediciones en el mundo real son necesarios para la obtención de datos biométricos sobre el usuario.

Al revisar posibles opciones de controles para consolas de videojuegos que cumplan con las características requeridas, se identifican tres alternativas destacadas. Wiimote de Nintendo [4] que cuenta con acelerómetro, giroscopio y una cámara infrarroja usada para medir la distancia al televisor. Kinect de Xbox 360 [6] que es un sistema con cámaras diseñado para detectar personas y sus movimientos. Por último, Joy-con de Nintendo Switch [1], donde un solo mando es un par de controles que cuentan con acelerómetro y giroscopio, permitiendo separar para obtener movimientos independientes para cada extremidad, sin agregar restricciones a la movilidad. Por consiguiente, se escogió los Joy-Con de Nintendo Switch para el desarrollo de este proyecto de memoria.

Cada joy-con (Figura 2.1¹) posee sensores de movimiento como lo son el acelerómetro y el giroscopio, y con un tamaño de 4,1 pulgadas de alto, 6,8 de longitud y 2,12 de profundidad es de fácil agarre y cuentan con Bluetooth 3.0 para la conexión con el dispositivo de manera rápida y eficiente, mejorando el caso de Wiimote que posee Bluetooth 2.0, y Kinect que se usa para movimientos amplios del cuerpo, por lo que no es lo suficientemente preciso para el movimiento de algunas articulaciones, especialmente las más pequeñas y con poco rango articular.

A partir de reuniones con fisiatras de COANIQUEM se determinó que se requería para el análisis del médico obtener los datos del rango articular según el movimiento que se realice y cómo el joy-con se sostenga en la mano. Debido a esto se definió el enfoque hacia los brazos, específicamente a las articulaciones del hombro en los movimientos de separación y aproximación y en el codo con movimientos de extensión y flexión en dos juegos distintos.

Con el fin de obtener estos datos se revisó las opciones de obtención de los datos enviados desde el joy-con por medio de Bluetooth. Se encontró la librería hidapi [5] basada en la conexión del Wiimote a un computador y modificada para funcionar en conexión con el joy-con, la cual recupera la información del bus de datos y transforma estos binarios a funciones en sintaxis de Unity, permitiendo fácilmente obtener los datos del acelerómetro y el giroscopio para la orientación espacial.

Para el desarrollo de un videojuego se debe trabajar sobre un entorno de desarrollo para estos, entre las alternativas podemos considerar las siguientes:

¹Imagen obtenida de Nintendo

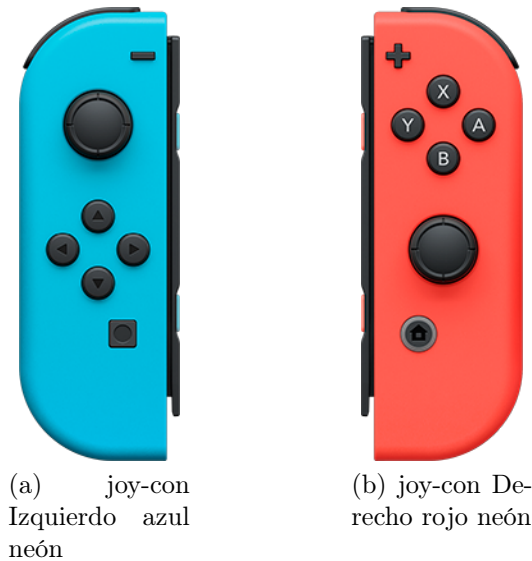


Figura 2.1: imagen de joy-con, colores utilizados en el desarrollo del videojuego.

- Unity debido a que posee el desarrollo previo con joy-con, posee herramientas de diseño para animaciones y creación de físicas, es de uso gratuito y posee documentación en la web por su uso masivo.
- Unreal engine puesto que es una herramienta conocida en el mercado, cuenta con herramientas de desarrollo y gran documentación, pero una sintaxis con complejidad mayor de aprendizaje.
- Godot ya que el autor conoce la herramienta de diseño, pero tiene menor documentación que las otras opciones

Dado todo lo anterior, Unity [20] es una buena alternativa y se escoge para el desarrollo.

2.3. Ángulos de Euler

Los ángulos de Euler [17] (Figura 2.2) son un conjunto de tres ángulos utilizados para describir la orientación de un objeto tridimensional en el espacio. Estos ángulos son comúnmente utilizados en mecánica rígida, aeronáutica, robótica y gráficos por computadora.

Los tres ángulos de Euler son los siguientes:

- Ángulo de alabeo (Roll): Representa el giro alrededor del eje X. Este ángulo indica el movimiento de inclinación hacia adelante o hacia atrás de un objeto.
- Ángulo de elevación (Pitch): Representa el giro alrededor del eje Y. Este ángulo indica el movimiento de inclinación lateral de un objeto, como una inclinación hacia la izquierda o hacia la derecha.
- Ángulo de dirección (Yaw): Representa el giro alrededor del eje Z. Este ángulo indica el movimiento de giro en sentido horario o antihorario alrededor del eje vertical de un objeto.

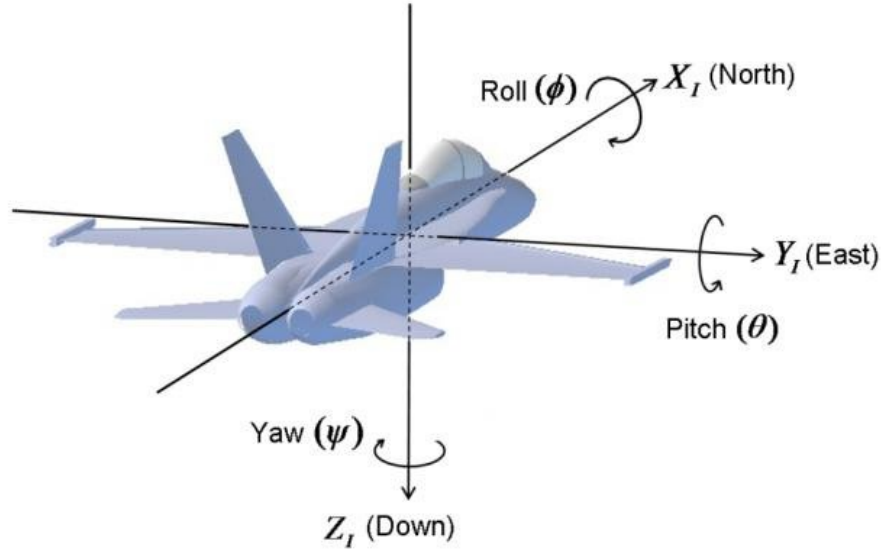


Figura 2.2: Ángulos de Euler

La combinación de estos tres ángulos permite describir la orientación completa de un objeto en un sistema tridimensional. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los ángulos de Euler pueden presentar problemas de singularidad o bloqueo cuando los tres ángulos se aproximan a ciertos valores especiales, lo que puede dificultar el control y la representación precisa de la orientación.

Los ángulos de Euler son utilizados por Unity para mostrar la orientación de un objeto, pero internamente hace uso de un sistema de cuatro ejes llamado quaternion que no presenta el problema de la singularidad.

2.4. Revisión de videojuegos con punteros a la pantalla en el mercado

Con el fin de crear una aplicación de simple uso para un rango etario de 5 a 15 años, edad de uso decidida en reuniones con expertos de dominio, se tomó la decisión de agregar un sistema de puntero asociado a la orientación del mando, siendo esta una forma más intuitiva de seleccionar acciones en la pantalla y limitar el uso de los botones en el mando siguiendo los lineamientos de COANIQUEM.

Dado esto, se consideró a modo de ejemplo los juegos diseñados exclusivamente para Wii, porque estos juegos se basan en un sistema de puntero y las acciones se realizan apuntando a la opción se quiere y presionando el botón de acción, como es el caso del menú principal de Wii (2.3a) o el menú de pausa de New Super Mario Bros. Wii (2.3b). En esta revisión se observó que los botones son grandes para ser más simple de apuntar con el mando y que al presionar la acción no se confunda con otra cercana.

A partir de análisis con expertos de dominio al realizar una demostración de avances, se consideró que las acciones de iniciar un juego requerían presionar una cantidad de botones elevada. Por lo que se decidió agregar una barra lateral que se cargue cuando un puntero este sobre un botón de acción y al terminar la carga accione esté, para simplificar el presionar el botón de acción.

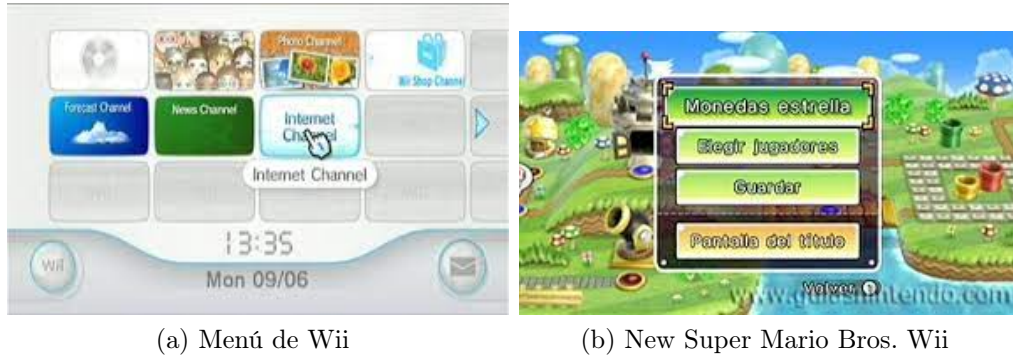


Figura 2.3: Diseños del mercado

Además, a partir de esta revisión se escogió el color del diseño de los menús de selección, un tono gris del celeste, ya que este no incomoda a la vista y permite visualizar los botones de manera simple. Se validó presentando las opciones de colores a los expertos de COANIQUEM.

Capítulo 3

Diseño de la solución

Se definieron los diseños de la solución en conjunto al médico fisiatra de COANIQUEM, presentando prototipos y recibiendo feedback de esto para realizar cambios, con lo cual se tomaron las decisiones que veremos en este capítulo.

3.1. Arquitectura del software

Inicialmente se diseñó una estructura de acceso para definir las escenas que contendrán el juego. Se creó pensando en la base de los juegos usado de ejemplo, validando con expertos de COANIQUEM el funcionamiento. Las escenas son las siguientes:

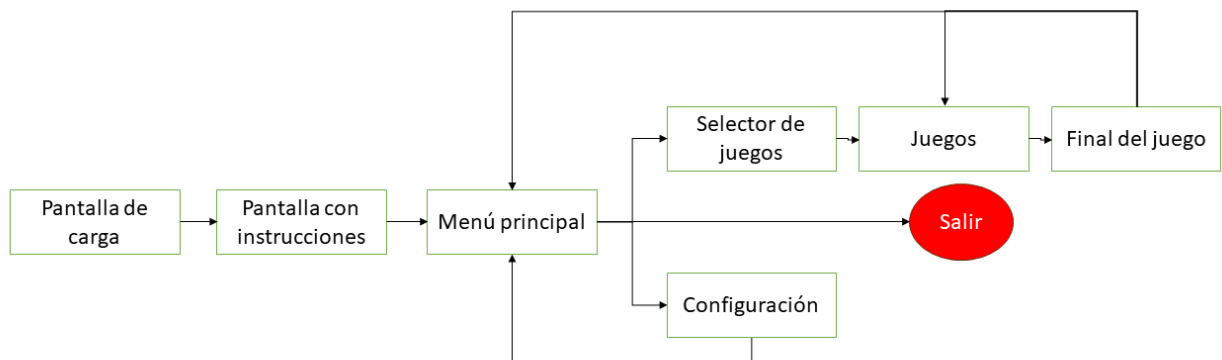


Figura 3.1: Estructura de acceso

- Pantalla de carga: Al abrir la aplicación aparece una pantalla con el texto cargando que permite cargar el script de joyconlib, que debe ser cargado una vez para evitar conflictos con esta librería, su duración depende del tiempo en cargar el script.
- Pantallas con instrucciones: Se indica como usar el botón de acción y calibrar los punteros en la pantalla.

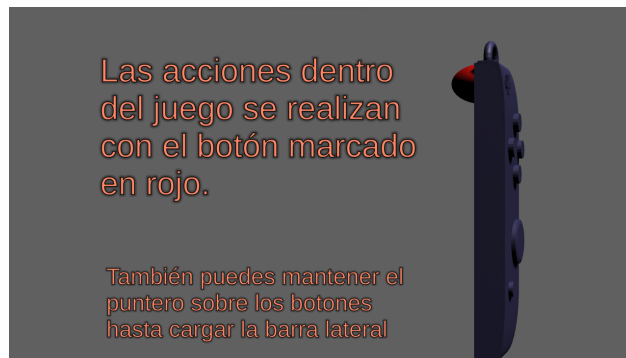


Figura 3.2: Pantalla con instrucciones

- Menú principal: Un menú con conexión mediante botones a un menú de selección de juego y de configuración, además de un botón para cerrar el juego.

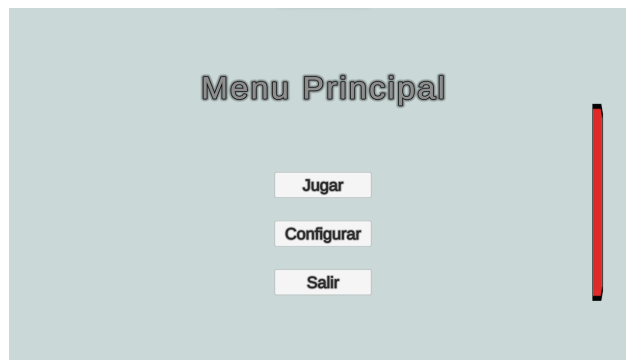


Figura 3.3: Menú principal

- Configuración: Este menú permite configurar la resolución, la pantalla completa, la calidad, el brillo y el volumen del juego mediante clicks del mouse, ya que esta sección está pensada para acceder por parte del supervisor.

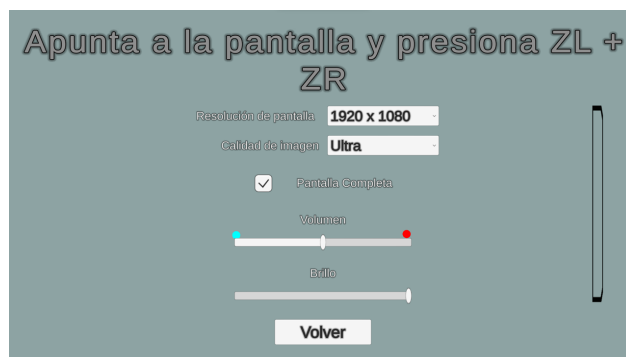


Figura 3.4: Configuración

- Selector de juegos: Este Menú contiene tres botones, el par izquierda-derecha que permite cambiar el juego seleccionado y el botón iniciar que inicia el juego seleccionado almacenando la información del último juego.
- Juegos: esta sección contiene la lógica de cada juego individualmente lo que se observa en la sección 3.2.



Figura 3.5: Selector de juegos

- Final del juego: este menú contiene el path del archivo almacenado durante el juego, un botón para volver a jugar y otro para volver al menú principal.



Figura 3.6: Final del juego

Inicialmente estos diseños no contenían la barra lateral de carga. Se agregó luego de una validación con expertos donde se consideró que la cantidad de botones presionadas para iniciar el juego era mayor a lo esperado y poco intuitivo y se debía disminuir. La misma barra fue validada en una segunda reunión.

3.2. Diseño de juegos

Se diseñaron ambos juegos a modo que no tengan un final. A este tipo de juegos se les llama “Endless Runner” específicamente, ya que se basan en esquivar obstáculos mientras se mueven en un espacio infinito y la única forma de terminar es perder en el juego.

3.2.1. Juego 1

El primer juego se pensó para medir el ángulo de abducción del hombro (Figura 3.7), es por esto que al observar el movimiento se tomó la decisión de usar este movimiento para mover un ala, generando independencia en cada brazo permitiendo comparar entre sí según rangos de movimiento angular. Este ejercicio fue validado por expertos de dominio.

La primera parte fue diseñar al personaje del jugador, una figura simple en el centro y un

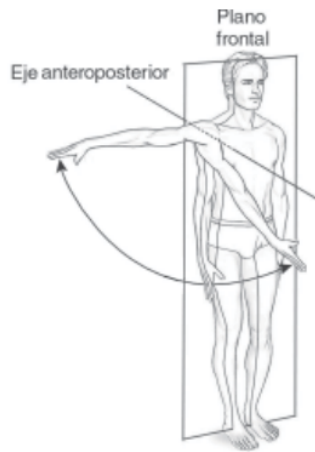


Figura 3.7: Movimientos de abducción-aducción sobre el eje anteroposterior del hombro derecho en el plano frontal [8].

par de alas manejadas por cada brazo de forma independiente. Es por esto que se definió un hada en un bosque debiendo moverse esquivando los árboles y alimentándose de manzanas, ambos diseños obtenidos desde Unity Assets Store.

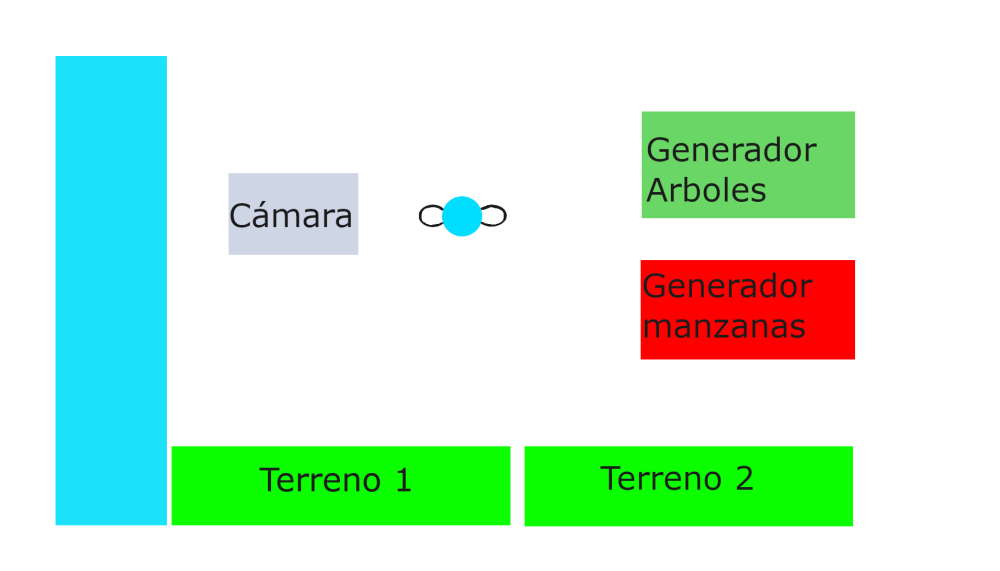


Figura 3.8: Estructura diseñada para el juego 1

Como parte de la idea se definió una estructura donde los objetos se generan, avanzan hacia la pantalla y se eliminan detrás de la cámara para los árboles y las manzanas, mientras que los terrenos con los árboles sin colisión se reutilizan ya que al salir de la pantalla se mueven al final del terreno para dar la ilusión que el terreno no termina en ningún momento. En la figura 3.8 se observa la estructura en 2d donde en celeste se encuentra la barrera donde se destruyen los objetos generados para no sobrecargar de objetos, en verde oscuro y rojo se observan los lugares donde se generan los árboles y las manzanas.

3.2.2. Juego 2

El segundo juego se diseñó para medir el ángulo de extensión del codo (Figura 3.9), un movimiento que se puede usar para simular el correr con los brazos, por lo que se pensó en un runner, pero con medidor de velocidad que aumenta según el movimiento. Se crean dos obstáculos, un pincho móvil en el piso que debe ser saltado y un hielo que debe ser destruido.

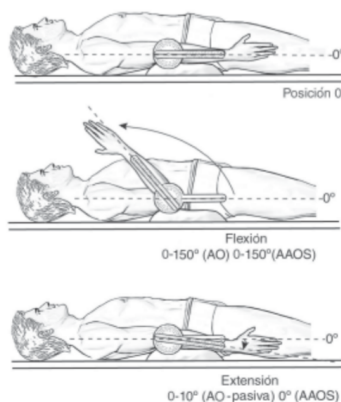


Figura 3.9: Flexión-extensión del codo derecho a partir de la posición 0 (paciente en decúbito dorsal) [8].

De manera previa al juego se pasa por una ventana de selección de personajes para elegir entre las opciones el personaje que se desee jugar.

La estructura del juego está pensada para no acumular información fuera de pantalla con una cámara estática, por lo que se diseñó un par de barreras laterales para destruir los obstáculos y para destruir el proyectil del personaje al salir de cámara en la figura 3.10 de color celeste. Para prevenir que el jugador se mueva fuera de la pantalla se puso un pincho en los bordes, así se deben mantener dentro de estos límites, en la figura 3.10 se muestran de color gris. Los obstáculos de pincho y de hielo se generan en el lugar de color negro y azul respectivamente.

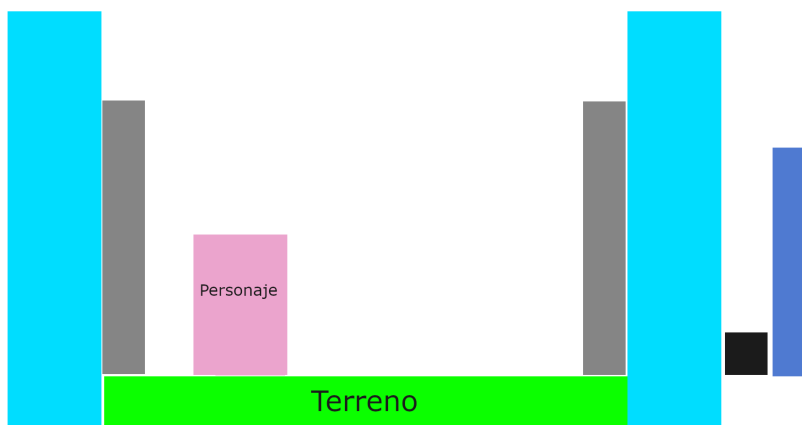


Figura 3.10: Estructura diseñada para el juego 2

Se asignaron los movimientos del usuario a acciones del personaje:

- Intercalado de los brazos: Aumenta la velocidad del personaje en pantalla. Si se detiene, el personaje reduce su velocidad gradualmente.
- Subir ambos brazos: Produce el salto del personaje, solo se produce si el personaje está tocando el piso.
- Bajar ambos brazos: Genera un proyectil desde el personaje hacia adelante, este proyectil destruye los bloques de hielo que no pueden ser saltados.

Para limitar el juego al recibir daño se crean tres acciones al recibir daño:

- Aturdido: El personaje no puede moverse por un tiempo
- Retroceso: Produce un retroceso del personaje cambiando drásticamente su posición.
- Inmunidad: Impide recibir daño de los enemigos móviles por un tiempo.

Los diseños de los personajes, y el ambiente provienen de Unity Asset Store, mientras que los obstáculos son diseños creados especialmente para el juego con ayuda de una persona con conocimientos en herramientas de dibujo digitales.

3.3. Diseño de los punteros

Para crear un puntero a partir de los joy-con se diseñó un sistema usando la orientación del mismo obtenida a partir de la librería con modificaciones en los ejes dada la diferencia de 90° entre el sistema de referencia de joyconlib y Unity.

Para este sistema se asignó a un cubo la orientación de joy-con a una distancia de 500 unidades de la cámara desde donde se genera un raycast, un rayo que entrega una salida en caso de chocar con algún objeto físico en Unity, con dirección desde el centro hacia la vertical. A cada botón se puso un collider de tres dimensiones, que aplica las físicas de Unity, para que al ser tocado con el raycast se dibujara un círculo en el lugar de colisión, además se asignó un plano detrás de los botones para poder seguir los punteros por la pantalla.

Dentro del movimiento brusco de los joy-con produce un error en los cálculos en la orientación. por lo que se debe calibrar cada cierto tiempo, las instrucciones de calibración se muestran al inicio, indicando que se debe apuntar a la pantalla con ambos controles y presionar ZL y ZR.

Capítulo 4

Desarrollo de la solución

La solución se realizó mediante pruebas de prototipos, el manejo de versiones se realizó con github ¹, además se incluye un documento de conexión de los joy-con por bluetooth a modo de tutorial para el supervisor (Anexo C).

De manera previa a desarrollar la solución se probó el funcionamiento de la librería Joyconlib, ya que esta contiene un ejemplo en Unity del funcionamiento de esta, en donde se observaron dos problemas:

- La orientación tenía un problema con los ejes de Unity (Figura 4.1), el cual significa rotar el objeto en 90 grados en el plano XY para cada objeto que use la orientación desde el joy-con (Figura 4.2).

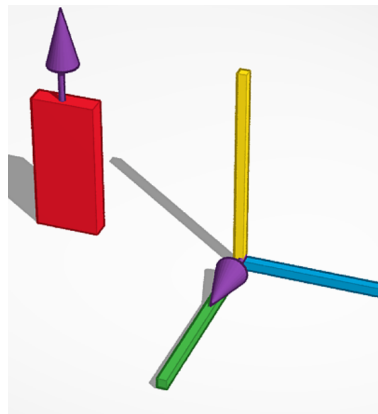


Figura 4.1: Problema de orientación con los ejes. El vector morado indica la dirección de la cara superior del joy-con.

- La orientación se ve alterada en movimientos bruscos debido a la suma del error de cada cálculo en la orientación que varía fuertemente con los datos del acelerómetro, sin modificar el ángulo con el eje vertical. Esto se puede solucionar volviendo a calibrar el joy-con, lo que modifica el ángulo del plano horizontal a 0. Pero en casos donde no

¹La versión final se encuentra en el link: github.com/EricContrerasP/UnityGame-Joycons

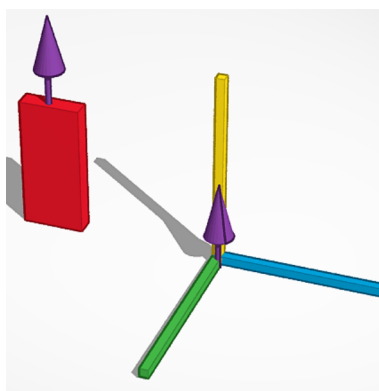


Figura 4.2: solución a la orientación con los ejes

es posible pedir al usuario esta calibración, se debe buscar una manera de ignorar la rotación añadida al objeto.

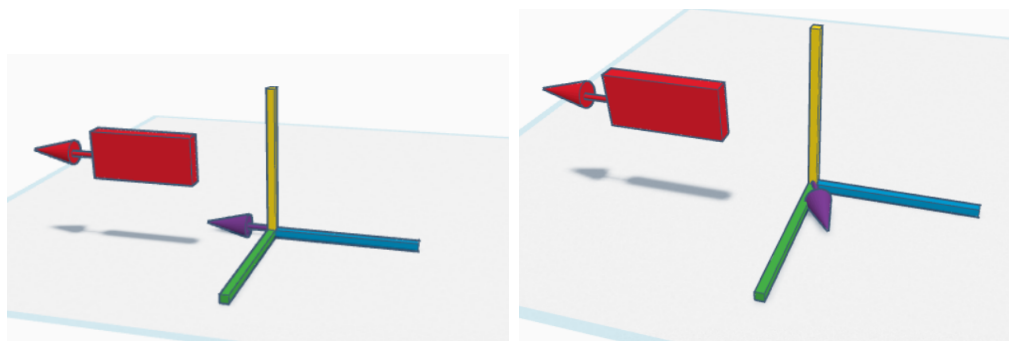


Figura 4.3: Problema por movimientos bruscos al jugar

4.1. Menús

El desarrollo de la solución inicia a partir de la estructura asignando las escenas básicas, las cuales son menús de acciones, para los que se construye un canvas que contiene, lo que podemos observar en la figura 4.4:

- TextMeshPro: Usados para escribir en títulos en pantalla.
- Button: Un botón o más clickeables que permiten accionar una función, este contiene un objeto 3d para ser detectado por un vector que surge desde los cubos.
- Raycaster: Un panel con un objeto 3d para que el mismo vector lo detecte, se encuentra en todo el fondo de la pantalla.
- Cubos: Cada escena de menú contiene 2 cubos que contienen la orientación de los joy-con y generan el vector en la vertical hacia arriba, simulando la punta del joy-con permitiendo apuntar a la pantalla, estos no se observan en la imagen ya que se encuentran detrás de cámara.
- Círculos: Se generan dos círculos que se pintan donde choque el vector con los botones o el Raycaster, uno de color celeste en el control izquierdo y otro rojo en el control

derecho, dada la distribución de los joy-con usada.

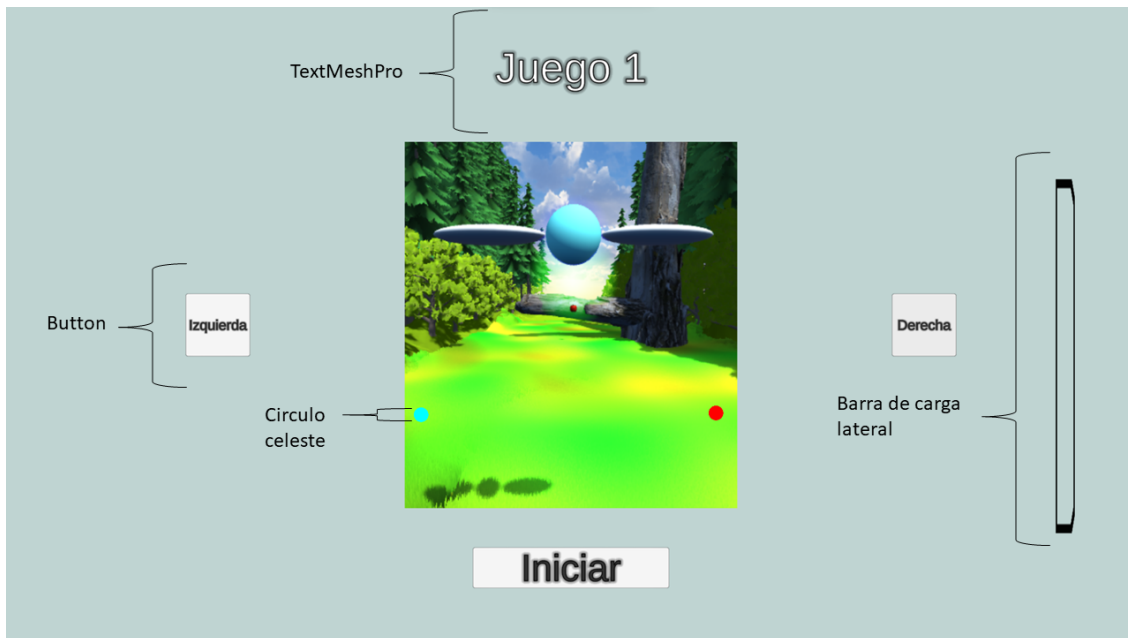


Figura 4.4: Imagen descriptiva de menú base en el software

4.1.1. Menú de configuración

Entre los menús el que más se distingue por tener distintas funciones es el menú de configuración (Figura 4.5), ya que este contiene las siguientes opciones de configuración dentro del juego:

- Pantalla completa: Es una casilla marcable que indica si el juego será en pantalla completa o en modo ventana. De manera interna modifica la variable `Screen.Fullscreen` con un boolean.
- Resolución de pantalla: Es un desplegable que contiene todas las resoluciones posibles para la pantalla del sistema donde se instale. Estas opciones se cargan al momento de abrir la escena desde la información de Unity.
- Calidad de imagen: Es otro desplegable que regula la calidad de la imagen modificando los ajustes según lo definido dentro de las opciones de Unity.
- Brillo: Es una barra deslizable que aumenta el canal alfa de un panel negro frente a la cámara, este valor va entre 0% y 90% para siempre tener un mínimo de color en la pantalla.
- Volumen: Una barra deslizable que modifica el volumen de la música en el juego, va del 0% al 100%, modificando el valor de volumen del componente `AudioManager` de Unity.

Este menú está pensado para el supervisor que se encontrará en la sesión de juego por lo que es manejable solo con el click del mouse.

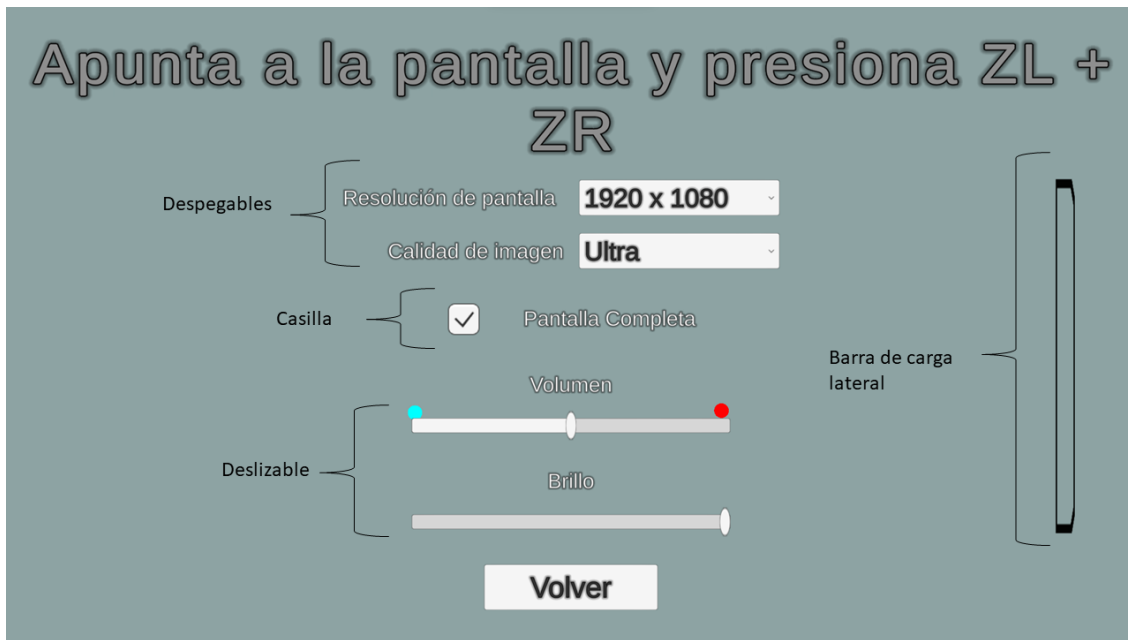


Figura 4.5: Imagen descriptiva del menú de configuración en el software

4.1.2. Menú final del juego

El Menú que se muestra al finalizar el juego (Figura 4.6) tiene una pequeña diferencia al resto, ya que este contiene un input donde se carga la ruta de acceso del archivo creado en el último juego. El input se modifica con el texto guardado al inicio de ambos juego en la variable de usuario "Path".

Si bien todos los archivos se guardan en la misma carpeta, acceder es complejo y se le da la facilidad de abrir directamente el archivo con la ruta. Está pensado para ser accesible desde el explorador de archivo y se creó un script con aplicación ejecutable para revisar los datos con gráficos que se revisa en la sección 4.3.

4.2. Desarrollo de los juegos

Los juegos fueron diseñados y desarrollados usando un patrón de diseño a base de prototipos, por lo que se presentan según las modificaciones a partir de las reuniones con expertos y sus validaciones. Ambos juegos presentan un tutorial indicando como hacer uso de las mecánicas del juego

4.2.1. Solución al problema de orientación

El problema de orientación se produce cuando se agita constantemente y durante un período prolongado el joy-con, lo cual incrementa el error en el ángulo registrado en el plano XZ de Unity. En otras palabras, el error se encuentra en la rotación vertical del joy-con, lo que implica que en una misma posición puede quedar orientado de diferentes formas.

El único ángulo que se mantiene constante a pesar de este error es el ángulo formado entre la vertical (eje Y) y la punta del joy-con. Dado que se espera que los movimientos para

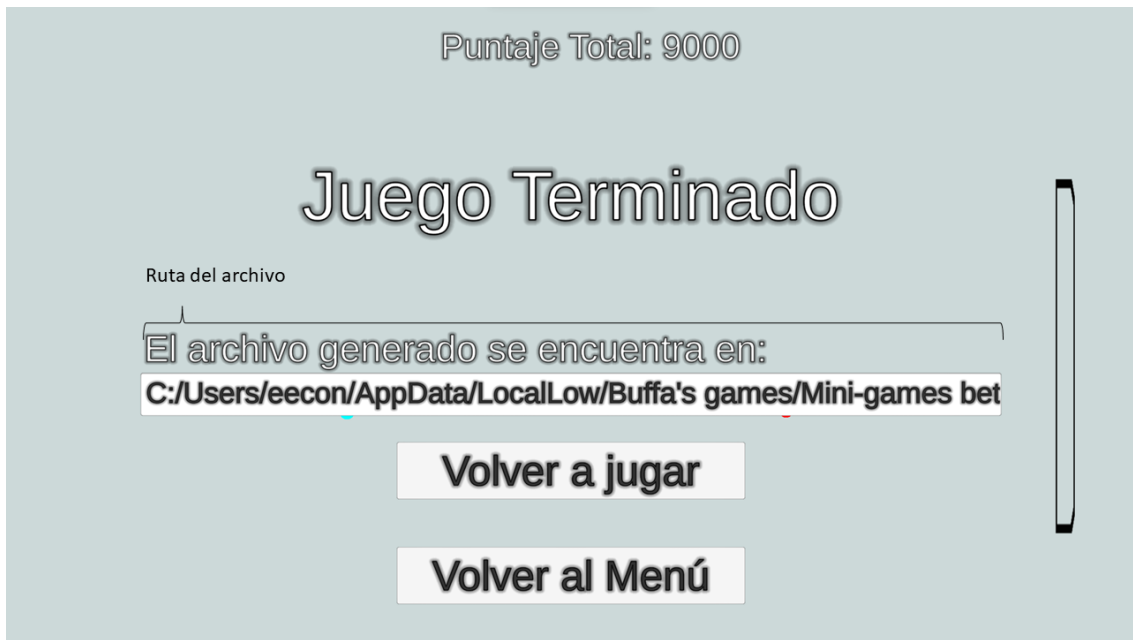


Figura 4.6: Imagen descriptiva del menú de fin del juego en el software

realizar acciones dentro de los juegos se realicen únicamente en un eje, se decidió utilizar este ángulo para las variaciones utilizadas en los cálculos.

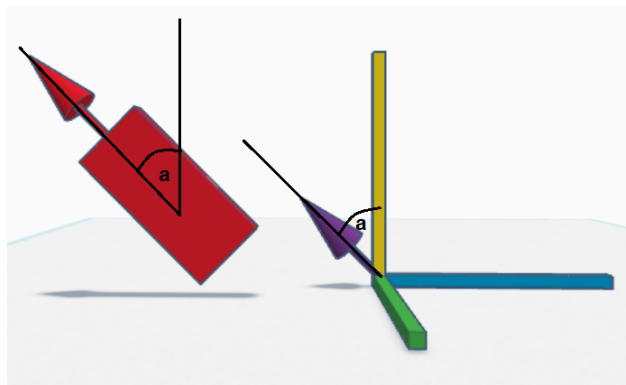


Figura 4.7: Posible posición del vector en la posición superior.

Entonces el procedimiento de la orientación y el cálculo del ángulo generado es el siguiente:

- **Asignación:** El primer paso dentro del juego es asignar la orientación de cada joy-con a cada objeto, en este caso un cubo. Este paso se realiza solo una vez al inicio de la escena.
- **Rotación:** El cubo debe ser rotado en 90 grados en x según los ángulos de Euler.
- **Calculo del ángulo:** El ángulo debe ser calculado entre el vector que apunta hacia arriba en el espacio de Unity y el vector que representa la punta del joy-con, generado a partir del cubo.

Con estos pasos el reconocer el ángulo de inclinación del joy-con finaliza. Se debe usar el mismo para almacenar los datos y realizar las acciones del juego.

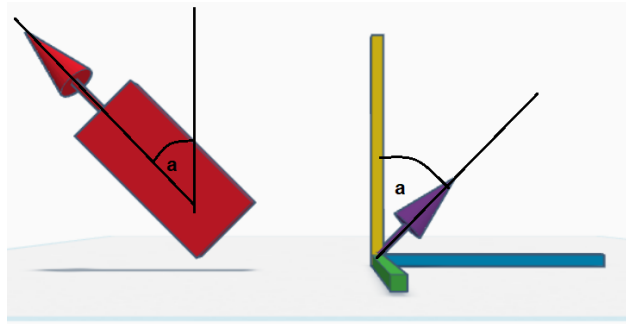


Figura 4.8: Otra posible posición

4.2.2. Juego 1

El juego 1 explicado en la sección 3.2.1 se desarrolla según lo planteado en un ambiente 3d, como se observa en la figura 4.9. En la figura se observa uno de los árboles diseñados como obstáculo, una manzana que recupera vida y otorga puntaje extra, y el personaje con toda la vida y su puntaje actual.

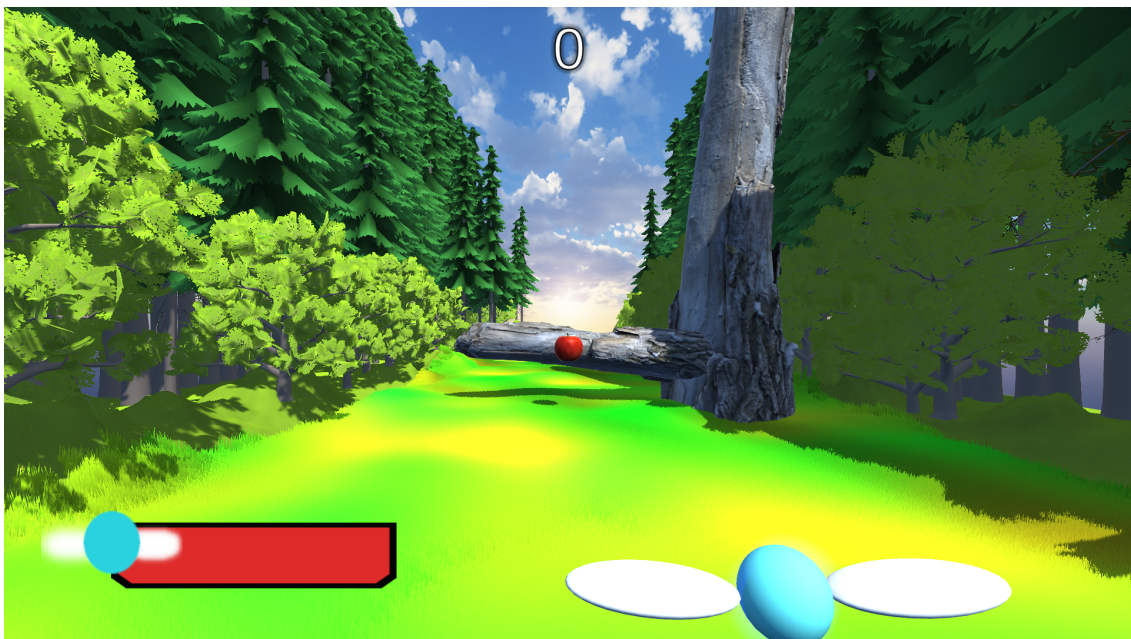


Figura 4.9: juego 1 se observa el personaje con toda la vida, una manzana y un árbol

Mecánica principal

La mecánica principal del juego 1 es volar, por lo que se crea el efecto de volar a partir del movimiento de los brazos reflejado en el ángulo del joy-con. Para producir el efecto deseado se creó inicialmente un cálculo que usaba el ángulo de manera lineal, determinando la variación de este para crear una fuerza proporcional, usando además una fuerza de modificación y la variación del tiempo. la fórmula era la siguiente:

$$grad = \Delta\angle * F * \Delta t \quad (4.1)$$

Se calculaba un gradiente dependiente del ángulo y la variación de tiempo para cada brazo, si este valor es positivo entonces baja el brazo, y en caso contrario lo sube. Si el valor es positivo se mantiene y en caso de ser negativo se deja igual a 0 para no penalizar en caso de subir el brazo.

La dirección vertical se calcula con el promedio simple de cada gradiente menos la aceleración de gravedad que varía según el puntaje obtenido y la dirección horizontal se obtiene a partir de la diferencia entre ambos gradientes.

A partir de reuniones con el experto se determinó que el esfuerzo realizado para mantener el brazo en un ángulo cercano a 180 es mayor y debía ser recompensado, por lo que el gradiente cambio a tener una dependencia a la raíz octava del ángulo menos 1 aumentando también la fuerza de modificación, quedando finalmente como:

$$grad = (\sqrt[8]{\angle} - 1) * \Delta\angle * F * \Delta t \quad (4.2)$$

Esta ecuación se obtuvo a partir de prueba y error, evaluando el índice de la raíz y el multiplicador de fuerza para producir el efecto deseado.

Obstáculos y beneficios

Para el juego se diseñó un conjunto de cinco obstáculos que son árboles y dos beneficios que son manzanas, ambos comparten el script que define la velocidad en la que se acercan a la cámara. Los árboles se crean a partir de un prefab modificando la posición de los troncos que pueden colisionar con el jugador y un marcador para aumentar el puntaje al pasar por la posición. Estos árboles se seleccionan de manera aleatoria en un generador de obstáculos y se crean luego de un tiempo determinado para ser destruidos. Pasar cada obstáculo otorga 100 puntos.

En el caso de las manzanas se usan dos con el mismo diseño cambiando el color a dorado en una. Para seleccionar la que debe aparecer se usa un script similar al generador de obstáculos, pero con una posición variable en el tiempo para que las manzanas aparezcan aleatoriamente por la pantalla y con un tiempo distinto al determinado anteriormente. Tomar la manzana roja otorga 200 puntos y la dorada 500 puntos.

Escala de dificultad

La escala de dificultad se encuentra definida por un script que modifica cuatro valores dentro del juego, los cuales son:

- Gravedad: La gravedad aumenta en un 20 % en cada cambio. Inicialmente es de 8.
- Tiempo de aparición de los obstáculos: El tiempo que toma en aparecer un nuevo obstáculo se reduce en un 20 %. Inicialmente es de 5.
- Tiempo de aparición de las manzanas: El tiempo que toma en aparecer una nueva manzana aumenta en un 10 %. Inicialmente es de 5.
- Velocidad: La velocidad aumenta en un 25 %. Inicialmente es de 5.

Estos cambios se realizan al alcanzar los valores requeridos en el puntaje, los cuales se define por la secuencia definida por $400 * 2^n$. La escala de dificultad fue probada y validada por expertos de dominio, probando la dificultad agregada con el paso del puntaje.

Medición obtenida

El juego al iniciar crea un archivo en el persistent path de la aplicación, el archivo tiene por nombre “Angulos-” y luego del guión una marca de tiempo que contiene la fecha y hora actual. Además, en la primera fila se escriben los títulos de cada columna.

Los datos que se obtienen por cada frame de juego son los siguientes:

- Tiempo: Se anota el tiempo que lleva de juego la partida.
- Ángulos: Se anotan los ángulos de la articulación del hombro izquierdo y derecho.
- Variación de ángulo: Se anota la variación de ángulo en relación con el valor anterior.
- Puntaje: Se guarda el puntaje en cada frame.
- Manzanas: anota la cantidad de manzanas que lleva hasta el momento.

Las métricas fueron sugeridas por el médico fisiatra. Validado por los expertos de dominio, siendo el conjunto de datos completo para el análisis esperado.

Cambios sugeridos por expertos

En reunión con expertos de COANIQUEM se propusieron los siguientes cambios para la aplicación, pensando en que esta desarrollada para niñas/os de 5 a 15 años con dificultad en la movilidad:

- Sensibilidad: Se sugirió aumentar la sensibilidad del movimiento. Por lo que la vertical paso a ser la suma de ambos gradientes y la horizontal se mantiene como la diferencia entre ambos valores, pero multiplicando por 2.
- Tamaño de las manzanas: tomar las manzanas se volvió difícil por su tamaño, por lo que se cambió el tamaño de las manzanas escalándolas en 4.
- Dificultad de esquivar obstáculos: Un obstáculo usaba gran parte de la pantalla por lo que se volvió difícil de esquivar, por lo que se redujo su tamaño para que el personaje pase en algunos puntos sin recibir daño.

4.2.3. Juego 2

El juego 2 explicado en la sección 3.2.2 se desarrolla en un ambiente 2d, como se observa en la figura 4.10. En la figura podemos observar al personaje seleccionado con su barra de vida y su barra de energía cargada al centro, un pincho y un hielo, además de los pinchos laterales que no se mueve.

Mecánica principal

La mecánica principal del juego se basa en el movimiento en el ángulo que se forma en el codo al correr. A partir de esto se desarrollaron las acciones vistas en la sección de diseño.

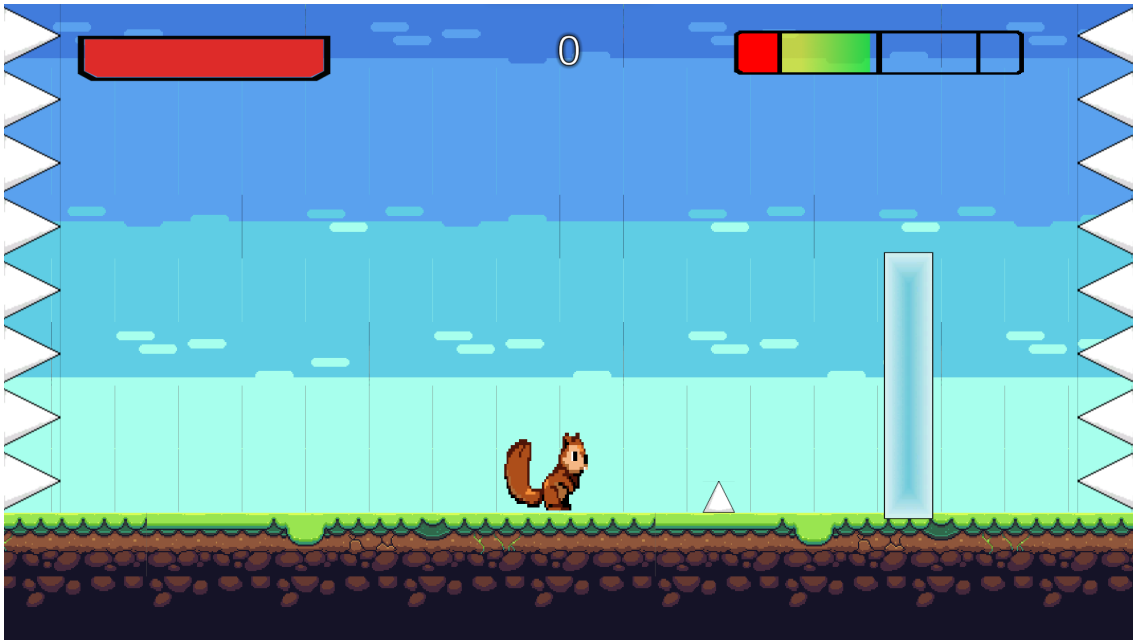


Figura 4.10: juego 2 se observa el personaje con toda la vida, un pincho y un hielo

Para aumentar la energía la condición es que la variación de ángulos sea una positiva y la otra negativa, definiendo la ganancia de energía como la suma de los valores absolutos de cambio de ángulo multiplicado por la variación de tiempo y por la razón entre 0.08 y la magnitud de comparación definida en la escala de dificultad. El valor de la razón se obtuvo a partir de prueba y error.

Por otra parte, se calcula la magnitud del vector de variación de aceleración definido por la resta del dato obtenido del acelerómetro en el frame anterior y el actual, usando la ecuación de norma de un vector, $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

Usando la magnitud para comparar aceleraciones, en caso de que esta magnitud supere el 0.1 entonces se realizó la acción de salto o de disparo, estas se diferencian ya que además se usa la diferencia de ángulo, si es mayor que 10 entonces es un salto, si es menor que -10 entonces es un disparo. En caso del disparo también pasa por una prueba lógica de enfriamiento del disparo, el cual es un timer desde el ultimo disparo que si es menor a 2 entonces no puede disparar.

Estos valores fueron obtenidos a partir de prueba y error, evaluando en tres intentos al realizar el cambio para comprobar el funcionamiento de cada acción al modificar una a una cada variable.

Obstáculos y beneficios

Los obstáculos presentes en el juego son tres, un par de pinchos que se encuentran en los bordes laterales de la pantalla, pinchos móviles en el piso y un bloque de hielo.

Los pinchos causan daño y producen retroceso según el lugar donde golpee al jugador definido por la ecuación, donde reboundSpeed es un vector en dos dimensiones definido para

el personaje y `PointHit` es un vector de dos dimensiones, siendo el punto donde golpea el pincho al jugador:

$$velocity = (-reboundSpeed.x * PointHit.x, reboundSpeed.y); \quad (4.3)$$

Además, al recibir daño pierde el control por lo que no se puede mover, recibir daño de otras fuentes ni tocar otros obstáculos por un tiempo. El hielo por su parte solo bloquea el paso y empuja al personaje hacia el fin de la pantalla para causar daño con los pinchos en el borde. No presenta beneficios obtenibles dentro del juego.

Escala de dificultad

- Comparador de magnitud: La magnitud que se compara con la de aceleración aumenta en 20 %, volviendo más difícil el saltar y disminuyendo la ganancia de energía.
- Tiempo de aparición de los obstáculos: El tiempo que toma en aparecer un nuevo obstáculo se reduce en un 20 %. Inicialmente es de 5.
- Velocidad: La velocidad aumenta en un 10 %. Inicialmente es de 5.

Estos cambios se realizan al alcanzar los valores requeridos en el puntaje, los cuales se define por la secuencia definida por $400 * 2^n$. La escala de dificultad fue probada por expertos de dominio sugiriendo cambios a la rapidez de los objetos.

Medición obtenida

En el primer frame de juego se crea el archivo que guarda los datos, de la misma manera que se realiza en el juego 1. Los datos que se obtienen por cada frame de juego son los siguientes:

- Tiempo: Se anota el tiempo que lleva de juego la partida.
- Ángulos: Se anotan los ángulos del codo izquierdo y derecho.
- Variación de ángulo: Se anota la variación de ángulo en relación con el valor anterior.
- Puntaje: Se guarda el puntaje del momento.

Cambios sugeridos por expertos

Por parte de expertos se sugirió agregar personajes para aumentar la cantidad de usuarios que se vean identificados en el personaje que juegan. Esto se implementó agregando un menú de selección de personajes, este contiene una lista de objetos tipo player, donde cada player almacena su nombre, su imagen y la estructura que contiene las animaciones y el script de control. Por lo que, si se desea agregar un nuevo personaje, solo se asigna su diseño a un player nuevo y se agrega a la lista para que aparezca en el menú.

Los personajes se crean usando una plantilla base, donde cada uno tiene las mismas propiedades, es decir, la cantidad de vida, la energía, las habilidades creadas. Pero cada uno posee su propio diseño y estilo.

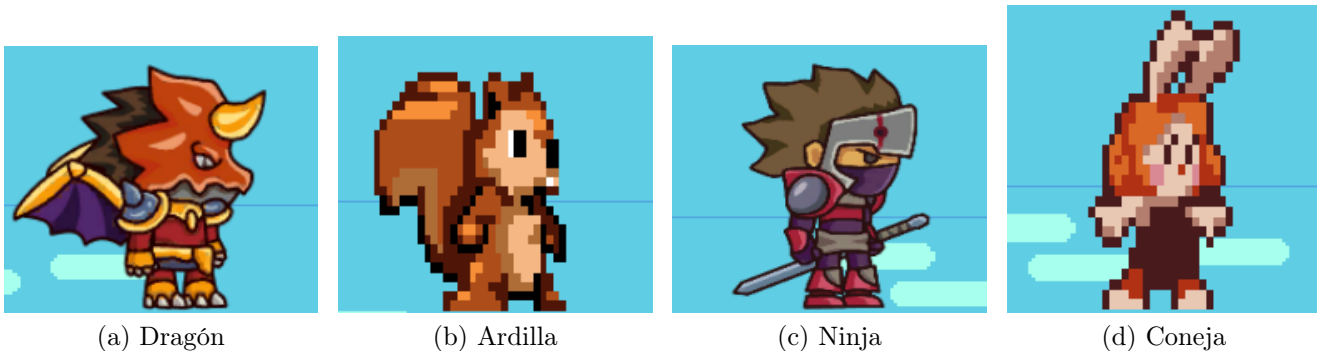


Figura 4.11: Personajes seleccionables

Los personajes creados inicialmente son los que se observan en la figura 4.11, cada uno tiene sus animaciones definidas y se cargan en el controlador de animaciones definido para activar las acciones sin importar a cuál personaje se seleccione.

Este controlador de animaciones funciona como fábrica, ya que se crea la estructura con sus condiciones y parámetros como base, que son modificadas a través de las acciones del usuario. Tiene la estructura observada en la figura 4.12, para cada personaje se crea cada animación y se sobrescribe, reemplazando a la por defecto, reteniendo al estructura original, los parámetros y lógica.

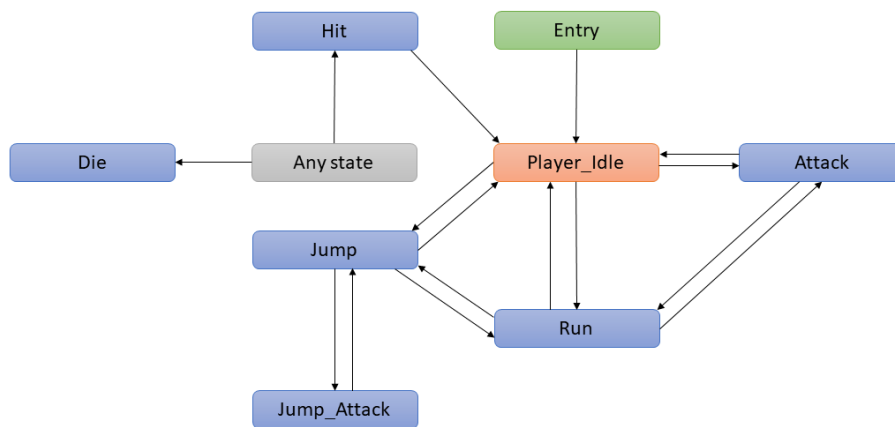


Figura 4.12: Máquina de estados del controlador de animaciones

4.2.4. Selector de juegos

El selector de juegos carga una lista que contiene objetos tipo Scenes, cada objeto contiene el nombre del juego, la escena que se debe cargar y una imagen representativa, de esta forma si se desea agregar un nuevo juego, se crea el objeto con la información y se añade a la lista,

evitando agregar código de manera innecesaria a la estructura.

4.3. Revisión de los resultados

Para revisar los resultados obtenidos al jugar, almacenados en un archivo csv, se creó un script en Python, usando Tkinter para diseñar una ventana flotante. El proceso de diseño se enfocó en crear una aplicación de baja dificultad, por lo que se pensó de forma minimalista llegando a solo dos botones, uno para seleccionar el archivo a observar y el siguiente para generar las visualizaciones.

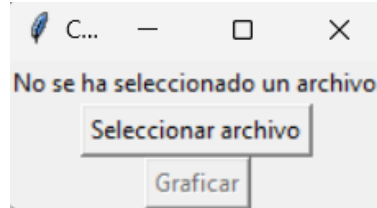


Figura 4.13: Aplicación sin archivo seleccionado

Al momento de cargar un archivo, se abre una ventana emergente (Figura 4.14) que permite seleccionar el archivo desde la ruta entregada en la aplicación.

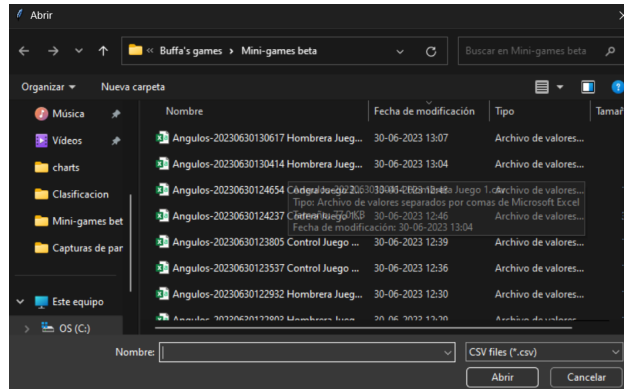


Figura 4.14: Ventana emergente

Al seleccionar se lee el archivo con la librería Pandas, usando como separador el punto y coma, y el decimal siendo la coma, ya que Unity transforma los valores flotantes a decimales con coma, además se elimina la última fila de los datos ya que se corrompe al momento de cambiar de escena. Finalmente se cambia el mensaje a la ruta del archivo y se habilita el botón para graficar.

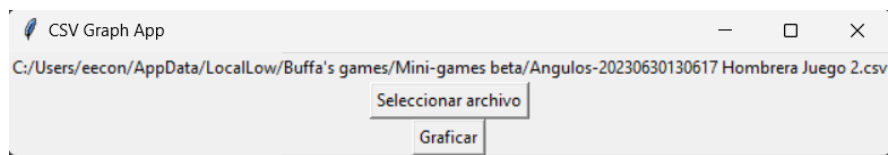


Figura 4.15: Aplicación con archivo seleccionado

El gráfico es generado con matplotlib usando su herramienta para visualizar, definiendo los colores rojo para la mano izquierda y celeste para la derecha, según la opinión de expertos de COANIQUEM.

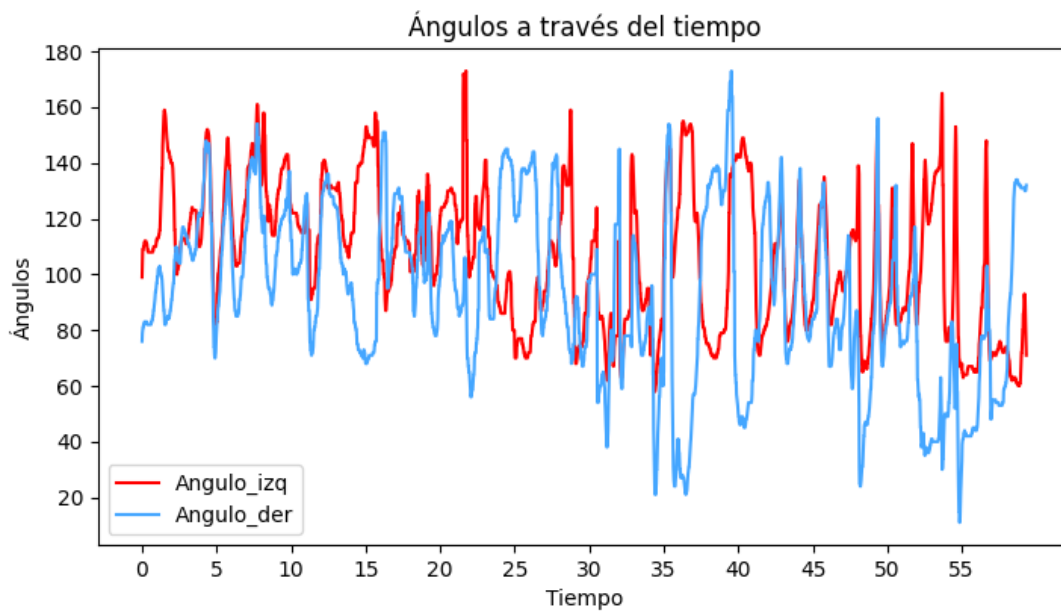


Figura 4.16: Gráfico de ejemplo creado a partir de los datos del archivo

Capítulo 5

Evaluación de la solución

5.1. Definición de la evaluación

Debido a que la evaluación con usuarios finales puede ser compleja en temas de tiempo y el videojuego debe ser evaluado para no ser riesgoso en el uso para esta población objetivo, se decidió realizar una prueba de concepto en personas que no tienen dificultades en la movilidad articular. Con esto la muestra se compone de personas de 18 a 26 años, reclutadas a partir de un formulario web de inscripción voluntaria con una muestra de 27 personas para ser divididas en 2 grupos. Esta muestra es con el fin de asegurar una baja curva de aprendizaje en la aplicación creada, y que las mediciones obtenidas posean validez para ser usadas como métricas de evaluación en los rangos de movilidad articular. En una próxima iteración del proyecto se espera evaluar con paciente clínico. En caso de realizarse, se requiere pasar por comité de ética de la institución y de la FCFM.

5.2. Protocolo de experimentación

Se diseñó un protocolo de evaluación del tipo prueba de concepto. Se realiza un cuestionario previo para obtener el conocimiento del usuario en experiencias con controles de movimiento. Con respecto a esta información se distribuye la muestra en dos grupos: una que prueba el juego 1 y luego el 2, y la otra prueba el juego 2 y luego el 1.

En ambas muestras se distribuyen en tres grupos: uno de control, otro con limitaciones de movimiento en el codo izquierdo con una codera ortopédica y el último con limitaciones de movimiento en la articulación del hombro izquierdo con una hombrera ortopédica, con previo conocimiento de los usuarios a través del formulario de consentimiento.

Se solicita al usuario ingresar al juego definido previamente por la distribución, permitiendo que juegue libremente, observando como toma los controles y indicando una corrección a esto según corresponda. Luego se aplica una encuesta basada en el cuestionario NASA-TLX en el anexo A, con el fin de medir sus sensaciones durante el desarrollo de la prueba con respecto a las cargas de trabajo.

El objetivo del proceso es determinar la usabilidad de la aplicación desarrollada y confirmar que las métricas obtenidas por la aplicación coinciden con lo esperado según el grupo de análisis.

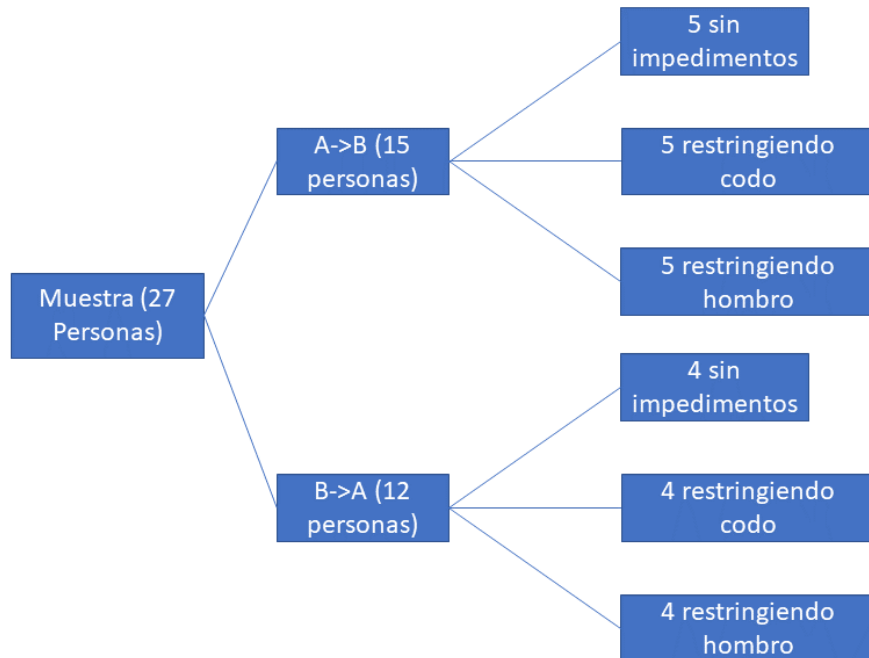


Figura 5.1: Distribución de grupos

5.3. Participantes

5.3.1. ¿Quiénes conforman la muestra?

Usuarios con experiencia relativa en controles de movimiento, con edad entre 18 a 27 años. Se realiza de esta manera ya que se espera que estos posean conocimientos en pantallas y videojuegos de manera nativa lo cual es esperable en el rango etario de uso del videojuego creado.

5.3.2. ¿Cómo se reclutaron los participantes?

Se utiliza tanto redes personales y foros de universidad para incentivar la participación en el estudio. Los participantes se podían inscribir a partir de un formulario web o simplemente llegar a participar en la actividad de forma voluntaria, por lo que no existe una selección estos al estar dentro del rango etario.

5.3.3. Categorización

- Género: Cualquiera

- Edad: Mayor de 18 años, menor de 27 años
- Conocimiento previo de la aplicación: Nulo o bajo
- Conocimiento previo en controles de movimiento: Nulo o relativo, en cuanto a funcionalidades en videojuegos.

5.3.4. Criterios de inclusión y exclusión

El criterio de inclusión es que el usuario se encuentre dentro del rango etario con una experiencia relativa en funcionalidades de videojuegos y controles de movimiento. El criterio de exclusión es cualquier persona que no cumpla este criterio.

5.3.5. Verificabilidad de la muestra

Con el fin de saber si el usuario tiene experiencia en controles de movimiento y en específico con los controles joy-con se realiza una encuesta previa a la experiencia, ejemplos de estas preguntas son:

- ¿Ha interactuado alguna vez con controles de movimiento en dispositivos electrónicos o videojuegos?
- ¿Ha utilizado algún dispositivo que incorpore controles de movimiento, como los Joy-Con de Nintendo Switch?
- ¿Sabe cómo utilizar controles de movimiento en un videojuego o aplicación?

Como son respuestas de sí y no se asigna un puntaje a cada una. La encuesta consta de nueve preguntas de este tipo y se encuentra en el Anexo A. Los resultados de esta encuesta son utilizados para conocer la habilidad de los usuarios y confirmar que con baja experiencia el juego es fácil de entender y de jugar.

5.3.6. Consideraciones éticas

Las consideraciones éticas durante el proceso de experimentación son no presionar a los usuarios de una forma que los pueda incomodar. Firmar el documento de consentimiento informado en el anexo A, en el cual se les explica a los usuarios el fin del experimento y sus derechos en este, como por ejemplo que los participantes pueden abandonar el experimento cuando quieran.

5.3.7. Posible sesgo en la muestra

Los posibles sesgos en la muestra se pueden ocasionar al momento de que los encuestados entreguen una respuesta que no corresponda a lo que realmente es al momento de verificar su nivel de manejo con controles de movimiento.

5.3.8. Tamaño de la muestra

Debido a que es un proceso basado en encuestas, el tamaño de la muestra debería ser por sobre los 30 usuarios por grupo. El número planteado por Holzinger como mínimo para este tipo de pruebas [13]. Debido a que es una prueba de concepto con público no objetivo,

el muestreo es menor al tamaño planteado con un total de 27 muestras. Esto influye en los resultados entregando una aproximación de la realidad.

5.4. Instrumentos de recolección de datos

En esta sección dedicada a los instrumentos utilizados en este estudio, se detalla las herramientas esenciales que facilitaron la recopilación de datos y la realización de análisis. Esta sección proporciona una visión completa de cómo estos instrumentos se aplicaron y calibraron, garantizando así que los resultados obtenidos sean sólidos y coherentes.

5.4.1. Tipo de estudio

Caso de estudio exploratorio, debido a que prioriza los puntos de vista de las personas. Los datos fueron recolectados mediante Google forms, para facilitar el proceso a los usuarios participantes.

5.4.2. ¿Cómo se recolectó la información?

Se hizo recolección solicitando que respondan la encuesta previa con su celular o en un dispositivo en la sala, la que se encuentra en el anexo A. Los datos de la aplicación se almacenan al momento de realizar la experiencia. Finalmente se pasa a responder el cuestionario NASA-TLX. Los datos de ambos cuestionarios se pasaron luego a un Excel, para hacer los estudios necesarios.

5.4.3. Calibración de los instrumentos

Los controles joy-con debían estar cargados y conectados previamente.

5.4.4. Validez y confianza de los instrumentos

NASA-TLX (Anexo A), es un método conocido que está estudiado y validado.

5.4.5. Limitaciones de los instrumentos: validez interna y externa

Por razones operativas solo se probó la configuración con el computador descrito.

5.5. Materiales

En esta sección, se presenta una detallada descripción de los materiales utilizados en el estudio, fundamentales para la obtención de resultados confiables y la interpretación de los hallazgos.

5.5.1. ¿Qué se necesitaba para el estudio?

Se necesitaba un computador con conexión bluetooth compatible con joy-con y dos controles joy-con, derecho e izquierdo, se necesitaba la aplicación instalada en el computador y

los joy-con conectados previamente vía bluetooth.

5.5.2. Condiciones de control y de variación

Control: Hardware utilizado. Las especificaciones del hardware utilizado son:

- Asus Tuf gaming A15:
 - Pantalla: 15,6", FHD (1920x1080) 16:9, Valor de nivel IPS, Pantalla antideslumbrante, 62.5 %, 47.1 %
 - CPU: AMD Ryzen™ 7 4800H (8 núcleos/16 subprocesos, caché de 12 MB, impulso máximo de 4,2 GHz)
 - GPU: NVIDIA® GeForce RTX™ 2060, GDDR6 de 6 GB
 - RAM: 16 GB DDR4
 - OS: Windows 11 Home
- Joy-con sin modificaciones, con su correa.

Variación: El grupo 1 prueba el juego 1 y luego el 2, mientras que el grupo 2 prueba el 2 y luego el 1 siguiendo una metodología de contrabalanceo.

5.5.3. Plausibilidad del estudio

Validado con expertos sobre la limitante en el movimiento usando una hombrera o una codera ortopédica. Validado con expertos en estudios de usabilidad en la población. El tamaño de la muestra está validado siendo un primer prototipo, según lo planteado por Holzinger.

5.5.4. Replicabilidad del estudio

El hardware esta especificado en el apartado de condiciones de control. El código fuente se encuentra en repositorio de github y se puede descargar una versión base de la misma página en el apartado Releases.

5.6. Definición del experimento

Se realizaron pruebas entre sujetos, considerando como grupos experimentales el orden de los juegos con el fin de estudiar la usabilidad de la interfaz sin conocimiento previo. El proceso de asignación se realiza según orden de llegada sin conocimiento ni asignación previa al grupo, tampoco un orden impuesto a priori. Con esto se controla la aleatoriedad de los grupos.

5.6.1. Proceso de experimentación

Los grupos experimentales deben ser independientes por lo que se distribuyen según orden de llegada. Inicialmente se realiza la encuesta de experiencia, para caracterizarla y poder obtener la voluntad de participación de los usuarios. Luego sigue el proceso de ejecución de la experiencia. Se comienza la sesión con una etapa de presentación en donde se le explica en que consiste el proceso, y cuál es la finalidad del videojuego.

Luego se inicia la experiencia correspondiente al grupo:

Grupo 1

1. Inicializa el juego
2. Carga la pantalla principal
3. Debe calibrar los controles
4. Selecciona jugar
5. Selecciona el juego 1
6. Recibe el tutorial
7. Juega libre
8. Se almacenan los datos
9. Pantalla de juego finalizado
10. Volver a menú principal
11. Selecciona jugar
12. Selecciona juego 2
13. Selecciona su personaje
14. Recibe el tutorial
15. Juega libre
16. Se almacenan los datos
17. Pantalla de juego finalizado
18. Fin de la experiencia

Grupo 2

1. Inicializa el juego
2. Carga la pantalla principal
3. Debe calibrar los controles
4. Selecciona jugar
5. Selecciona juego 2
6. Selecciona su personaje
7. Recibe el tutorial
8. Juega libre
9. Pantalla de juego finalizado
10. Se almacenan los datos
11. Volver a menú principal
12. Selecciona jugar
13. Selecciona el juego 1
14. Recibe el tutorial
15. Juega libre
16. Se almacenan los datos

17. Pantalla de juego finalizado
18. Fin de la experiencia

Fin de la experiencia

Se pide luego de la experiencia responder un cuestionario NASA-TLX para cada juego.

5.6.2. Replicabilidad del proceso

El proceso es replicable, pues se definen las componentes y los instrumentos utilizados en el anexo

5.6.3. Limitaciones del proceso

Con respecto a la validez interna se encuentra el dispositivo usado, sin probar otras especificaciones para observar el rendimiento. Con respecto al procedimiento, se tiene como limitación los instrumentos de recolección de datos, como NASA-TLX. Se probó con usuarios mayores de edad, lo cual es distinto a los usuarios finales de la aplicación. La cantidad de usuarios se encuentra dentro de los valores esperados para un estudio del primer prototipo de la aplicación.

Capítulo 6

Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del proceso de experimentación en general. Primero se muestran los resultados referentes a la caracterización de la muestra reclutada. Luego, para mostrar los resultados de la experiencia en sí, se dividió la muestra en dos grupos según los grupos de experimentación. Para hacer la presentación de esos resultados, se agruparon estos para las métricas de NASA-TLX. Finalmente, se presenta información adicional obtenida de las experiencias, con base en las opiniones de los usuarios, que aportan a generar oportunidades de mejora para el software probado. Todos los gráficos mostrados, tanto en este apartado como en el anexo, fueron realizados en el software RStudio.

6.1. Caracterización de la muestra

En este apartado se presentan los resultados referentes a la información básica de la muestra, como la edad, junto con los datos de la experiencia en controles de movimiento.

6.1.1. Tamaño de la muestra

Para el proceso de construcción de la muestra se realizó la invitación por medio de foro de la universidad y redes personales, además, se realizó la invitación a participar en salas de estudio. Usando este método se obtuvo una muestra de tamaño 27, quienes respondieron la encuesta inicial. Todos ellos completaron el proceso.

6.1.2. Información etaria de la muestra

Con respecto a los datos etarios de la muestra se tiene una edad promedio de 22.51 años, mediana de 23 años, mínima de 19 años y una máxima de 26 años. Esta variable tiene una desviación estándar de 1.52. La moda de la variable es de 23 años que cuenta con 12 representantes en la muestra. El histograma de la distribución de edades se puede ver en la figura 6.1.

Lo que sigue a continuación es la síntesis de los datos obtenidos en la encuesta inicial, que tenía como objetivo poder obtener la experiencia con controles de movimiento por parte del

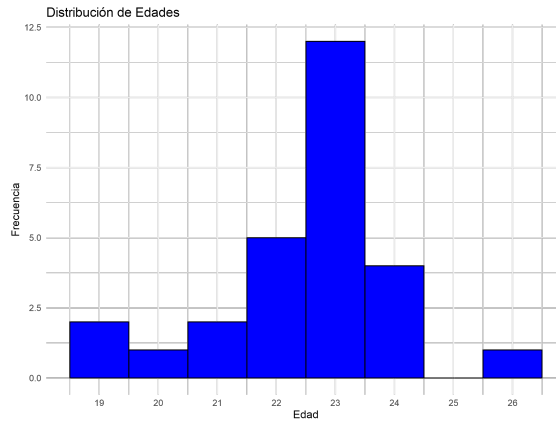


Figura 6.1: Histograma de distribución de edades para la muestra captada

usuario, con preguntas enfocadas al conocimiento y familiaridad que podrían tener con estos controles.

6.1.3. Encuesta inicial

Lo primero que se reporta son los valores relacionados con la puntuación de experiencia basada en las 9 preguntas que se hicieron en la etapa inicial. La forma en que se obtiene esta puntuación corresponde a la suma de respuestas si en el cuestionario ponderadas. La puntuación más frecuente es 30. Otros datos que se obtuvieron con respecto a esta métrica es que el mínimo fue de 2, la mediana fue 25, el puntaje medio fue de 23.26 y el máximo fue de 30. La distribución de puntajes de experiencia se grafica en el histograma de la figura 6.2.

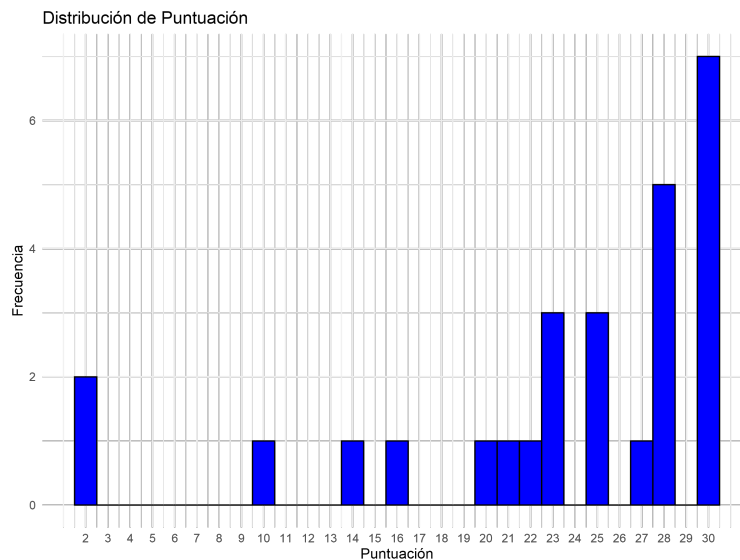


Figura 6.2: Histograma de distribución de puntuación de experiencia con controles de movimiento para la muestra captada.

6.2. Preparación del experimento

En esta sección se indican los resultados relevantes para preparar el experimento, para dejar equilibrado el cuanto a la cantidad de participantes por cada grupo.

6.3. Asignación por entorno de prueba

La asignación de entornos de prueba se realizó a modo que la cantidad de participantes por grupo quedará equilibrada en cuanto a cantidad de personas, por lo que se distribuyó según orden de llegada. Esto se realizó debido a limitaciones de tiempo para realizar el experimento, aceptando el consentimiento informado y respondiendo la encuesta de experiencia previa en la misma sesión donde se prueba el videojuego. Una vez todos los sujetos de la muestra pasaron por la experiencia, los grupos quedaron divididos de la forma que muestra el boxplot en la figura 6.3.

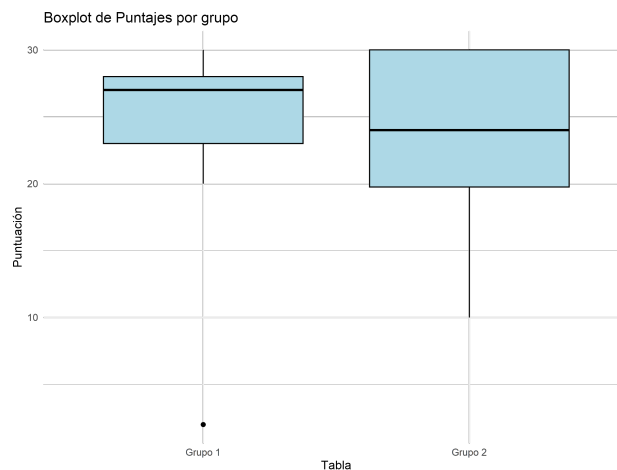


Figura 6.3: Boxplot de puntaje de experiencia con mandos de movimiento para ambos grupos al realizar el muestreo

Para el grupo 1 la puntuación de experiencia mínima es de 2 puntos, la mediana de 27 puntos y la máxima de 30. Por otro lado, para el grupo 2 la puntuación mínima es de 10, la mediana de 24 y la máxima de 30. Esto indica que los sujetos de estudio tienen experiencia en controles de movimiento y en videojuegos, por lo que las métricas obtenidas del software dependerá de su dificultad de juego y no tanto de los controles utilizados.

6.4. Resultados del experimento

Con el fin de evaluar cuantitativamente la carga de trabajo por parte del usuario en la totalidad de la experiencia se realizó el cuestionario NASA-TLX. Los resultados se presentan por submuestra y luego se agruparán todos en un boxplot, los datos se encuentran ponderados por escala a 100 según el proceso de NASA-TLX.

6.4.1. Grupo 1

La síntesis de los resultados del juego 1 para esta submuestra se tabulan en la tabla 6.1 y se grafican en la figura 6.4a.

Tabla 6.1: Resumen de resultados del cuestionario NASA-TLX para el grupo 1 en el juego 1

Dimensión Nasa TLX	Mínima	Mediana	Media	Máxima
Exigencia mental	10	40	42	80
Exigencia física	10	40	44,33	100
Exigencia temporal	10	40	37,33	70
Rendimiento	15	45	54,33	100
Esfuerzo	30	50	55,33	100
Nivel de frustración	5	20	19,67	40

A partir de la información presentada del juego 1, en promedio las dimensiones que obtuvieron mayor puntaje es el rendimiento y el esfuerzo, lo que significa que los usuarios de esta submuestra demostraron sentirse muy satisfechos con respecto a su desempeño dentro del juego, pero que el esfuerzo requerido para este desempeño es significativo.

Luego, hay 3 dimensiones que le siguen y que no se diferencian tanto en sus medias, las cuales son: exigencia mental, exigencia física y exigencia temporal. Estas 3 dimensiones tienen en promedio de puntaje cercano a 40 puntos, lo cual da paso a señalar que los usuarios tuvieron una carga mental media, una exigencia física del mismo nivel, en cuanto a la presión del tiempo al momento de realizar los requerimientos del juego del mismo nivel. Finalmente se ve una baja frustración sintiendo que el juego es justo en cuanto a dificultad y puntaje obtenido.

La síntesis de los resultados del juego 2 para esta submuestra se tabulan en la tabla 6.2 y se grafican en la figura 6.4b.

Tabla 6.2: Resumen de resultados del cuestionario NASA-TLX para el grupo 1 en el juego 2

Dimensión Nasa TLX	Mínima	Mediana	Media	Máxima
Exigencia mental	10	50	46,33	95
Exigencia física	5	30	29	55
Exigencia temporal	20	50	53	100
Rendimiento	5	35	44	95
Esfuerzo	10	50	46	90
Nivel de frustración	5	25	27,67	65

A partir de esta información podemos notar que la dimensión que obtuvo mayor puntaje es la de exigencia temporal, esto debido a que captan que el juego impone los obstáculos de manera muy constante y puede ser una dificultad para el contexto en el que se busca utilizar este juego.

Además, las dimensiones de exigencia mental, rendimiento y esfuerzo tienen una media cercana a la dimensión temporal, por lo que los usuarios sienten que se encuentran satisfechos

con su rendimiento en el juego, pero es un juego difícil de aprender y de una exigencia mental elevada a diferencia del primer juego.

Finalmente, esta submuestra puntúa bajo en exigencia física y en nivel de frustración, por lo que se indica que este juego no es demandante físicamente y no es injusto para este grupo.

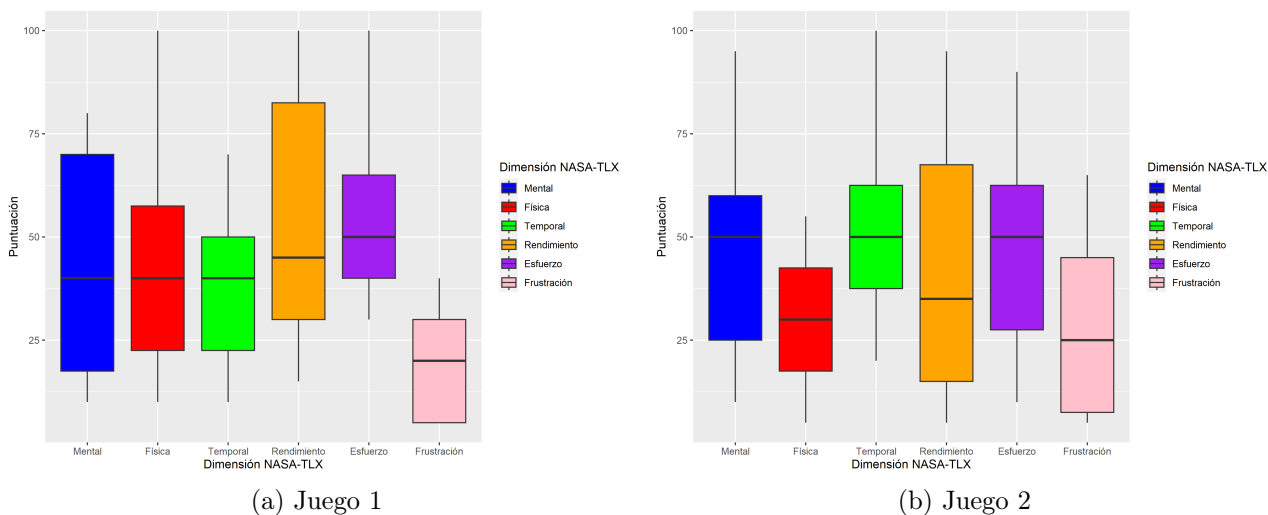


Figura 6.4: Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra grupo 1 en el cuestionario NASA-TLX.

Grupos de control, con coderas y con hombreras

Para comparar si existe una diferencia en el uso de un limitante físico, como una codera o una hombrera ortopédica, durante el juego 1 para este grupo, se presentan los resultados en la figura 6.5.

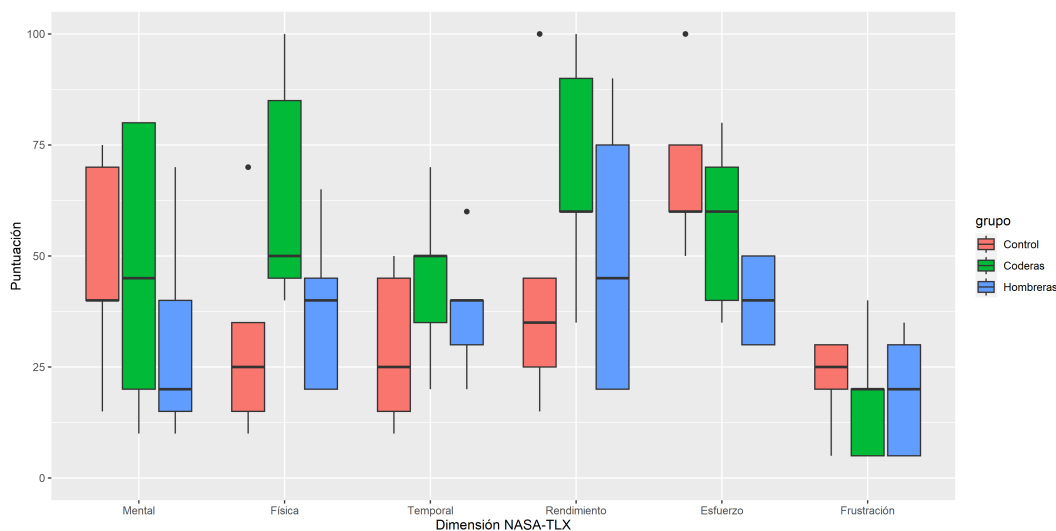


Figura 6.5: Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 1 en el cuestionario NASA-TLX.

Cada subgrupo consta de una muestra de 5 individuos. En esta figura, no se observa una mayor exigencia física, problemas de rendimiento significativos ni diferencias notables en el esfuerzo entre los dos grupos. Es importante tener en cuenta que debido al tamaño relativamente pequeño de la muestra, no podemos generalizar estos resultados para un grupo más amplio, pero proporcionan una idea inicial de lo que se podría esperar.

En el caso del juego 2, como se puede apreciar en la figura 6.6, se observa una mayor exigencia física relacionada con el uso de la codera, que es la articulación utilizada en el juego. Sin embargo, el rendimiento y el esfuerzo requerido se mantienen en la media, lo que sugiere que la limitación de movimiento afecta, pero solo en una dimensión específica del juego.

Estos hallazgos indican que el impacto de la limitante física, ya sea una codera o una hombrera ortopédica, puede variar según el juego y la articulación involucrada, y no necesariamente conlleva un deterioro significativo en el rendimiento general o el esfuerzo físico.

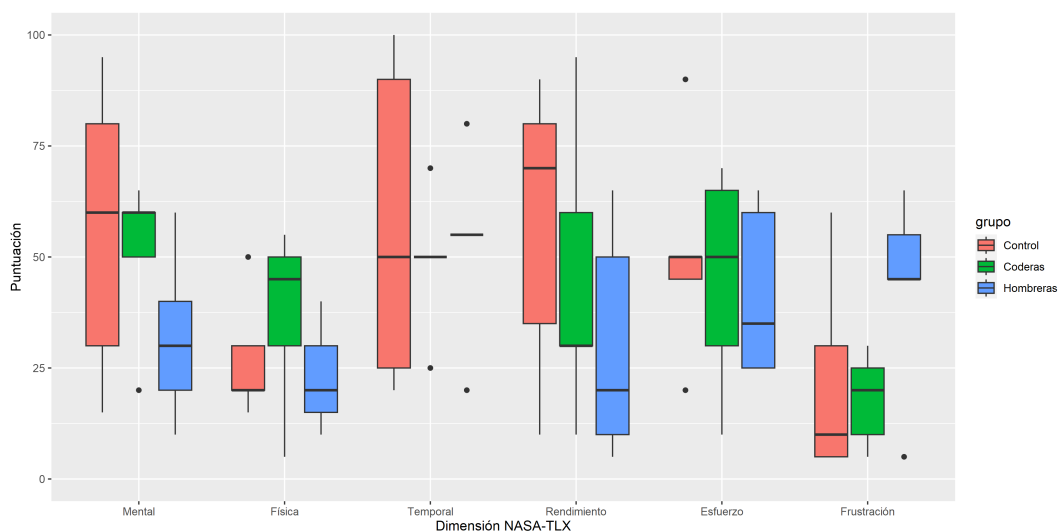


Figura 6.6: Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 2 en el cuestionario NASA-TLX.

6.4.2. Grupo 2

La síntesis de los resultados del juego 1 para esta submuestra se tabulan en la tabla 6.3 y se grafican en la figura 6.7a.

A partir de lo obtenido podemos reconocer que el usuario en general considera que el juego 1 tiene una exigencia física alta pero que a la vez el rendimiento obtenido es alto por lo que el usuario se siente satisfecho por el desempeño, le siguen las dimensiones de esfuerzo, temporal y mental, por lo que los usuarios tuvieron que realizar un esfuerzo obtener este desempeño, el pensar como pasar los obstáculos también requiere el mismo nivel de exigencia y el tiempo para realizar las acciones en juego esta al mismo nivel.

La síntesis de los resultados del juego 2 para esta submuestra se tabulan en la tabla 6.4 y se grafican en la figura 6.7b.

Tabla 6.3: Resumen de resultados del cuestionario NASA-TLX para el grupo 2 en el juego 1.

Dimensión Nasa TLX	Mínima	Mediana	Media	Máxima
Exigencia mental	20	37,5	41,67	65
Exigencia física	20	62,5	63,75	90
Exigencia temporal	20	47,5	45	70
Rendimiento	30	55	58,33	95
Esfuerzo	20	55	52,92	80
Nivel de frustración	5	20	27,08	75

Tabla 6.4: Resumen de resultados del cuestionario NASA-TLX para el grupo 2 en el juego 2.

Dimensión Nasa TLX	Mínima	Mediana	Media	Máxima
Exigencia mental	10	47,5	44,58	75
Exigencia física	5	22,5	28,75	70
Exigencia temporal	20	57,5	53,75	80
Rendimiento	5	30	33,75	70
Esfuerzo	10	50	48,33	85
Nivel de frustración	15	60	52,92	85

En los datos podemos observar que el usuario de esta submuestra considera que el nivel de exigencia temporal y de frustración son altos en comparación al grupo 1, esto es debido a la exigencia temporal impuesta por el juego es injusta según comentarios de los usuarios. le siguen las dimensiones de esfuerzo y de exigencia mental con un nivel medio de puntuación.

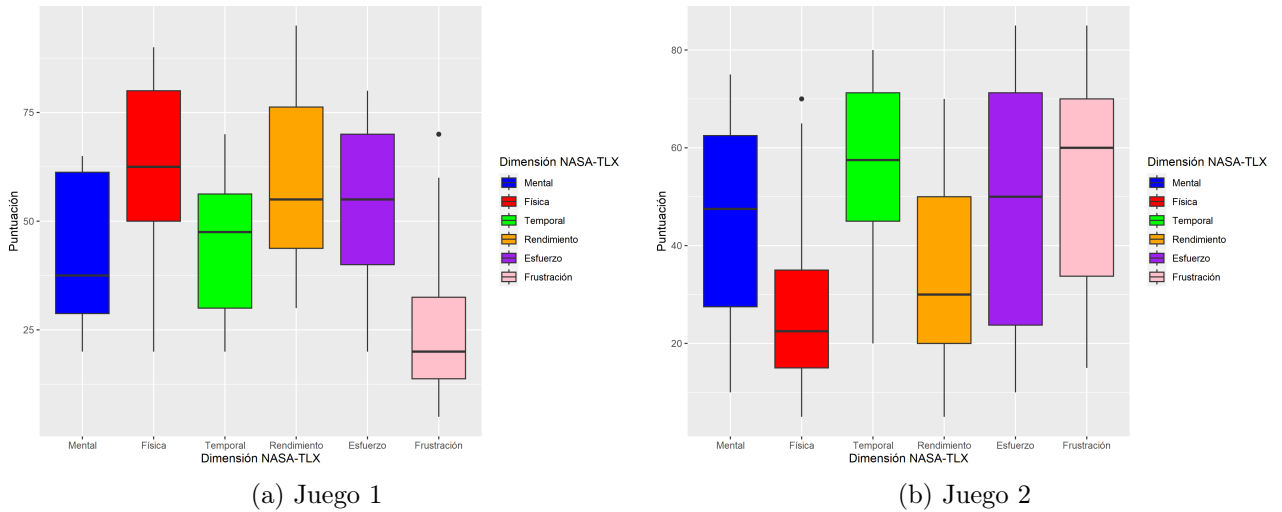


Figura 6.7: Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra grupo 2 en el cuestionario NASA-TLX.

Grupos de control, con coderas y con hombreras

En este grupo para el juego 1 podemos obtener la figura 6.8, en donde la submuestra que usa hombreras no presenta exigencia física mayor a la media, por lo que la limitante física

no es un impedimento para jugar, pero se observa un menor rendimiento lo cual puede ser reflejo de esta limitante.

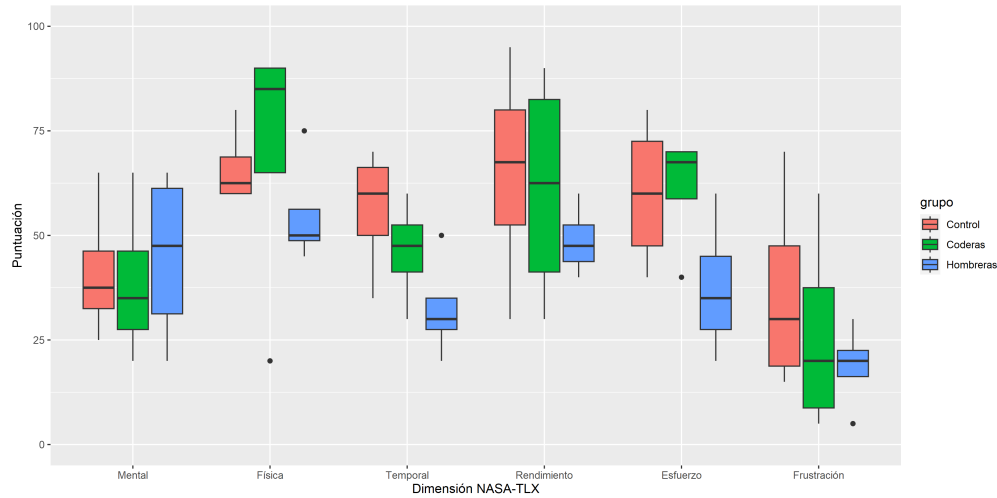


Figura 6.8: Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 1 en el cuestionario NASA-TLX.

En el caso del juego 2 observado en la figura 6.9, en la puntuación del usuario con code-ras no se observa mayor exigencia física y este sujeto de prueba indica un mayor nivel de rendimiento y de esfuerzo, por lo que si se complica aprender, pero siente que si logra el objetivo del juego. Además, la frustración también marca un puntaje alto, lo que puede ser señal de que se dificulta realizar los movimientos pedidos para este juego con una codera y el personaje no reacciona como es esperado.

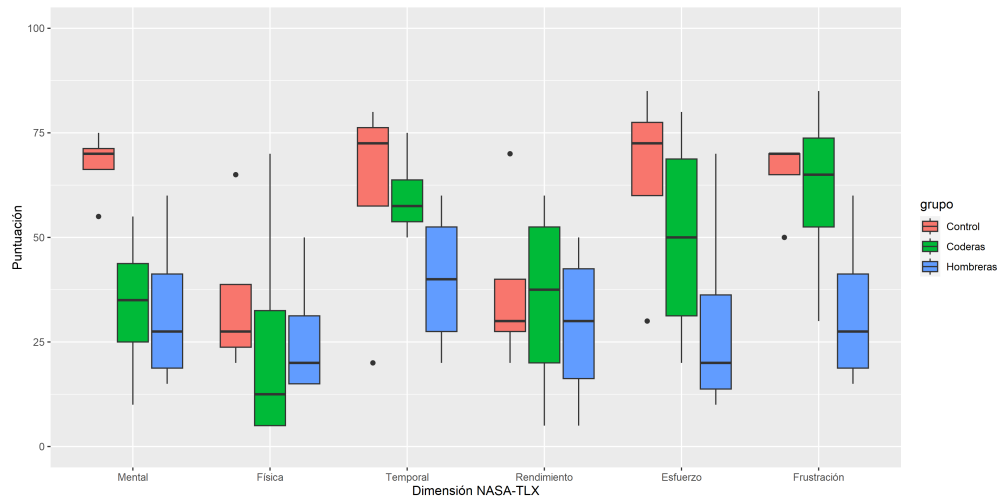


Figura 6.9: Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 2 en el cuestionario NASA-TLX.

6.4.3. Grupos de control, con coderas y con hombreras

En esta sección se observan las respuestas de los usuarios sin considerar a que grupo de estudio pertenecen, solo si usaron codera u hombrera ortopédicas durante la experiencia.

Como podemos observar en la figura 6.10, para el juego 1 donde se usa la articulación del hombro, con una muestra de 9 personas por cada grupo, la submuestra que usa hombrera no marca mayor puntaje en la dimensión física ni en esfuerzo, y no se ve afectado el rendimiento en comparación al grupo de control.

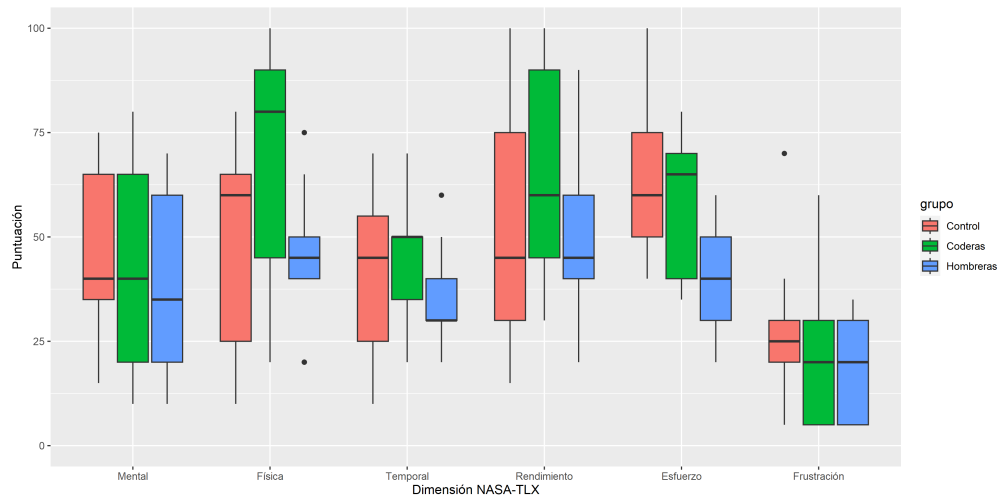


Figura 6.10: Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 1 en el cuestionario NASA-TLX.

Para el caso del juego 2 que se observa en la figura 6.11, enfocado en la articulación del codo podemos observar que la mediana de exigencia física si se encuentra levemente más arriba que los otros 2 gráficos, pero en el caso del esfuerzo y del rendimiento se encuentran al mismo patrón que el grupo de control, por lo que el tener la limitante física en este juego para los usuarios solo implica mayor exigencia física y no afecta el rendimiento.

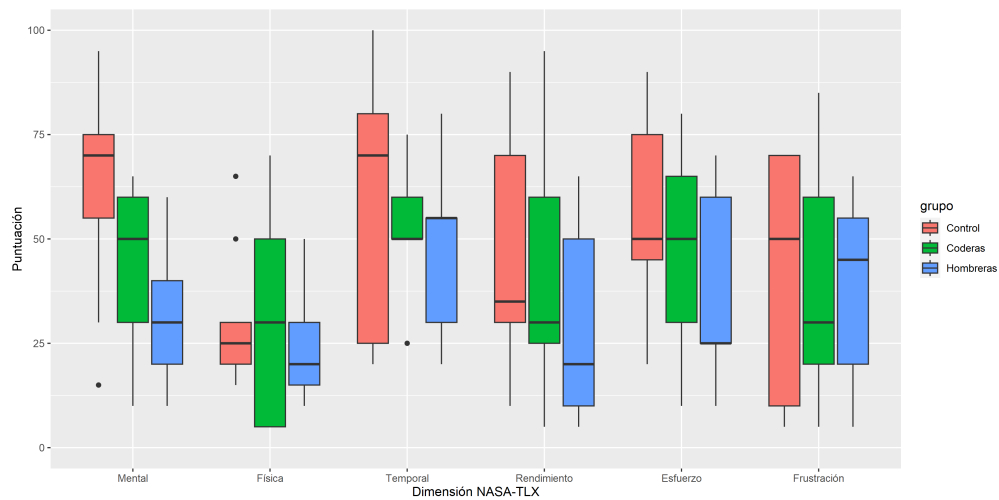


Figura 6.11: Boxplot de las puntuaciones reportadas por los usuarios de la submuestra en el juego 2 en el cuestionario NASA-TLX.

6.5. Resultados del software

A continuación, se presenta la información recabada a partir de los datos obtenidos a partir de las sesiones de juegos de los usuarios participantes en el estudio.

Lo primero es usar las visualizaciones obtenidas a partir de script diseñado para ese propósito. Tomando aleatoriamente un archivo csv para cada grupo entre las submuestras se generan las siguientes visualizaciones:

- Grupo de control juego 1: Para este sujeto la visualización se observa en la figura 6.12. En donde se nota que sus límites para el ángulo en el brazo izquierdo es cercano a 0 grados en el inferior y 175 grados en el superior en la figura 6.12a y las variaciones de ángulos en la figura 6.12b también son amplias y con repeticiones constantes, que es lo esperado para la realización del juego en condiciones normales.

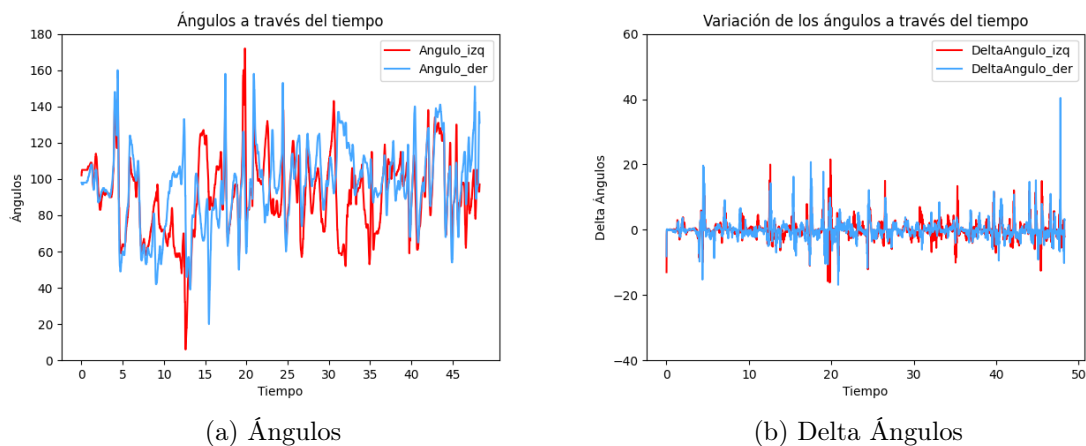
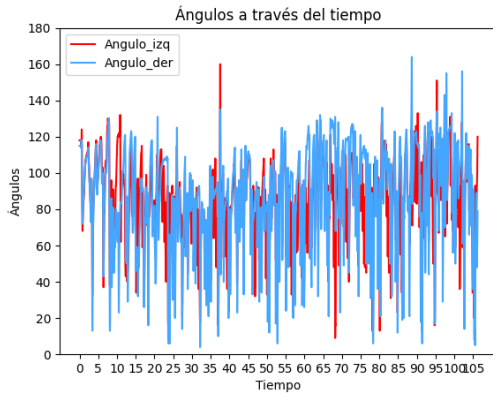


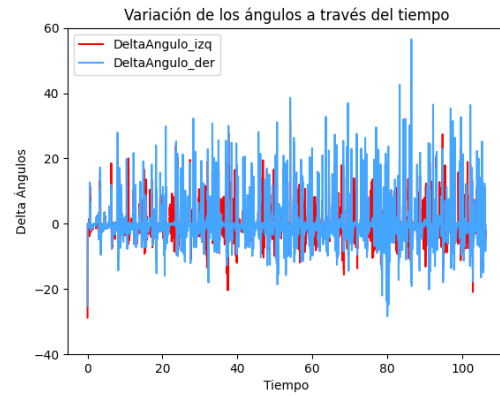
Figura 6.12: Persona aleatoria del grupo de control para el juego 1

- Grupo de hombrera juego 1: Para este sujeto lo esperado es que tenga problemas en la variación del ángulo en el brazo izquierdo y los límites del ángulo del mismo brazo ya que se utilizaba en este valor. Notando la figura 6.13 podemos observar que no limita el rango de movilidad, pero si la velocidad con la que se realiza, ya que en delta ángulo el izquierdo tiene menor amplitud en sus cambios.
- Grupo control juego 2: Para el juego 2 podemos ver los valores esperables en un usuario sin restricciones de movilidad en el grupo de control. El rango de movilidad varía entre 0 y 160, mientras que la variación de ángulo se mueve entre -30 y 30 con algunos valores mayores a estos para el ángulo derecho.
- Grupo coderas juego 2: En este caso vemos nuevamente la limitante física en la variación de ángulo, donde el delta del izquierdo es inferior en muchas posiciones al derecho, por lo que se crea una oclusión que se soluciona con la herramienta de matplotlib, donde se observa que delta ángulo izquierdo no supera al derecho.

Los grupos que no se consideran en este análisis aleatorio es debido a que no toma sentido considerarlos para la información comparada.

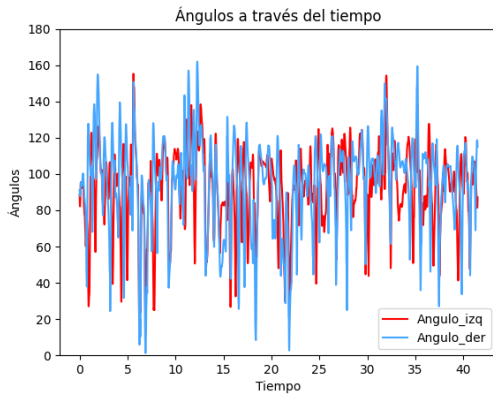


(a) Ángulos

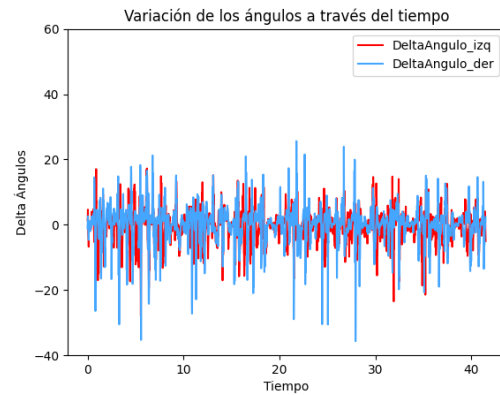


(b) Delta Ángulos

Figura 6.13: Persona aleatoria del grupo de hombreras para el juego 1

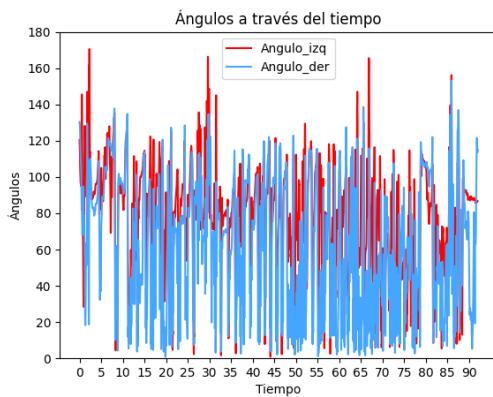


(a) Ángulos

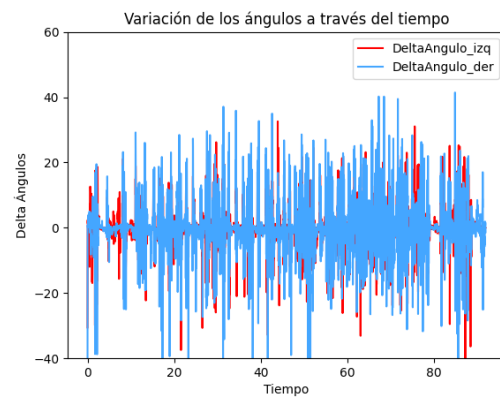


(b) Delta Ángulos

Figura 6.14: Persona aleatoria del grupo de control para el juego 2



(a) Ángulos



(b) Delta Ángulos

Figura 6.15: Persona aleatoria del grupo de coderas para el juego 2

Análisis de los valores obtenidos

En esta sección se observa un análisis de los valores obtenidos en las secciones comparando por grupo, las tablas contienen el promedio de las estadísticas indicadas por la fila para cada archivo generado durante el experimento por los sujetos de prueba. Un archivo de los obtenidos se encuentra en el anexo B a modo de ejemplo.

Tabla 6.5: Promedio de valores estadísticos de cada grupo para el juego 1.

Medida	Control	Coderas	Hombreras
media izquierda	86,7620879	79,3513002	107,06943
media derecha	88,6948975	86,2523247	93,346815
mediana izquierda	87,7777778	82	109
mediana derecha	89,1111111	90	94
máximo izquierda	163,888889	175	173
máximo derecha	164,333333	168	173
mínimo izquierda	7,44444444	4	58
mínimo derecha	7,66666667	2	11
media delta Izquierda	-0,00124434	-0,00316222	0,00621934
media delta Derecha	0,00076721	0,00579664	-0,01441851
mediana delta Izquierda	-0,29478814	-0,2823181	0
mediana delta Derecha	-0,30766551	-0,2654419	0
máximo delta Izquierda	31,9459589	29,70398	30,66608
máximo delta Derecha	41,5711444	40,95152	51,23682
mínimo delta Izquierda	-21,3698444	-23,03	-49,48061
mínimo delta Derecha	-30,1866011	-27,60307	-22,58939

Podemos observar en la tabla 6.5, que la media de izquierda y derecha se mantiene constante en el caso de control y coderas, mientras que en las hombreras suelen levantar más el brazo izquierdo que el derecho. Otro valor observable se encuentra en el mínimo alcanzado, donde todos los valores son cercanos a 10 a excepción del brazo izquierdo en el grupo de las hombreras, lo cual deja a pensar que los usuarios con hombreras mantienen este brazo de manera horizontal.

Un valor para destacar es la variación de delta, en el caso de la hombrera donde indica que se dificulta subir ya que el promedio de delta máximo en el brazo con limitación física es menor al derecho, mientras que el bajar queda desbalanceado teniendo deltas mayores que el otro brazo, un suceso que no ocurre en los grupos que no tienen la limitante física.

En el caso del juego 2 en la tabla 6.6 podemos observar que la mayoría de los valores para los usuarios con codera en el brazo izquierdo no afecta en su rendimiento obteniendo valores similares a los grupos que no tienen la limitante física. Siendo el único cambio significativo entre los datos el mínimo delta izquierda en relación con la derecha, por lo que las acciones en el juego se encuentran balanceadas para la restricción de movilidad.

Tabla 6.6: Promedio de valores estadísticos de cada grupo en el juego 2.

Medida	Control	Coderas	Hombreras
media izquierda	72,0457886	80,8346304	73,9546812
media derecha	74,7703563	77,4906458	73,228564
mediana izquierda	73,0502722	85,7531533	77,160405
mediana derecha	78,0221044	81,4764406	76,6973828
máximo izquierda	150,193244	164,937	148,532522
máximo derecha	155,3402	162,666767	153,789911
mínimo izquierda	3,34519492	4,1148618	1,09596251
minimo derecha	3,07887264	2,08310587	1,14051987
media delta Izquierda	-0,00083162	0,00884532	0,01101976
media delta Derecha	-0,00228257	0,00303345	0,00452565
mediana delta Izquierda	0,07919545	0,02484852	0,02484492
mediana delta Derecha	0,11354785	-0,00078497	-0,00870895
máximo delta Izquierda	33,3830778	30,1598456	38,4410822
máximo delta Derecha	38,5276011	37,0375133	43,3727022
mínimo delta Izquierda	-42,5085478	-41,6021733	-47,1096211
mínimo delta Derecha	-51,8329478	-63,5904367	-44,1153511

6.6. Información adicional

Durante el desarrollo de la experiencia se da espacio para recibir la opinión de los sujetos de muestra, en el cual se obtuvieron algunos comentarios que permiten obtener feedback para una mejora en la versión 2 de este prototipo.

Lo que se obtuvo de experiencia de los comentarios fue lo siguiente:

- Diálogos rápidos: Las indicaciones al inicio de la aplicación y en el tutorial del juego 2 pasan de manera rápida por lo que se vuelve difícil de leer. Para una mejora del prototipo los diálogos al inicio se deberán saltar con el click del mouse o presionando el botón de acción, mientras que los diálogos del tutorial se volverán más lentos similares a los del primer juego.
- Rebote injusto: El rebote del juego 2 parece injusto al momento del empuje hacia los pinchos, no da oportunidad a esquivar ese golpe y no recibir el doble del daño.
- Bug en la animación: Una animación de los personajes en el juego 2 incluye la muerte al final, pero se cancela la animación debido a un bug y no termina el juego, este problema es de extrema importancia.
- Obstáculo injusto: En el juego 1 un obstáculo les parecía demasiado injusto ya que el ancho del árbol no coincide con la profundidad, por lo que al pasar el árbol por el costado chocaban por atrás del mismo.
- Cámara cortada: El mismo obstáculo del ítem anterior se cruza por la cámara y se observa el juego desde el interior, lo que causa problemas en algunos usuarios.
- Conocimiento previo del juego 1: si bien las instrucciones indican como se realizan los movimientos, una gran cantidad indico sentir confusión en los movimientos laterales del personaje.

Capítulo 7

Análisis y discusión de resultados

7.1. NASA-TLX

Se analizó los datos obtenidos a partir de los cuestionarios NASA-TLX para cada juego, además de las opiniones de los usuarios para llegar a las razones de los puntajes obtenidos en cada dimensión.

7.1.1. Juego 1

El esfuerzo es de las dimensiones importantes para observar, ya que al ser orientados a niños no debe ser difícil de aprender a jugar, con una media de 54.26 y una mediana 50. Estos valores se dan según las opiniones de los usuarios debido a los movimientos horizontales a la inversa, es decir, realizar movimiento en el brazo izquierdo para moverse a la derecha o a la inversa es poco intuitivo. Esta acción debe ser explicada de mejor manera en el tutorial previo.

El rendimiento es otra de las dimensiones importantes para el juego, y por lo mismo obtener valores similares a la dimensión de esfuerzo puede causar desmotivación en el usuario final, ya que se requiere un esfuerzo para aprender a jugar y sus rendimientos son bajos. Este se puede mejorar modificando las escalas de dificultad al inicio del juego, para que sea menos complejo y tenga un tiempo para aprender las mecánicas antes de los obstáculos.

La dimensión de frustración es importante ya que podría causar la deserción de la terapia, un objetivo buscado con la realización del juego, pero para este juego la dimensión es la más baja de las 6 con un promedio cercano a 23, por lo que obtener este resultado permite considerar que el objetivo del software está cumplido para este juego.

En cuanto a la dimensión física podemos apreciar que sus valores se encuentran en un término medio, evidenciando el esfuerzo físico necesario para realizar los movimientos dentro del juego. Como fue probado con un público no objetivo, esta dimensión se debe evaluar directamente con los expertos y con la población objetivo para tener un valor preciso y establecer los cambios de sensibilidad en caso de ser necesario.

Las dimensiones de exigencia mental y temporal no influyen directamente en los objetivos del videojuego, pero si permiten entender la dificultad que se ve en estos a partir de si esquivar un árbol o tomar una manzana requiere demanda mental y que tan rápido se siente esto. Estas dimensiones se encuentran en un rango medio, pero deben ser evaluadas directamente con la población objetivo para evitar que sea complejo para ellos específicamente.

7.1.2. Juego 2

Para el caso del juego 2 la dimensión de esfuerzo entrega valores mayores a la media. Esto es ya que, según la opinión de los usuarios, los controles se vuelven complejos, el texto que los explica pasa rápido y no se alcanza a leer.

A la vez, el rendimiento de los participantes marca una tendencia baja. Esto es debido a que, si bien el juego es funcional, tiene un inicio complejo y la velocidad de avance es rápida, dejando sin tiempo de reacción a los jugadores y perdiendo con un puntaje bajo la mayoría de las ocasiones.

Esto se observa en la dimensión temporal, con un puntaje similar al esfuerzo. Donde podemos entender que la gran dificultad que se observa en el juego es la velocidad a la que aparecen los retos y la reacción que deben tener.

El puntaje de la dimensión de frustración es similar al rendimiento. A partir de la opinión de los usuarios se llega a la conclusión que esto es debido a que se siente injusto el empuje desmedido de los pinchos, causando que siempre terminen chocando con el borde izquierdo, recibiendo el doble de daño sin poder esquivar el mismo. Esto da una oportunidad de mejora al juego modificando los valores de empuje y de control para permitir al usuario salvar un choque.

La dimensión física tiene un valor bajo, ya que, según la opinión de los usuarios, el movimiento relacionado al juego 2 tiene menor exigencia al que se produce en el juego 1, por lo que lo puntúan bajo la mayoría del tiempo. Esto debe ser evaluado directamente con los usuarios de COANIQUEM ya que para ellos puede significar una exigencia mayor debido a los problemas de movilidad articular.

El esfuerzo mental es una dimensión que puntúa alto como la temporal. Esto puede ser debido a la concentración de tener tres acciones distintas, deber realizar la acción de correr continuamente para mantener la energía, cambiar a saltar cuando aparece un pincho y a disparar cuando aparece un bloque de hielo se vuelve difícil con el ritmo que se impone en el juego, por lo que realizando unos cambios a este ritmo y con un tutorial explicativo se puede mejorar la aplicación para disminuir el esfuerzo mental requerido.

7.2. Software de visualizaciones

Los datos obtenidos por las sesiones de juego muestran valores cercanos a lo esperado según la goniometría, por lo que se espera que el software cumple con las características esperadas generando el archivo con estos datos. Sin embargo, estos datos pueden ser poco exacto debido a que los controles se sostienen con las manos y el ángulo se calcula por la

orientación del joy-con, los movimientos de la muñeca afectan a los valores obtenidos. Este problema se soluciona manteniendo bajo supervisión y pidiendo a los usuarios que sujeten los joy-con y realicen los movimientos como se pide en el tutorial del juego.

El software desarrollado para visualizar los resultados obtenidos fue validado por los expertos de dominio de COANIQUEM, además a modo de mejora se agrega la opción de modificar la aplicación según las visualizaciones que se obtienen a partir de procesos definidos en la misma corporación.

A partir del software podemos observar que las limitaciones físicas no disminuyen el tiempo de juego, pero si los movimientos que se realizar volviéndose lentos en comparación. Las limitaciones fueron realizadas en el brazo izquierdo, y dado que en los gráficos este valor se encuentra de fondo, podemos observar que en los casos donde se encuentra limitado el movimiento para el juego correspondiente este suele estar ocluido por el brazo derecho. A partir de esto y de la observación con la herramienta de matplotlib se llegó a la conclusión que el software entrega los valores representativos de la realidad. Esto ya que el valor esperado es que el brazo izquierdo sea menor al derecho.

Además, observando los datos agrupados obtenidos del software se corrobora lo anterior. Para los datos del juego 1 el brazo izquierdo con hombreras tiene valores relativamente distintos al mismo grupo en el brazo derecho, algo que no ocurre en los otros dos grupos que no poseen una restricción asociada al juego. Para el caso del juego 2 podemos observar menor diferencia en estos datos, esto puede ser debido a que la exigencia física es menor y esta calibrado para ser funcional a la sensibilidad esperada para un usuario con esas características.

7.3. Opinión de usuarios

En cuanto a los comentarios de los participantes del estudio se considera que el menú si bien se entendió la funcionalidad de los controles y los punteros, requiere mejoras para disminuir el ángulo necesario para apuntar a los botones que se encuentra en el inferior de la pantalla. Además, a partir de las opiniones de los usuarios se obtuvo una oportunidad de mejora en ambos juegos.

Para el primer juego la parte de sensibilidad requiere ser ajustada para que sea más sencillo moverse de forma horizontal modificando el multiplicador del valor correspondiente. Además, se requiere modificar el tamaño de las manzanas para poder capturarlas en el camino. También modificar el obstáculo problemático para disminuir la cantidad de golpes inesperados y los ajustes de la cámara para desaparecer al momento de sobrepasar la posición del jugador.

En el caso del segundo juego se requiere modificar el generador para disminuir el ritmo de aparición y que solo pueda aparecer un obstáculo a la vez, para evitar la superposición. Se debe disminuir el tiempo de daño y el rebote para otorgar libertad al usuario. Como cambio crítico se debe modificar la animación de muerte para no poder ser cancelada y terminar la partida. Se requiere además crear un sistema de energía balanceado para que el usuario se mantenga al medio de la pantalla sin dificultades.

Finalmente, la aplicación de visualizaciones es una forma de mostrar los datos pero no

es familiar a las utilizadas por parte de los expertos en COANIQUEM, por lo que existe una oportunidad de mejora de este script donde a partir de las visualizaciones que posee COANIQUEM se puede complementar para visualizar los datos obtenidos en una forma que pueda ser usado por parte de los expertos de dominio.

Capítulo 8

Conclusión y Trabajo futuro

La capacidad de movimiento de las articulaciones es crucial para llevar a cabo una amplia gama de actividades diarias y mantener un buen estado de salud en general. Sin embargo, hay una parte de la población que enfrenta dificultades para realizar estos movimientos, como las personas que tienen cicatrices debido a quemaduras. Esto puede generar limitaciones en su movilidad y dificultades para llevar a cabo funciones básicas de la vida diaria, como comer, vestirse, jugar, entre otras. Estas personas son el público objetivo de las herramientas diseñadas para apoyar la rehabilitación de la movilidad articular. Un ejemplo de estos sistemas es la rehabilitación gamificada, que utiliza videojuegos para motivar a los pacientes a realizar ejercicios activos, sin que se den cuenta de que están realizando una terapia.

Sin embargo, estas herramientas no satisfacen todas las necesidades de este grupo específico. En primer lugar, requieren de herramientas exclusivas que pueden ser complicadas de fabricar o adquirir. Además, la usabilidad de las aplicaciones no está diseñada específicamente para esta población, lo que puede dificultar su uso. Por lo tanto, la solución propuesta en este proyecto es desarrollar un videojuego accesible y replicable para apoyar la rehabilitación de la movilidad articular en niñas/os de COANIQUEM, que pueda ser utilizado con dispositivos disponibles en el mercado y que sea sensible a las necesidades específicas de los niñas/os con quemaduras.

Como resultado del desarrollo de esta memoria, se ha creado un videojuego para la rehabilitación de la movilidad articular, probado en un sistema *Windows 11*. Este videojuego cumple con las funciones requeridas para recopilar datos biométricos relacionados con los ángulos de movilidad de una articulación específica y los entrega en formato CSV al supervisor. Durante el proceso de desarrollo, se tuvieron en cuenta las necesidades y sugerencias de expertos en COANIQUEM, con el objetivo de mejorar la usabilidad de los videojuegos existentes para la población objetivo. Es así como se decidió configurar la sensibilidad de los movimientos basados en la orientación del control, la dificultad en escala de los videojuegos, los tutoriales con personajes mostrando los movimientos. Esta decisión es esperando que la niña o el niño se sienta cómodo con la aplicación, sea simple de manejar y entender. Los personajes jugables fue una recomendación para permitir que los jugadores se vieran representados con su elección al jugar.

Fue evaluado de forma parcial, pues se realizó la prueba de usabilidad y funcionalidad con personas que no poseen problemas de movilidad articular, limitando su movimiento en algunos casos, mas no con el perfil de usuario directo. Esto debido a que, por razones de los tiempos acotados de la memoria, se consideró que acceder a usuarios con problemas de movilidad en hombro o codo producto de quemaduras implica un trámite extenso ya que es necesario pasar por comité de ética clínico para pruebas. La prueba realizada resulta significativa, puesto que permite evaluar la funcionalidad del software y los datos que entrega, para ser evaluados por expertos. También permite obtener las oportunidades de mejora de robustez y usabilidad observada a través de múltiples usuarios para comprobar el funcionamiento del juego.

Los objetivos de la memoria han sido cumplidos en parte. Se ha logrado diseñar una interfaz usable y comprensible que ha sido evaluada por usuarios de prueba. A través de esta evaluación, se identificaron oportunidades de mejora que permitirán mejorar la usabilidad del juego y la interfaz en general. Según la investigación realizada en la evaluación, el prototipo desarrollado representa un buen primer paso hacia la consecución de los objetivos planteados.

Sin embargo, no podemos asegurar usabilidad en el público objetivo, ya que no se prueba directamente en los niños, sino que en usuarios motivados por los videojuegos, lo que representa una buena base, pero no concluyente para asegurar esta característica en niñas/os con problemas de movilidad articular en codo y hombro producto de quemaduras.

Además, la aplicación permite al usuario un juego de tiempo ilimitado hasta las capacidades de este, sin embargo, debe ser calibrado con la población objetivo para permitir a los jugadores tener juegos con un tiempo amplio según su capacidad para evitar la frustración de perder inmediatamente.

Finalmente, la obtención de datos fue diseñada para realizarse mediante la orientación del joy-con, cumpliendo con el objetivo planteado, pero no se considera el movimiento involuntario de la muñeca al realizar el ejercicio, por lo que existe una oportunidad de mejora para diseñar artefactos físicos que sirvan de soporte para el joy-con en una posición relativa a la articulación que se quiera medir.

El formato estándar del archivo generado fue diseñado y validado a través de reuniones con los expertos de dominio, por lo que permite el análisis de estos como parte del equipo médico cumpliendo completamente el objetivo realizado.

El haber construido una aplicación desde cero ayuda al autor de la memoria a adquirir una serie de beneficios y habilidades. En primer lugar, el proceso de construcción de la aplicación le permite obtener experiencia práctica en el desarrollo de software, lo cual es valioso para su formación y futuro profesional.

Además, al construir la aplicación desde cero, el memorista tiene la oportunidad de aplicar los conocimientos teóricos adquiridos durante su formación académica en un proyecto concreto. Esto le permite consolidar su comprensión de los conceptos y principios relacionados con el desarrollo de software y aplicarlos de manera práctica.

La construcción de una aplicación también implica enfrentar desafíos y problemas reales que requieren soluciones creativas y habilidades de resolución de problemas. Esto contribu-

ye al desarrollo de habilidades técnicas, analíticas y de toma de decisiones del memorista. También el desafío técnico de aprender sobre el desarrollo de videojuegos con herramientas como Unity y con controles atípicos, ya que el estudiante no conocía sobre las herramientas utilizadas, lo que permitió obtener cambios favorables en implementaciones de este tipo.

Además, al construir una aplicación desde cero, el autor de la memoria tiene la oportunidad de ejercitar su capacidad de planificación, organización y gestión del proyecto. Debe establecer metas y plazos, asignar recursos y realizar un seguimiento del progreso del desarrollo de la aplicación.

A partir de las reuniones con expertos de dominio, surgieron ideas funcionales que pueden servir para ayudar al proyecto las cuales son:

- Agregar más juegos: Como parte del proyecto se plantearon ideas para movimientos que no fueron parte por el tiempo que costaría, por lo que se pueden diseñar más juegos que hagan uso de brazo a fin de obtener más registros y una variedad de juegos para la elección del usuario.
- Diseño de mapas: Agregar diseños al mapa para que se observe el aumento de dificultad progresivo, permitiendo tener un apoyo visual que indique la distancia recorrida.
- Diseño de personajes: El tutorial está diseñado con un personaje genérico niño, pero para evitar el sesgo se planteó la idea de tener un personaje mujer o sin genero para explicar las instrucciones.

A partir de las pruebas de los usuarios se obtuvieron las siguientes oportunidades de mejora:

- Corregir errores en los juegos: Los juegos poseen funcionalidades que presentaron fallas en algunos momentos y requieren ser corregidos para una aplicación robusta.
- Interfaz con punteros: Dado el funcionamiento de los punteros se debe idear una forma de apuntar funcional a la pantalla y no depender del joy-con en su totalidad.
- Visualizaciones obtenidas: El script de visualizaciones puede recibir mejoras en base a visualizaciones creadas por COANIQUEM con sus sistemas.

De los resultados de la experimentación y de la experiencia en el proceso de realización de esta memoria se realizan recomendaciones a quienes quieran realizar investigaciones enfocadas en este campo. La primera es realizar investigación acerca de factibilidad sobre el uso de controles de movimiento para su proyecto. La segunda es seleccionar un motor de videojuegos que se adapte al conocimiento del autor. Y por último realizar múltiples pruebas para detectar errores de diseño en etapas tempranas y realizar los cambios necesarios antes de una prueba final.

Como trabajo futuro, se propone desarrollar una nueva versión del prototipo que aborde en primer lugar todas las problemáticas críticas mencionadas. Una vez resueltas, se debe llevar a cabo una evaluación utilizando una muestra representativa de la población objetivo. Esta evaluación permitirá delimitar el alcance de la aplicación y proponer estudios preclínicos con pacientes de COANIQUEM. Antes de realizar estos estudios, se llevará a cabo una auditoría de la aplicación y se obtendrá la aprobación del protocolo experimental por parte de los

comités de ética de la institución mencionada y la FCFM.

Bibliografía

- [1] <https://www.nintendo.com/es-mx/switch/>.
- [2] *causa COANIQUEM*. <https://coaniquem.cl/es/nuestra-causa/>, visitado el 2022-09-14.
- [3] *COANIQUEM*. <https://coaniquem.cl/es>, visitado el 2022-09-14.
- [4] *Historia de Wii*. <https://www.nintendo.es/Hardware/La-historia-de-Nintendo/Wii/Wii-636022.html>.
- [5] *hidapi library*, 2010. <https://github.com/libusb/hidapi>, visitado el 2022-09-14.
- [6] *Kinect*, Sep 2022. <https://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>.
- [7] 2023. <https://www.merckmanuals.com/es-us/hogar/fundamentos/rehabilitaci%C3%B3n>.
- [8] aboadela, Claudio H.: *Libro de goniometria - Claudio H. Taboadela*, 2007. <https://www.udocz.com/apuntes/69744/libro-de-goniometria-claudio-h-taboadela>.
- [9] Cañizares MdC, Martín JC.: *Buenas prácticas de accesibilidad en videojuegos*, 2012. https://www.aspaymmadrid.org/wp-content/uploads/2018/05/guia_accesibilidad_videojuegos.pdf, visitado el 2022-09-20.
- [10] García, Jorge Casado y José María Villa Andrada: *Gaming como método de intervención en el trastorno por déficit de atención e hiperactividad*. *Revista Chilena de Terapia Ocupacional*, 20(2):192–193, 2020.
- [11] González, Carina S.: *Emociones Con Videojuegos: Incrementando La Motivación para el ... - USAL*, 2008. https://campus.usal.es/~teoriaeducacion/rev_numero_09_03/n9_03_gonzalez_blanco.pdf.
- [12] Hernández Cabezas, Ariadna, 2022. https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/191101/TFM_2020_HernandezCabezas_Ariadna.pdf?sequence=1.
- [13] Holzinger, Andreas: *Usability engineering methods for software developers*, volumen 48, página 71–74. 2005.

- [14] la, Salud Organizacin Mundial de: *Adherencia a Los tratamientos a Largo Plazo: Pruebas para la accin*. Organizacin Mundial de la Salud, 2004.
- [15] Muñoz-Cardona, John E., Oscar A. Henao-Gallo y José F. López-Herrera: *Sistema de Rehabilitación Basado en el uso de Análisis Biomecánico y Videojuegos mediante el Sensor Kinect*, Oct 2013. <https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/671/386-Manuscrito-552-1-10-20170217.pdf>.
- [16] Rondón Benítez, Ángela Patricia, Iván Leonardo Otálora Bastidas y Yenny Salamanca Camargo: *Factors influencing therapeutic desertion of the consultants of a University Counseling Center*. International Journal of Psychological Research, 2(2):137–147, 2009.
- [17] Serrano, Eduardo, Ricardo Oscar Sirne y Guillermo La Mura: *Rotaciones, secuencia aeroespacial y cuaterniones. Una revisión de las relaciones fundamentales*, Nov 2014. <https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/cyt/article/view/221/108>.
- [18] Sánchez-Domínguez, Juan Pablo, Sara Esther Castillo Ortega y Betzaida Marimel Hernández López: *El juego como representación del signo en niños y niñas preescolares: Un Enfoque sociocultural*, 2020. <https://www.redalyc.org/journal/440/44062184041/>.
- [19] Sánchez López, José Edmundo: *Manejo del Niño Quemado*. Revista Científica Ciencia Médica, 14:28 – 30, Diciembre 2011, ISSN 1817-7433. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332011000200008&nrm=iso.
- [20] Technologies, Unity: *Volvió Nuestra Conferencia para desarrolladores de juegos*, 2022. <https://unity.com/es>.

Anexos

Anexo A

Cuestionarios

Consentimiento informado

Yo doy mi consentimiento voluntario para participar en la prueba de concepto de un videojuego para apoyar en la rehabilitación articular para COANIQUEM. Entiendo que el propósito de esta prueba es evaluar el rendimiento y la funcionalidad del dispositivo, así como recopilar información para su mejora y desarrollo futuro. Se me ha proporcionado información detallada sobre el dispositivo, incluyendo su funcionamiento y características. He tenido la oportunidad de hacer preguntas.

Soy consciente de que la participación en esta prueba puede implicar el usar una hombrera o codera ortopédica.

Soy plenamente consciente de que existen riesgos asociados con el uso del dispositivos, que pueden incluir, fatiga visual o malestar físico. Comprendo que puedo interrumpir mi participación en cualquier momento si experimento molestias o incomodidad, sin que ello implique ninguna consecuencia negativa para mí. Además, autorizo a los investigadores y al personal designado por la organización a recopilar datos sobre mi experiencia durante la prueba, con el fin de evaluar la eficacia y seguridad del dispositivo. Entiendo que mis datos serán tratados de manera confidencial y se mantendrá mi anonimato en los informes y análisis resultantes. Declaro que he leído y comprendido plenamente la información proporcionada, y que he tenido la oportunidad de discutir cualquier duda o inquietud con los responsables del estudio. Al firmar este consentimiento informado, confirmo que participo voluntariamente en esta prueba de concepto sobre el videojuego para ayudar a la rehabilitación de movilidad articular, asumiendo los posibles riesgos y aceptando los términos y condiciones establecidos.

Cuestionario de experiencias

Nombre:

Edad:

Preguntas	Si	No
¿Ha interactuado alguna vez con controles de movimiento en dispositivos electrónicos o videojuegos?	Si	No
¿Ha utilizado algún dispositivo que incorpore controles de movimiento, como los Joy-Con de Nintendo Switch?	Si	No
¿Sabe cómo utilizar controles de movimiento en un videojuego o aplicación?	Si	No
¿Ha jugado antes a videojuegos que hacen uso de controles de movimiento?	Si	No
¿Tiene experiencia en el uso de gestos o movimientos para interactuar con dispositivos electrónicos?	Si	No
¿Sabe cómo realizar acciones específicas utilizando controles de movimiento, como mover un personaje o apuntar en un juego?	Si	No
¿Está familiarizado/a con la retroalimentación proporcionada por los controles de movimiento en un videojuego?	Si	No
¿Sabe cómo utilizar los controles de movimiento para realizar acciones complejas, como giros o movimientos precisos?	Si	No
¿Entiende los posibles desafíos o limitaciones asociados con el uso de controles de movimiento en un videojuego?	Si	No

NASA-TLX







<p>Exigencia Mental. ¿Qué tan demandante mentalmente es la tarea?</p>  <p>Baja Alta</p>	<p>Exigencia Física. ¿Qué tan demandante mentalmente es la tarea?</p>  <p>Baja Alta</p>
<p>Exigencias Temporales. ¿Qué tan fuerte o rápido es el ritmo impuesto para hacer la tarea?</p>  <p>Baja Alta</p>	<p>Rendimiento. ¿Qué tan exitoso ha sido para lograr lo que ha requerido?</p>  <p>Baja Alta</p>
<p>Esfuerzo. ¿Qué tan duro tiene que trabajar para lograr un adecuado nivel de rendimiento?</p>  <p>Baja Alta</p>	<p>Nivel de Frustración. ¿Qué tan inseguro, irritado o estresado y molesto está por la tarea?</p>  <p>Baja Alta</p>

Figura A.1: Formulario NASA-TLX, para evaluación de carga de trabajo. Fuente: Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Link https://ergomedia.isl.gob.cl/app_ergo/nasatlx/

Anexo B

Datos y resultados

NASA-TLX

En este anexo se suben las tablas de puntaje ponderado de la evaluación y los gráficos obtenidos a partir de estos datos.

Tabla B.1: Puntaje obtenido NASA-TLX en el juego 1.

Nombre	Mental.	Física.	Temporales.	Rendimiento.	Esfuerzo.	Frustración.
id 1	70	25	25	15	60	5
id 2	20	40	50	60	35	5
id 3	40	65	40	75	50	30
id 4	65	60	70	30	50	40
id 5	65	90	30	45	65	60
id 6	60	50	50	40	60	30
id 7	40	35	45	25	60	20
id 8	80	45	35	90	60	40
id 9	70	40	40	90	30	5
id 10	25	60	35	60	40	15
id 11	30	80	50	80	70	30
id 12	20	45	20	60	30	20
id 13	75	15	15	100	50	25
id 14	80	100	50	60	80	20
id 15	20	20	60	20	30	35
id 16	40	65	55	75	80	70
id 17	20	20	45	30	40	5
id 18	65	75	30	50	40	5
id 19	15	10	10	45	100	30
id 20	45	85	70	35	70	20
id 21	10	45	20	45	50	5
id 22	35	80	65	95	70	20
id 23	40	90	60	90	70	10
id 24	35	50	30	45	20	20
id 25	40	70	50	35	75	30
id 26	10	50	20	100	40	5
id 27	15	20	30	20	40	20

Tabla B.2: Puntaje obtenido NASA-TLX en el juego 2.

Nombre	Mental.	Física.	Temporales.	Rendimiento.	Esfuerzo.	Frustración.
id 1	60	30	25	10	45	5
id 2	60	55	50	30	65	20
id 3	30	40	80	50	65	45
id 4	70	65	80	20	75	70
id 5	30	5	50	50	35	70
id 6	35	50	50	20	70	35
id 7	30	15	50	70	50	5
id 8	65	30	25	95	30	25
id 9	60	20	20	65	25	65
id 10	75	25	70	30	30	70
id 11	40	20	55	25	80	60
id 12	20	15	30	50	15	20
id 13	15	20	20	90	20	10
id 14	50	50	50	30	50	5
id 15	10	15	55	5	25	55
id 16	55	30	75	70	70	70
id 17	10	5	60	5	20	30
id 18	60	25	60	5	25	60
id 19	95	50	100	80	50	30
id 20	60	45	70	10	70	30
id 21	40	10	55	10	60	45
id 22	70	20	20	30	85	50
id 23	55	70	75	60	65	85
id 24	15	15	20	40	10	15
id 25	80	20	90	35	90	60
id 26	20	5	50	60	10	10
id 27	20	30	55	20	35	5

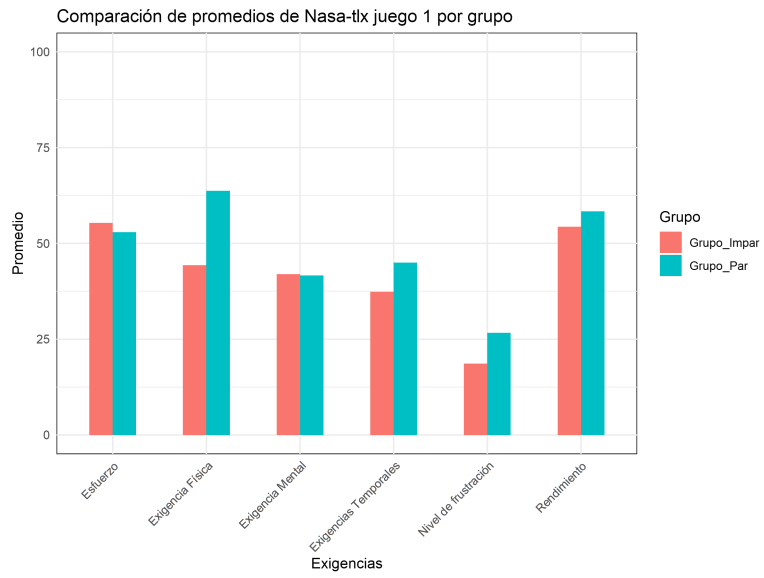


Figura B.1: Promedio Juego 1 por grupo

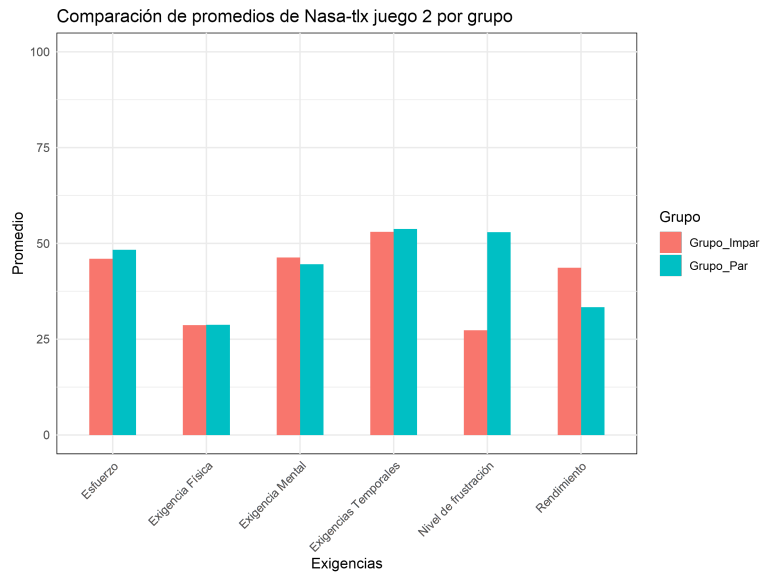


Figura B.2: Promedio juego 2 por grupo

Software

Tabla B.3: Resultados del software para un participante

Tiempo	Angulo_izq	DeltaAngulo_izq	Angulo_der	DeltaAngulo_der	puntaje	manzanas
0	96	-6,739044	91	-1,612747	0	0
0,02	96	-0,04910278	91	-0,2786484	0	0
0,04	96	0,00088501	91	-0,01524353	0	0
0,06	96	-0,00988007	91	-0,07753754	0	0
0,08	96	0,01763916	92	-0,0786438	0	0
0,1	96	0,004776	92	0	0	0
0,12	96	-0,1473389	92	-0,1262207	0	0
0,14	96	-0,05148315	92	-0,1159363	0	0
0,16	96	-0,01525879	92	0	0	0
0,18	96	-0,00160217	92	-0,04511261	0	0
0,2	97	-0,01382446	92	0	0	0
0,22	96	0,02036285	92	0	0	0
0,24	96	0,02534485	92	0,07149506	0	0
0,26	97	-0,05950928	92	-0,01674652	0	0
0,28	97	-0,08493042	92	-0,0517807	0	0
0,3	97	0,02223969	92	0,00518799	0	0
0,32	97	0,05657196	92	0,00361633	0	0
0,34	96	0,1588516	92	0	0	0
0,36	96	0,07129669	92	-0,03756714	0	0
0,38	96	0,06533051	92	0,05525208	0	0
0,4	96	0,02954102	92	0	0	0
0,42	96	-0,02722931	92	0,00193787	0	0
0,44	96	-0,00793457	92	0,01567841	0	0
0,46	96	-0,01145172	92	0,1393204	0	0
0,48	96	0,01554108	92	0,06258392	0	0
0,5	96	0,3167725	91	0,3625336	0	0
0,52	96	0,2121048	91	0	0	0
0,54	96	0,1614227	91	0	0	0
0,56	95	0,04839325	91	0,1607361	0	0
0,58	96	-0,0212326	91	-0,04036713	0	0

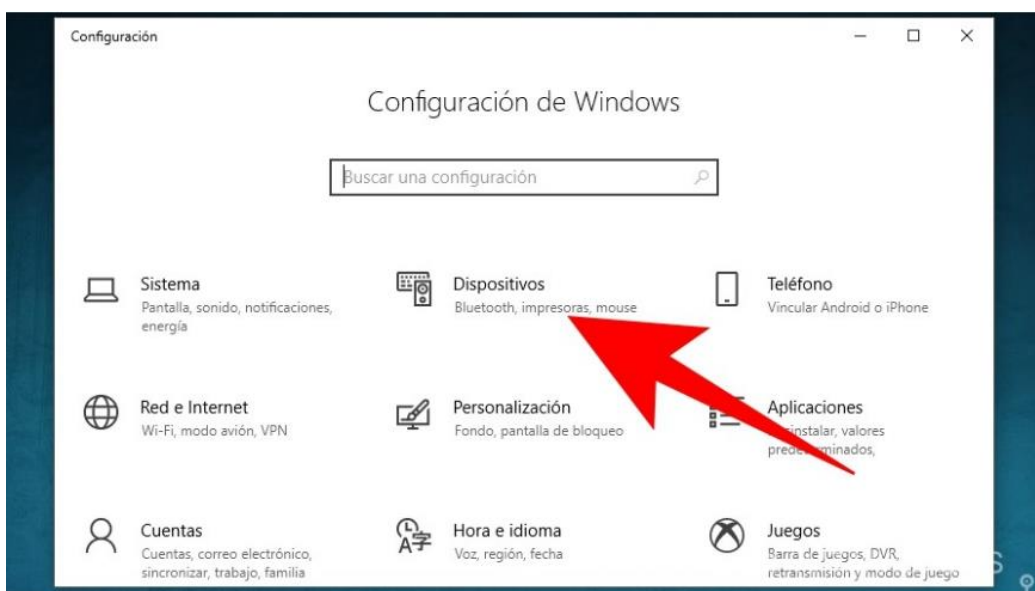
Anexo C

Documento de instalación

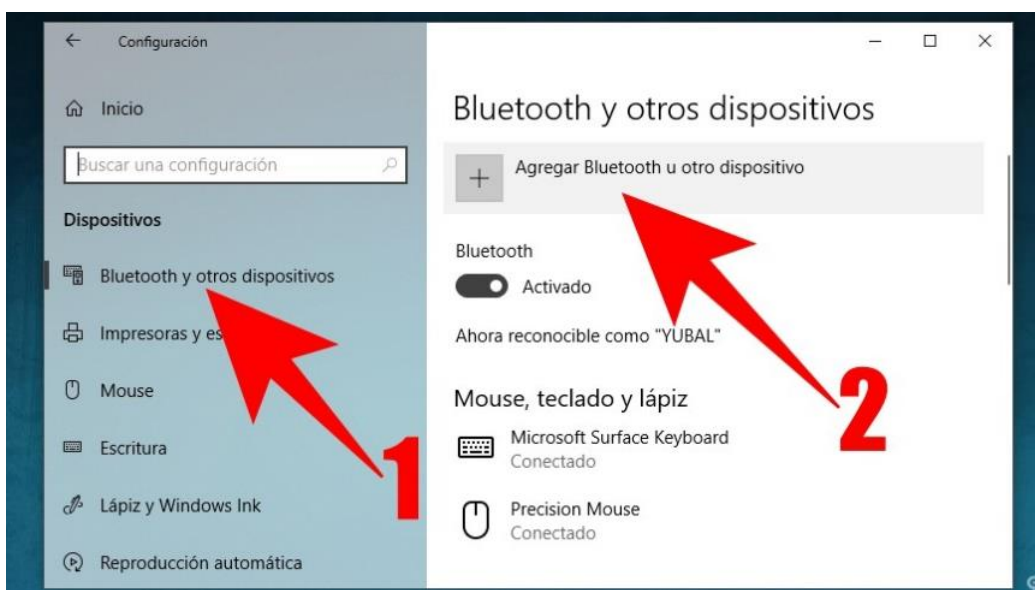
En la página siguiente se agrega el documento entregado a modo de guía para la conexión del dispositivo joy-con al computador con bluetooth.

Guía de conexión de joycon a pc.

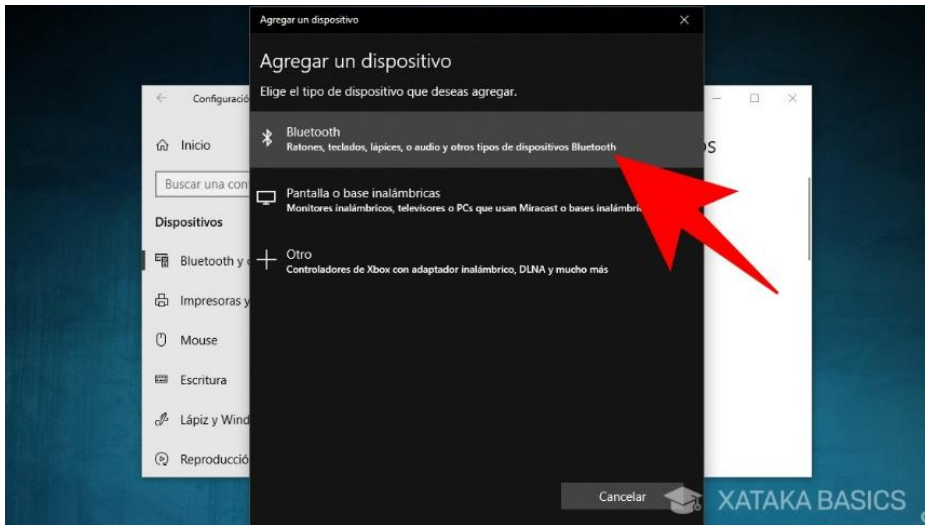
Lo primero que necesitamos para hacer esto es que tu ordenador con Windows 10-11 tenga Bluetooth. Una vez nos aseguramos de eso ya sólo queda entrar en el menú de Configuración. Para eso abre el menú de inicio de Windows o el panel de notificaciones, y pulsa en el icono de la rueda dentada para entrar en la Configuración.



Una vez estás dentro de la Configuración de Windows, ahora pulsa sobre la opción Dispositivos. Desde aquí es desde donde vas a poder controlar y configurar los periféricos del ordenador, incluyendo los dispositivos que quieras conectar por Bluetooth.



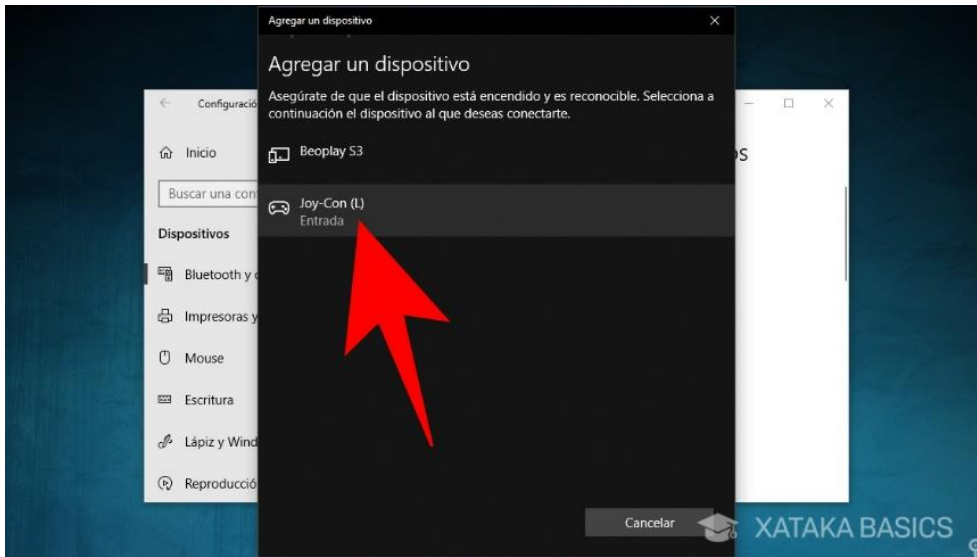
Una vez aquí, pulsa sobre la opción Bluetooth y otros dispositivos que tienes en la columna izquierda (1), de manera que irás al panel específico para tus dispositivos Bluetooth. En él, pulsa sobre el botón Agregar Bluetooth u otro dispositivo (2) para iniciar el proceso de emparejamiento con el Joy-Con.



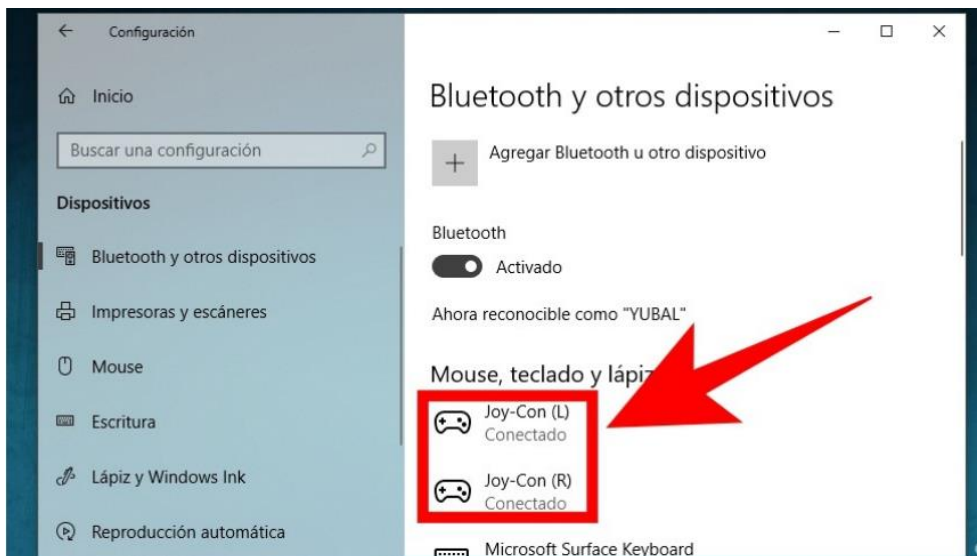
Se te abrirá una pantalla negra con el nombre Agregar un dispositivo, en la que tienes que elegir cómo buscar el periférico que quieres agregar. Para empezar a buscar los Joy-Con para emparejarlos, pulsa sobre la opción Bluetooth para que Windows empiece a buscar los dispositivos con esta tecnología que buscan ser emparejados.



Ahora que Windows 10 estará buscando dispositivos para emparejar, coge el primer Joy-Con que quieras configurar y mantén pulsado el botón de emparejamiento hasta que parpadeen las luces verdes. Este botón es el que se encuentra en el lateral interior dentro del carril con el que lo conectas a la consola, entre los botones SL y SR.



Una vez hayas pulsado sobre el botón de emparejar de uno de los Joy-Con, este aparecerá en la lista de dispositivos Bluetooth dentro de la ventana Agregar un dispositivo. Lo que tienes que hacer ahora es simplemente pulsar sobre la opción del Joy-Con y dejar que Windows 10 haga el resto. Si te pidiera algún PIN, este será 0000.



Y ya está, ahora sólo tienes que repetir este mismo proceso para emparejar el segundo Joy-Con, de manera que cuando estés en la sección Bluetooth y otros dispositivos de la Configuración de Windows veas entre los dispositivos enlazados los Joy-Con L y R, dos letras que te indican cuál es el izquierdo (L) y cuál el derecho (R). Ya podrás utilizarlo como dos mandos independientes.