

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR, LEGANÉS



Realidad Virtual aplicada a la Rehabilitación Física

Trabajo de Final de Grado

Carlos Andrés Aguado Fidalgo

24/02/2015



Agradecimientos

Gracias a mis padres y mis hermanos, por soportarme día a día mis cabezonerías, por apoyarme en todas mis decisiones y por ayudarme con todos mis problemas.

Gracias a mis amigos, por levantarme cada vez que me caigo y animarme en los malos momentos. Sin vosotros esto no hubiera sido posible.

A mis compañeros de la Universidad, gracias por compartir conmigo vuestra sabiduría y conocimiento, y porque en un futuro, seguiremos compartiendo experiencias y momentos.

Gracias a mis compañeros de trabajo, por cubrirme las espaldas en aquellos días que necesitaba tiempo extra. Gracias a vosotros conseguiré las metas que me he propuesto este año.

Quiero agradecer también a los expertos de la clínica Delicias Fisioterapia y Fraternidad Muprespa por su sabiduría y punto de vista a lo largo de todo el desarrollo. Sin vosotros este proyecto no hubiera sido posible.

No quiero acabar sin agradecer enormemente la ayuda de mis tutores, Alejandro y Yago. Gracias por apoyarme, guiarme y corregirme en todo momento. Gracias, gracias y gracias.



Resumen

En este trabajo de fin de grado se ha desarrollado un videojuego implementado en realidad virtual que permite la correcta rehabilitación de una lesión en el hombro de un paciente.

La utilización del sistema por parte del usuario final se realiza mediante el uso de unas gafas de Realidad virtual como son las Oculus Rift. El uso de este dispositivo permitirá al usuario final una mayor inmersión en el videojuego desarrollado, mientras se realizan de forma cómoda y entretenida, los ejercicios de rehabilitación de su lesión.

Adicionalmente al uso del dispositivo de realidad virtual, existirá también una cámara capaz de obtener el esqueleto del usuario final, que será la encargada de realizar el tracking de los movimientos. Por último, existirá un servidor, que será el encargado de ejecutar el videojuego, obtener y procesar los movimientos del usuario final, y puntuar la realización de los movimientos del usuario final.

La funcionalidad final del sistema permitirá la correcta rehabilitación de una lesión del manguito rotador de forma más amena y sencilla para el usuario final. El sistema incorporará adicionalmente una sesión sin supervisión del videojuego, realizando todo el proceso de forma automática.

Abstract

In the recent years, a branch of technology has greatly increased the expectation. This technology blurs the line between the real and the virtual, immersing the user in a virtual world that the senses perceive as real. I am talking about virtual reality

At present, it is unclear what and where are the limits of this technology, or what can be achieved in a next years, as large technology companies, such as Facebook, are investing large amounts of money on this technology. The possibilities of virtual reality are limitless, and can be implemented in any type of industry or area obtaining benefits never seen before. There are sectors such as education, the military or aviation using this type of technology to enhance the skills of their employees. In the military or aviation sectors, this technology allows employees to face real situations in a virtual world, and, if this situation occurs in the real world, they know perfectly how to react. Simple simulations flight or infiltration missions acquire a greater degree of immersion thanks to virtual reality.

However, one of the sectors where it is more widespread use of virtual reality is the health sector. The health sector is probably the sector that incorporates and advances as technology advances, implementing many features in their field. Experts use for decades virtual reality for performing simulations or actual surgery. Moreover, in recent years, thanks to the launch of virtual reality for common users, this sector is incorporating this devices for their patients, like the use of virtual reality in the patient while the surgeon is practicing a surgery is now a true story.

The project to be developed, is to use a virtual reality video game with the purpose of using this system during a patient rehabilitation. The complete rehabilitation of a body part, involves not only the treaty by physiotherapists in the affected area, but also to perform of specific exercises by the end user independently to obtain the strength and flexibility loss of a muscle after injury.

Most patients do not perform the exercises correctly, positioning badly the body and rotating incorrectly the injured part. The virtual reality system will help patients to successfully perform specific movements, thereby increasing the level of rehabilitation. This paper presents a virtual reality game that captures the movements of the patient and evaluates depending on the movement to be performed in one session. The proposed game is a football field in which the patient will play the role of goalkeeper, stopping balls fired if the patient perform properly the specific movements of a session.

For this matter, it is necessary to use different types of tools and devices in order to develop of this system:

- **Unity3D:** This is the video game development engine. Through this tool will make the game including all its functions, as well as the menu from which the physiotherapist can choose the type of session to perform. With this tool, it will perform the integration of the two devices with the videogame.
- **Oculus Rift DK2:** It will be the virtual reality device that shows the 3d images. This device included certain sensors, such as accelerometers, that provide the patient unprecedented immersion.
- **Intel RealSense:** The body tracking device. This device is a camera capable of obtaining parts of the skeleton of the patient as the hand, wrist or face. With this device, the movements of the human body are obtained, transferred to the game engine, where they are processed and displayed in the virtual reality device.



Ilustración 1: System Devices. Oculus Rift DK2 + Intel RealSense

Therefore, the system developed has the following main parts:

1. Creating an **interface**, where the physiotherapist can choose the type of session to be performed and the type of movement they want that the patient will interact with the system. The only person who should have access to this interface is the physiotherapist.
2. **Integration** of virtual reality devices with the game engine to carry out the project.
3. Creating a **videogame** with two different sessions:
 - a) The first is a supervised session where the physiotherapist will be in person all the time directing the patient, and locating the position and rotation of the patient's body during the session. This type of session is

focused in the first realization of the movements by the patient, so the physiotherapist must guide and orient the patient constantly.

- b) In this case, the therapist will also be responsible for performing the release of the balls, keeping an eye on the movements the patient is performing, and if necessary, correcting him.
- c) The second type of session is an unsupervised session. The game will be capable of launching balls automatically, so that the system will be able to evaluate whether it is possible or not to make the launch. Therefore, it is possible that the physiotherapist will not be on site with the patient during the session because the system will automatically perform all the session. This type of session is aimed at achieving the rehabilitation exercises once the patient has mastered the movements and posture of the body properly.

In both types of sessions, the system will be able to make an evaluation of the patient's movements, showing at all times a punctuation.

The system developed from the definition of the objectives is a game that is separated into two parts.

The first part is focused specialist, in this case a **physiotherapist**. The system displays on a monitor an interface where you can select one of the two sessions to make and one of the two movements per session. The menu will look like this:



Ilustración 2: Physiotherapist interface

The second part is developed for the **patient**, which will have the vision of virtual reality through the device Oculus Rift. You have created a game in which, depending on the session and movement selected by the therapist, the patient should perform adequately

chosen by the expert to stop the ball moving and increase your score. The final patient's vision through the Oculus Rift is (Note: This pictures reflects a 2 dimensions image):



Ilustración 3: Patient's visions of the system



Índice

1. Introducción.....	16
1.1 Motivación - Problema encontrado.....	16
1.2 Solución	17
1.3 Objetivos.....	17
1.4 Estructura del documento	18
2. Estado del Arte	20
2.1 Historia de la realidad virtual.....	20
2.2 Dispositivos.....	24
2.2.1 Gafas de realidad Virtual.....	24
2.2.2 Dispositivos reconocimiento de los movimientos.....	29
2.2.3 Motores de desarrollo	35
2.3 Proyectos parecidos	37
2.4 Métodos de rehabilitación	40
2.5 Conclusiones.....	43
3. Análisis	47
3.1 Propósito y objetivos	47
3.1.1 Objetivos tecnológicos:	47
3.1.2 Objetivos médicos.....	48
3.2 Funcionalidad del sistema	48
3.2.1 Dispositivos Utilizados.....	48
3.2.2 Funcionalidad del programa	52
3.2.3 Beneficios del Sistema.....	53
3.3 Casos de uso.....	54
3.4 Requisitos del sistema.....	58
3.4.1 Requisitos Funcionales.....	59



3.4.2 Requisitos No Funcionales	62
3.5 Marco Jurídico.....	66
4. Diseño	70
4.1 Diseño Físico.....	70
4.2 Diseño Lógico	73
4.2.1 Diagrama de clases	73
4.2.2 Matriz de trazabilidad	75
4.3 Interfaz de Usuario	76
4.3.1 Interfaz del fisioterapeuta	76
4.3.2 Interfaz del usuario final.....	78
5. Implementación.....	80
5.1 Diseño del entorno.....	80
5.1.1 Terreno de Juego	80
5.1.2 Porterías	81
5.1.3 Pelota.....	81
5.1.4 Vallas publicitarias	82
5.1.5 Iluminación del entorno	82
5.1.6 Estadio y objetos adicionales	83
5.2 Integración de la realidad Virtual	84
5.3 Integración de la cámara de <i>tracking</i>	86
5.4 Integración del proyecto en Unity 3D	89
6. Evaluación.....	91
6.1 Validación de Requisitos	91
6.2 Pruebas realizadas	99
6.2.1 Pruebas de rendimiento	99
6.2.2 Evaluación por expertos.....	102
7. Gestión del Proyecto	105
7.1 Presupuesto total.....	105
7.1.1 Costes Hora / Hombre	105



7.1.2 Costes Materiales	107
7.1.3 Costes totales	107
7.2 Planificación.....	108
7.2.1 Planificación Inicial	108
7.2.2 Grado de cumplimiento de la planificación.....	109
8. Conclusiones	111
8.1 Cumplimiento de los objetivos.....	111
8.1.1 Cumplimiento de los objetivos tecnológicos	111
8.1.2 Cumplimiento de los objetivos médicos	112
8.2 Líneas Futuras.....	113
9. Referencias	114
10. Anexos.....	119

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: System Devices. Oculus Rift DK2 + Intel RealSense	5
Ilustración 2: Physiotherapist interface	6
Ilustración 3: Patient's visions of the system	7
Ilustración 4: Primer HUD inventado por Ivan Sutherland.....	20
Ilustración 5: A la Izquierda, el estereoscopio. A la derecha, un anáglifo	21
Ilustración 6: A la Izquierda, el sensorama. A la derecha, el primer holograma	22
Ilustración 7: Los Sayre Gloves	22
Ilustración 8: SEGA Subroc-3D.....	23
Ilustración 9: A la Izquierda, el Famicom 3D System. En el centro SEGA 3D Glasses. A la derecha, la Virtual Boy.....	23
Ilustración 10: Oculus Rift DK1.....	25
Ilustración 11: Oculus Rift DK2.....	26
Ilustración 12: Project Morpheus	26
Ilustración 13: Archos VR Glasses	27
Ilustración 14: Samsung Gear VR.....	28
Ilustración 15: Dispositivo Razer Hydra	29
Ilustración 16: Dispositivo STEM System	30
Ilustración 17: Ps3 Move Controller	31
Ilustración 18: Dispositivo Kinect v1.0.....	31
Ilustración 19: Dipositivo Kinect v2.0.....	32
Ilustración 20: Intel RealSense.....	33
Ilustración 21: Perception Neuron Project	34
Ilustración 22: Murderer: Soul Suspect creado con Unreal Engine	36
Ilustración 23: Ryse: Son of Rome creado con CryEngine	37
Ilustración 24: Sistema D'VINCI, cirugía robótica	38
Ilustración 25: Hospital Perpetuo Socorro utilizando la realidad virtual	39
Ilustración 26: Realidad virtual en fases de rehabilitación	40
Ilustración 27: Movimiento de Abducción	41
Ilustración 28: Movimiento de Aducción.....	41
Ilustración 29: Movimiento de Flexión.....	42
Ilustración 30: Movimiento de extensión	42



Ilustración 31: Movimiento de rotación interna y externa	43
Ilustración 32: Estereopsis - Oculus Rift.....	49
Ilustración 33: Grados de libertad Oculus Rift.....	49
Ilustración 34: Sensores IR Oculus Rift.....	50
Ilustración 35: Diagrama arquitectura de conectividad.....	72
Ilustración 36: Interfaz - Menú principal.....	76
Ilustración 37: Interfaz - Sesión supervisada.....	77
Ilustración 38: Interfaz - Sesión no supervisada	78
Ilustración 39: Interfaz del usuario final.....	79
Ilustración 40: Diseño del entorno - Terreno de juego	80
Ilustración 41: Diseño del entorno - Portería	81
Ilustración 42: Diseño del entorno - Pelota de fútbol.....	82
Ilustración 43: Diseño del entorno - Vallas publicitarias	82
Ilustración 44: Diseño del entorno - Iluminación del entorno.....	83
Ilustración 45: Imagen entorno videojuego - 1	84
Ilustración 46: Imagen entorno videojuego - 2	84
Ilustración 47: Visión del usuario final.....	85
Ilustración 48: Figura primitiva Unity3D: Quad	86
Ilustración 49: Marcador de puntuación.....	86
Ilustración 50: Puntos referencia mano con Intel RealSense	87
Ilustración 51: Implementación de los movimientos de Intel RealSense en Unity	88
Ilustración 52: Límites de los movimientos en Unity 3D	89
Ilustración 53: Imagen de cargado entre diferentes sesiones	90
Ilustración 54: Menú interfaz Oculus Rift - FPS	100
Ilustración 55: Pruebas Sesión Supervisada ABD	101
Ilustración 56: Pruebas Sesión Supervisada ADD	101
Ilustración 57: Pruebas Sesión Supervisada - media vs mínimo	102
Ilustración 58: Diagrama de clases Menú - Inicio.....	120
Ilustración 59: Diagrama de clases Menú - Supervisado.....	121
Ilustración 60: Diagrama de clases Menú No Supervisado.....	122
Ilustración 61: Diagrama de clases sesión Mov ABD/ADD Supervisado	123
Ilustración 62: Diagrama de clases sesión Mov ABD/ADD No Supervisado	124
Ilustración 63: Planificación Inicial.....	125
Ilustración 64: Planificación real.....	125



Lista de Tablas

Tabla 1: Comparativa Gafas de RV.....	28
Tabla 2: Comparativa dispositivos tracking corporal.....	34
Tabla 3: Comparativa motores de desarrollo.....	37
Tabla 4: Características Intel RealSense.....	51
Tabla 5: Características Intel RealSense II	52
Tabla 6: Tabla modelo Casos de Uso.....	54
Tabla 7: Caso de Uso CU-01	54
Tabla 8: Caso de Uso CU-02	55
Tabla 9: Caso de Uso CU-03	55
Tabla 10: Caso de Uso CU-04	56
Tabla 11: Caso de Uso CU-05	56
Tabla 12: Caso de Uso CU-06	57
Tabla 13: Caso de Uso CU-07	57
Tabla 14: Tabla modelo Requisitos de Software.....	58
Tabla 15: Requisito Funcional 01.....	59
Tabla 16: Requisito Funcional 02.....	59
Tabla 17: Requisito Funcional 03.....	59
Tabla 18: Requisito Funcional 04.....	60
Tabla 19: Requisito Funcional 05.....	60
Tabla 20: Requisito Funcional 06.....	60
Tabla 21: Requisito Funcional 07.....	61
Tabla 22: Requisito Funcional 08.....	61
Tabla 23: Requisito Funcional 09.....	61
Tabla 24: Requisito Funcional 10.....	62
Tabla 25: Requisito No Funcional 01.....	62
Tabla 26: Requisito No Funcional 02.....	62
Tabla 27: Requisito No Funcional 03.....	63
Tabla 28: Requisito No Funcional 04.....	63
Tabla 29: Requisito No Funcional 05.....	63
Tabla 30: Requisito No Funcional 06.....	64
Tabla 31: Requisito No Funcional 08.....	64
Tabla 32: Requisito No Funcional 08.....	64
Tabla 33: Requisito No Funcional 09.....	65



Tabla 34: Requisito No Funcional 10.....	65
Tabla 35: Requisito No Funcional 11.....	65
Tabla 36: Requisito No Funcional 12.....	66
Tabla 37: Requisito No Funcional 13.....	66
Tabla 38: Componentes ordenador de desarrollo	71
Tabla 39: Componentes ordenador de pruebas.....	71
Tabla 40: Detalles Monitor.....	71
Tabla 41: Matriz de trazabilidad Casos de Uso - Requisitos Funcionales	75
Tabla 42: Tabla modelo pruebas requisitos	91
Tabla 43: Prueba RF01	92
Tabla 44: Prueba RF02	92
Tabla 45: Prueba RF03	93
Tabla 46: Prueba RF04	93
Tabla 47: Prueba RF05	93
Tabla 48: Prueba RF06	93
Tabla 49: Prueba RF07	94
Tabla 50: Prueba RF08	94
Tabla 51: Prueba RF09	94
Tabla 52: Prueba RF10	95
Tabla 53: Prueba RNF01.....	95
Tabla 54: Prueba RNF02.....	95
Tabla 55: Prueba RNF03.....	96
Tabla 56: Prueba RNF04.....	96
Tabla 57: Prueba RNF05.....	96
Tabla 58: Prueba RNF06.....	97
Tabla 59: Prueba RNF07.....	97
Tabla 60: Prueba RNF08.....	97
Tabla 61: Prueba RNF09.....	98
Tabla 62: Prueba RNF10	98
Tabla 63: Prueba RNF11.....	98
Tabla 64: Prueba RNF12.....	98
Tabla 65: Prueba RNF13.....	99
Tabla 66: Costes hora / Hombre alumno.....	106
Tabla 67: Costes Hora / Hombre tutor	106
Tabla 68: Costes Hora / Hombre totales.....	106
Tabla 69: Costes materiales.....	107



Tabla 70: Costes totales..... 107

1. Introducción

En los últimos años, el campo de la realidad virtual ha aumentado a pasos agigantados. La inmersión en los videojuegos conseguida por el uso de dispositivos de realidad virtual hace que jugar sea una experiencia nueva, aumentando el realismo y difuminando la línea entre lo virtual y lo real.

Muchos sectores están implementando la realidad virtual como un servicio adicional a los servicios que prestaban anteriormente. Sectores como la aviación, el sector militar o el sector de salud se apoyan en la simulación realista que permite la realidad virtual para incrementar las capacidades de sus empleados con simulaciones de vuelo para los pilotos, simulaciones de operaciones quirúrgicas o simulaciones de misiones de infiltración.

Sin embargo, recientemente, se ha incorporado un factor adicional, la realidad virtual para los clientes de estas compañías. Así como el sector de la aviación utiliza la realidad virtual para calmar a clientes con miedo a volar o como entretenimiento para sus pasajeros, en el sector de la salud se están llevando a cabo proyectos para que los pacientes visualicen contenidos mientras son sometidos a una operación o la utilización de la realidad virtual con fines terapéuticos. Esto hace aumentar no solo la satisfacción de los clientes, sino el aumento de la confianza depositada en la compañía

El uso de la realidad virtual hace que se abra un nuevo campo no solo en la industria del entretenimiento, sino en cualquier industria o sector.

1.1 Motivación - Problema encontrado

En el presente trabajo de final de grado, se ha encontrado un problema que se encuentran a diario expertos fisioterapeutas, y es que la rehabilitación de cualquier músculo o parte del cuerpo, conlleva no solo al tratamiento por parte de estos expertos de la zona afectada, sino también a la realización de ejercicios específicos por parte del usuario final con el fin de obtener toda la movilidad y rotación perdida tras la lesión. Al principio de la rehabilitación, los usuarios finales tienden a realizar incorrectamente los ejercicios de rehabilitación, posicionando mal el cuerpo o realizando un movimiento o rotación de la zona de una forma incorrecta al que deberían, disminuyendo así la eficacia del tratamiento.

En el presente trabajo se pretende desarrollar una aplicación de realidad virtual capaz de asistir a las personas en sus ejercicios de rehabilitación, ayudando a los usuarios finales a realizar correctamente los ejercicios para incrementar la eficacia real del tratamiento.

Inicialmente, la aplicación se realizaría con la supervisión del fisioterapeuta que se encuentra realizando el proceso completo de rehabilitación, corrigiendo la postura, orientación y movimientos del cuerpo del usuario final. Posteriormente, la aplicación podrá tener un componente no supervisado por el fisioterapeuta, asistiendo al usuario final con sus movimientos y rotaciones de su rehabilitación.

El desarrollo y uso de la aplicación a desarrollar permitirá que los usuarios finales comprendan y corrijan inicialmente los movimientos que deben realizar diariamente para poder completar satisfactoriamente su rehabilitación.

1.2 Solución

La solución propuesta ante este tipo de problema es el desarrollo del presente trabajo de final de grado.

Se trata de un videojuego en realidad virtual capaz de obtener los movimientos del usuario final a través de una cámara de tracking de movimientos, y procesarlos adecuadamente para saber si el usuario final está realizando correctamente los movimientos rehabilitadores propuestos por el fisioterapeuta.

El videojuego incorporará una opción supervisada en la que fisioterapeuta podrá corregir los movimientos del usuario final si no se encuentran realizados correctamente. En esta modalidad, el fisioterapeuta deberá estar con el paciente en todo momento hasta la finalización de la sesión.

Así mismo, será posible una opción no supervisada en la que el fisioterapeuta no se encuentre vigilando al paciente constantemente. Esto permitirá al fisioterapeuta realizar otras actividades mientras el videojuego realiza los movimientos con el usuario final, optimizando su tiempo laboral.

1.3 Objetivos

Tras observar el problema encontrado expuesto anteriormente, los principales objetivos que se quieren llegar a conseguir tras la realización del presente trabajo de final de grado son los siguientes:

1. Creación de un videojuego capaz de establecer unos parámetros adecuados para una correcta posición y orientación del cuerpo del usuario final.
2. Creación de un entorno virtual capaz de reproducir correctamente el videojuego desarrollado.

3. Realización de una rehabilitación completa por parte del usuario final sin la intervención continua de un especialista.
4. Mejora de la movilidad de la zona afectada por la lesión.
5. Posible optimización del tiempo laboral de un fisioterapeuta.

1.4 Estructura del documento

En esta sección, se pasará a detallar la estructura del presente documento que explica el trabajo de final de grado desarrollado, describiendo la información que contiene cada sección del documento.

En el segundo capítulo se encuentra el *estado del arte*, donde se describen las diferentes tecnologías utilizadas y las tecnologías existentes en el mercado. Se expondrán tanto las tecnologías de realidad virtual como las tecnologías de obtención de movimientos del usuario final. También se detallarán distintos proyectos que existen en el mercado y unas conclusiones finales escogiendo la tecnología con la que se desarrollará el proyecto.

En el capítulo 3, análisis del sistema, se explica cómo es el sistema a desarrollar. Por lo tanto, se realizará una visión más detallada de la funcionalidad del sistema, así como diferentes casos de uso o los requisitos del sistema.

En el capítulo 4 se abordará el diseño tanto lógico como físico del sistema. Se detallará la arquitectura del sistema, y de la funcionalidad que deberá tener cada componente. También se hará una visión principal de la interfaz de usuario, abordando tanto el menú principal como la imagen principal del videojuego a desarrollar.

A continuación, en el quinto capítulo se detallará la implementación del sistema. Se abordarán en tres diferentes secciones, la implementación del videojuego junto con las decisiones de diseño tomadas, y el uso de la implementación de las gafas de realidad virtual y la implementación de la cámara de tracking corporal en el entorno de desarrollo del videojuego.

En el sexto capítulo nos encontramos la evaluación del sistema, tanto tecnológicamente como de forma rehabilitadora. Esta evaluación la realizarán diferentes fisioterapeutas, aportando su visión científica y verificando el correcto funcionamiento del sistema.

En los capítulos finales nos encontramos con la gestión del proyecto, donde se describe el presupuesto total del proyecto teniendo en cuenta todos los dispositivos y los costes de desarrollo, y la planificación inicial del proyecto. Para finalizar, se encuentran las



conclusiones del proyecto, donde se aportará un punto de vista crítico del proyecto realizado y se verificarán los objetivos cumplidos determinados al inicio del proyecto.

2. Estado del Arte

En esta sección se describirá las tecnologías existentes hoy en día quedan solución a requisitos que se tienen inicialmente, así como una detallada descripción de su evolución a lo largo de la historia. Por un lado, se detallarán todos los dispositivos de realidad virtual que se encuentran en el mercado, mientras que por otro lado se detallarán los trackers y los motores de desarrollo. a continuación, se hará una breve introducción a la rehabilitación de una patología de hombro, mostrando los principales movimientos a realizar por parte del paciente. Finalmente, se realizarán unas breves conclusiones, en los cuales se incluyen los dispositivos seleccionados, así como los movimientos de rehabilitación que se implementarán en el videojuego de realidad virtual.

2.1 Historia de la realidad virtual

Aunque la realidad virtual sea una tecnología que se ha expandido a grande pasos durante los últimos años, cabe destacar que esto no es del todo correcto, ya que los inicios de la realidad virtual datan de 1844, sin embargo, no fue hasta 1965, cuando Ivan Sutherland publicó el artículo titulado "*The Ultimate Display*"^[1], donde se describía el concepto de realidad virtual y asentó las bases de esta tecnología. Además, fue Ivan Sutherland quien inventó el primer casco de realidad virtual denominado HUD (*Head-up Display*), utilizando un tubo de rayos catódicos para cada ojo. En la siguiente ilustración^[2], se muestra el aspecto del primer casco de realidad virtual.

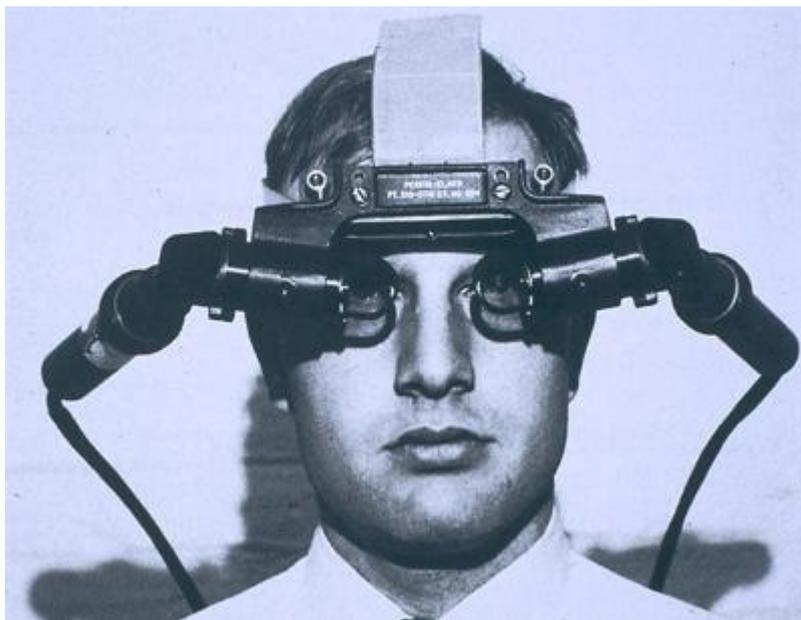


Ilustración 4: Primer HUD inventado por Ivan Sutherland

Sin embargo, anteriormente a Ivan Sutherland, se inventaron diferentes visores que utilizaban el mismo concepto que se utiliza en la realidad virtual hoy en día. El *estereoscopio* (parte izquierda de la ilustración 5 ^[3]) o el *anáglifo* (parte derecha de la ilustración 5 ^[4]) son pruebas de ello. Un visor que separaba visualmente dos imágenes pero que estaban ligeramente trasladadas la una de la otra, o la proyección de diferentes imágenes con filtros de color rojo para el ojo derecho y azul/verde para el izquierdo.



Ilustración 5: A la izquierda, el estereoscopio. A la derecha, un anáglifo

Hay que avanzar hasta 1962 para encontrar el siguiente gran invento de la realidad virtual, el *sensorama* (parte izquierda de la ilustración 6 ^[5]). El *sensorama* era un aparato de realidad virtual que surgió para estimular no solo el sentido visual, sino también el olfativo, el tacto y el auditivo. Gracias a este dispositivo, la realidad virtual adquirió un sentido adicional, debido a que el dispositivo no se dedicaba exclusivamente a la proyección de imágenes para conseguir un efecto de profundidad, sino que intentaba acercar al usuario a una realidad inexistente. Dos años más tarde, en 1964, Emmett Leith y Juris Upatneiks desarrollaron el primer holograma como se puede ver en la parte derecha de la ilustración 6 ^[6].

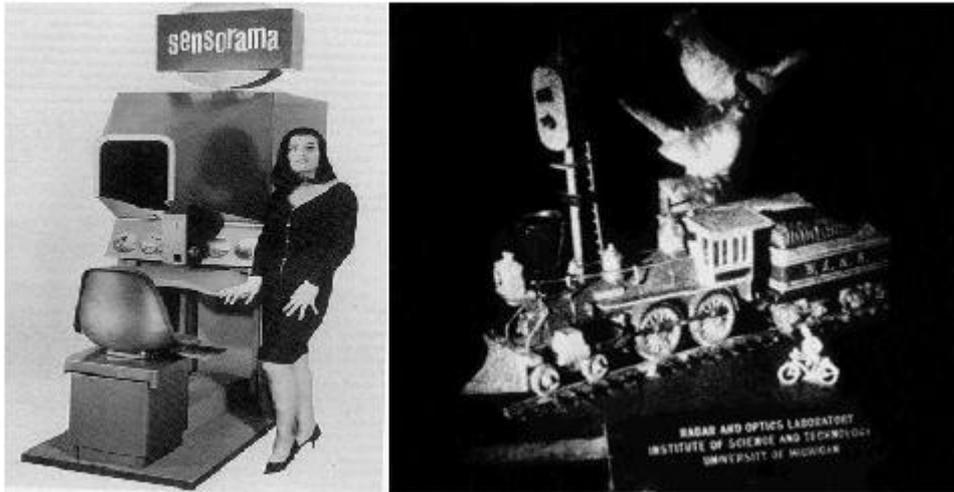


Ilustración 6: A la izquierda, el sensorama. A la derecha, el primer holograma

Por otro lado, la realidad virtual no sólo prosperó en cuanto a dispositivos visuales. En años posteriores surgieron dispositivos como los Sayre Gloves. Este dispositivo de 1977 permitía obtener la flexión de los dedos a través de emisores de fibra óptica incorporados en los guantes. Los Sayre Gloves disponían de un receptor que, dependiendo de la cantidad de luz que obtenían de los emisores de fibra, calculaba la flexión de los dedos. En la ilustración 7 [7] se muestra el diseño de los Sayre Gloves:

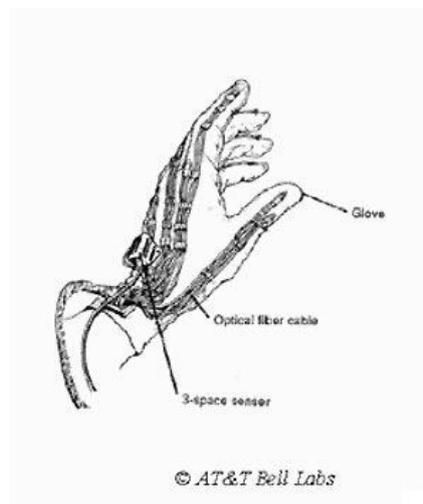


Ilustración 7: Los Sayre Gloves

Después de estos inventos, la realidad virtual despegó en uno de los campos en los que tiene más presencia incluso en los tiempos actuales, en la industria del videojuego. Fue la empresa SEGA quien, en 1982, lanzó al mercado una máquina arcade denominada Subroc-3D. Se trataba de un videojuego de guerra acuática el cual tenía un visor binocular integrado que pretendía imitar un periscopio de un submarino. El visor contaba con dos

discos giratorios con aberturas transparentes, los cuales giraban de manera sincronizada dejando pasar la imagen en uno de los dos ojos, ofreciendo una visión en 3D. En la siguiente imagen, se ilustra^[8] esta máquina arcade de SEGA:



Ilustración 8: SEGA Subroc-3D

A continuación, las grandes compañías como Nintendo y de nuevo SEGA, crearon diferentes dispositivos de realidad virtual con los que jugar. Así aparecieron en el mercado en 1987 la Famicom 3D System^[9], en 1988 la SEGA 3-d Glasses^[10] o en 1995 la Virtual Boy de Nintendo^[11]. Todas ellas compartían el mismo problema, y es que se trataban de dispositivos con pantallas con resoluciones muy bajas y poco asequibles para el mercado de aquella época.



Ilustración 9: A la Izquierda, el Famicom 3D System. En el centro SEGA 3D Glasses. A la derecha, la Virtual Boy

A partir de ese día, la tecnología ha seguido avanzando, y con ella, la realidad virtual. No solo se han desarrollado nuevos y mejores dispositivos, sino que se han desarrollado

diferentes proyectos de realidad virtual como *Google Earth* que permite la visión del planeta tierra y de los lugares con mayor ocupación de la tierra en 3 dimensiones o la plataforma virtual *Second Life*, donde los usuarios pueden moverse por un mundo virtual y modificar su entorno. Todo ello nos lleva hasta el día de hoy, donde se han desarrollado multitud de dispositivos de realidad aumentada, que combinado con el aumento progresivo de potencia en los ordenadores a lo largo de la historia, hace que la realidad virtual sea cada día más real.

2.2 Dispositivos

En el campo de la realidad virtual existen múltiples dispositivos entre los que hay que decidir cuál se ajusta más a nuestras necesidades de desarrollo, no solo en cuanto a calidad-precio, sino también en cuanto a prestaciones. Es por eso que hay que decidir entre múltiples alternativas de gafas de realidad virtual, de dispositivos capaces de obtener los movimientos de nuestro usuario final y por último decidir las herramientas o motor de desarrollo con las que se desarrollará el programa que el usuario final podrá ver desde las gafas de realidad virtual.

2.2.1 Gafas de realidad Virtual

En el apartado de las alternativas de las gafas de realidad virtual, no encontramos con múltiples dispositivos. En los últimos dos años ha habido un incremento del desarrollo de dispositivos de realidad virtual debido a la repercusión de las Oculus Rift. Esto ha hecho que en el último año se presenten y se comercialicen distintos tipos de gafas de realidad virtual, cada uno de ellos con sus diferencias y similitudes a las Oculus Rift, el exponente principal del mercado. Las posibilidades que se barajan para poder realizar el desarrollo de la aplicación son los siguientes.

En primer lugar cabe destacar el mayor exponente de estos dispositivos, El dispositivo Oculus Rift. Las Oculus Rift son unas gafas de realidad virtual que destacan por ser las primeras en el mercado que adaptaban multitud de tecnologías existentes y lo trasladaba todo a la realidad virtual. Existen dos versiones de este dispositivo, denominados *Developer Kit 1 (DK1)* y *Developer Kit 2 (DK2)* . Por el momento no existe una versión comercial dirigida al público común, siendo la única posibilidad de obtener las gafas de realidad virtual la obtención de estos kits de desarrollo.

El DK1 cuenta con 3 acelerómetros, 3D estereoscópico y un ángulo de visión de 110°. La resolución de la pantalla integrada es una pantalla de 7 pulgadas con una resolución de 1280x800 pixeles con una relación de aspecto de 16:10, lo cual proporciona una

resolución de 640x800 para cada ojo ^[12]. Destacan por su facilidad de programar sobre ellas, lo cual hace que haya una comunidad de desarrolladores y documentación muy amplia. Actualmente las gafas están integradas con los principales motores de desarrollo para hacer que el desarrollo de videojuegos sea aún más fácil. No existe la posibilidad de adquirir este dispositivo, ya que no se encuentra en el mercado. En la ilustración 10 se puede observar una imagen de las Oculus Rift DK1^[13].



Ilustración 10: Oculus Rift DK1

Por otro lado, el DK2 cuenta con algunas mejoras respecto a su primera versión de desarrollo. Se ha incrementado el número de acelerómetros a 6, reducido el ángulo de visión a 100°. La principal mejora del DK2 respecto al DK1 es la incorporación de pantalla de 5,7 pulgadas con una resolución de 1920x1080 con una relación de aspecto de 16:9, lo que proporciona una resolución de 960 x 1080 por cada ojo ^[14]. Esto permite tener una mayor resolución por ojo y un mayor nivel de detalle, permitiendo mitigar el famoso efecto "*Screen door effect*", que no es más que la apreciación de las líneas delimitadoras de cada pixel^[15]. Por otro lado, también se incorpora un nuevo dispositivo denominado *Positional Trackin*. Se trata de una cámara que permite el seguimiento del dispositivo Oculus Rift, permitiendo nuevas funcionalidades como el movimiento dentro de un videojuego al mover las gafas de realidad virtual. El precio en el mercado es de aproximadamente \$350, sin embargo, la Universidad Carlos III ya posee una unidad para el desarrollo de aplicaciones. En la ilustración 11 se puede observar una imagen de las Oculus Rift DK2^[16].



Ilustración 11: Oculus Rift DK2

Por otro lado se encuentran las gafas Project Morpheus desarrolladas por Sony y pensadas para la nueva generación de consolas. Se tratan de unas gafas desarrolladas específicamente para PlayStation 4, por lo que el desarrollo para proyectos fuera de dicho sistema no está confirmado. Se trata de un proyecto aún en desarrollo, por lo que estas gafas aún no están en venta en el mercado y se desconocen las características de las gafas, sin embargo, al tratarse de un desarrollo para videoconsolas, contarán con una pantalla LCD de 5 pulgadas con una resolución de 1920x1080 como mínimo, lo que proporciona una resolución de 960x1080 por ojo, acelerómetros y 90º de ángulo de visión^[17]. En la siguiente ilustración, la ilustración 12, se encuentra un prototipo del diseño de project Morpheus ^[18].



Ilustración 12: Project Morpheus

Por otro lado tenemos gafas de realidad virtual completamente diferentes de las anteriormente vistas. Se trata de Archos VR Glasses, las cuales necesitan de un teléfono móvil para obtener todas las funcionalidades debido a que este teléfono actuará como pantalla de reproducción. Es necesario que este teléfono tenga unas dimensiones de pantalla de 5 o 6 pulgadas, necesitan de un procesador Quad Core como mínimo y es compatible con todos los sistemas operativos actuales en el mercado (Android, iOS o Windows Phone). Al ser unas gafas dependientes del dispositivo móvil que incluyas, no existen unas características técnicas fijadas. El precio de mercado para estas gafas se trata de un precio mucho menor a sus competidoras, pudiéndolas encontrar por 30 € ^[19]. En la ilustración 13 ^[20], se puede apreciar el diseño de las Archos VR Glasses.



Ilustración 13: Archos VR Glasses

En este mismo mercado nos encontramos las Samsung Gear VR, un dispositivo de realidad virtual desarrollado por el equipo de Oculus Rift. Se tratan de unas gafas de realidad virtual que funcionan, al igual que las Archos VR Glasses, con un dispositivo móvil como pantalla de reproducción. Samsung aconseja el uso de su móvil más potente lanzado al mercado, el Samsung Galxy Note 4, el cual cuenta con una pantalla de 5,7 pulgadas con una resolución de 1440x2560 píxeles y 8 cores de potencia. Esto hace que las gafas posean la resolución perteneciente a este Smartphone, consiguiente 90º de ángulo de visión para un 3D estereoscópico. Aún no se encuentra en el mercado, sin embargo Samsung ha estimado el precio en unos \$199 (aproximadamente 160 €)^[21]. En la ilustración 14, se puede apreciar el dispositivo Samsung Galaxy Gear con un teléfono Samsung Galaxy Note 4 incorporado [22].



Ilustración 14: Samsung Gear VR.

En la tabla 1, se muestra un resumen de los principales dispositivos de realidad virtual, así como las principales características de cada uno en comparación con el resto de los dispositivos.

	Oculus Rift DK1	Oculus Rift DK2	Archos VR Glasses	Samsung Gear VR	Poject Morpheus
Tecnología	3 Acelerómetros, Resolución 1280x800, 110º Ángulo Visión	6 Acelerómetros, Resolución 1920x1080, 100º Ángulo Visión	Acelerómetros, Características dependientes del dispositivo móvil	Acelerómetros, Resolución 1920x2560, 90º Ángulo Visión	Acelerómetros, Resolución 1920x1080, 90º Ángulo Visión
Plataforma	Ordenador	Ordenador	Dispositivos móviles	Ordenador	PlayStation 4
Disponibilidad	Sin disponibilidad	Development Kit	Ya en el mercado	No	No
Complemento necesario	No	No	Dispositivos móvil	Samsung Galaxy Note 4	PS Move Controller
Año de lanzamiento	2012	2014	2014	2015-2016	2015-2016
Precio	-	300,00 €	30,00 € + Smartphone	160,00 € + Smartphone	-

Tabla 1: Comparativa Gafas de RV

2.2.2 Dispositivos reconocimiento de los movimientos

Para este proyecto, no solo son necesarias unas gafas de realidad virtual donde el usuario final podrá ver el videojuego desarrollado, sino que es necesario un sistema que capte los movimientos de este usuario final para poder trasladarlo al videojuego. Existen diversas opciones o dispositivos en el mercado para poder obtener las acciones o movimientos del usuario final. Los siguientes dispositivos son los más destacados y los que incluyen más funcionalidades de cara a la realidad virtual.

Uno de los dispositivos más utilizados para el desarrollo de aplicaciones o videojuegos en la realidad virtual es el Razer Hydra. Razer Hydra se trata de dos mandos o controladores con botones y sticks en ambos mandos. Estos mandos también poseen giroscopios capaces de establecer la posición de las manos que sujetan los mandos y actuar en conjunción con los movimientos de las manos. Razer hydra fue lanzado al mercado en 2009 por un precio de \$100 (aproximadamente 80€) y ha sido utilizado en muchos proyectos junto con Oculus Rift debido a su sencillez de implementación con la Realidad virtual. En la ilustración 15^[23] se muestra el dispositivo Razer Hydra junto con su base de estacionamiento.



Ilustración 15: Dispositivo Razer Hydra

La evolución del Razer Hydra se trata de STEM System. Partiendo de la misma base que Razer Hydra, STEM System mejora todas las funcionalidades añadiendo ciertos aspectos nuevos. STEM System sigue siendo dos controladores o mandos con botones y sticks los cuales permiten manejar al jugador en el videojuego. Además, mejoran los acelerómetros de los Razer Hydra y se tratan de mandos completamente inalámbricos, mejorando la libertad de movimientos del usuario. Aún no se encuentra disponible en el mercado y tampoco tiene fecha de lanzamiento aproximado. Se estima que puede costar entre \$300 y

\$550 dependiendo del pack a comprar. En la ilustración 16 ^[24], se puede apreciar el pack completo de STEM System, el cual incluye la base de carga, los dos controladores y 3 dispositivos de tracking.



Ilustración 16: Dispositivo STEM System

Por otra parte, existen dispositivos más baratos en el mercado capaces de cumplir las anteriores características, se trata del PS3 Move Controller. Al igual que Razer Hydra y STEM System, PS3 Controller se trata de un mando con botones y sticks capaz de obtener la posición y acciones de las manos gracias a estar conectado a la PS Eye, una cámara de alta precisión cuya característica principal es la obtención de los movimientos a 60 fps. En la ilustración 17 ^[25] se pueden apreciar ambos dispositivos. El punto negativo de esta solución es que no existe ningún SDK para el desarrollo de aplicaciones en PC, por lo que no se podría desarrollar una aplicación a nivel comercial con este dispositivo. Por otra parte, la integración con Project Morpheus sería totalmente nativa. Este dispositivo ya se encuentra en el mercado a un precio de 40€ junto con la cámara PS Eye.



Ilustración 17: Ps3 Move Controller

Si analizamos otro tipo de dispositivos que no sean mandos o controladores, nos encontramos con cámaras especializadas en la obtención de los movimientos corporales como Kinect o Intel RealSense capaces de sustituir cualquier mando o controlador anteriormente visto.

Kinect se trata de una cámara avanzada la cual procesa no solo la imagen, sino que obtiene el esqueleto del usuario el cual está en frente suyo. Esto lo consigue gracias a la tecnología y a las varias cámaras diferentes, donde una cámara RGB detecta la luz visible y sigue los movimientos del usuario final, mientras que el proyector IR manda los rayos que rebotarán en los objetos de la habitación y la cámara IR será la encargada de crear un espacio de juego. Kinect es por lo tanto una cámara capaz de obtener a los movimientos de un usuario de forma totalmente inalámbrica y con libertad de movimientos. Kinect se encuentra disponible en el mercado a un precio de 130€ el cual además incluye el SDK para el desarrollo de aplicaciones o proyectos con este dispositivo. En la ilustración 18 ^[26], se puede apreciar la primera versión de Kinect.



Ilustración 18: Dispositivo Kinect v1.0

Sin embargo, se ha lanzado recientemente al mercado la primera revisión de la cámara Kinect, denominada Kinect v2.0, mostrado en la ilustración 19 [27]. No se trata solo de una evolución del su antecesor, sino que cambia completamente la tecnología usada obteniendo mejores resultados a la hora de obtener los movimientos del usuario final. Con esta nueva tecnología, el dispositivo Kinect v2.0 sigue obteniendo y reconstruyendo el esqueleto completo de la persona que tiene en frente, sino que además consigue una disminución de la latencia, la cual consigue que se sitúe en torno a los 10 ms. Por otro lado, El kinect original era capaz de obtener los movimientos de manos, brazos u hombros, sin embargo no era capaz de obtener buenos resultados a la hora de procesar los movimientos de los dedos. Por otro lado, también se ha incrementado el nivel de la profundidad y distancia de obtención de las acciones, obteniendo buenos resultados hasta los 8 metros.

Al igual que su antecesor, Kinect v2.0 tiene un SDK compatible con la realidad virtual, por lo que su implementación en cualquiera de los motores de desarrollo a elegir será sencilla.



Ilustración 19: Dispositivo Kinect v2.0

Por otro lado, la cámara de tracking Intel RealSense se trata de una cámara que, al igual que los dispositivos Kinect, no solo obtienen la imagen de la persona que tienen delante, sino que es capaz de procesar y construir el esqueleto de la persona. Esta cámara es capaz de obtener los movimientos de forma precisa de dedos, manos, muñecas y gestos de la cara. Este dispositivo de tracking obtiene los movimientos del usuario hasta una profundidad máxima de 1,5 metros de distancia. Este dispositivo ya se encuentra en el mercado a un precio estimado de \$100, sin embargo se trata solo de una versión para desarrolladores. Actualmente con la compra del dispositivo incluye un SDK con

integración con el motor de desarrollo Unity3D, así como con ejemplos de utilización en varios lenguajes (C#, Java, C++, etc). En la ilustración 20 ^[28], se puede observar el diseño de la cámara de tracking Intel RealSense, así como su similitud en las lentes con Kinect v1.0



Ilustración 20: Intel RealSense

Para finalizar, existen dispositivos que utilizan sensores colocados a lo largo del cuerpo capaces de detectar con absoluta precisión todos los movimientos y acciones del cuerpo. Se trata de Perception Neuron, un proyecto dedicado exclusivamente a la integración de las acciones del cuerpo humano en la realidad virtual. Con un número de sensores colocados estratégicamente en partes del cuerpo humano, es posible detectar los movimientos de la cabeza, espalda, codos, dedos de las manos, rodillas o pie. El proyecto se encuentra aún en fase de desarrollo y el precio estimado de un pack con 10 sensores estará en torno a los \$200 (aproximadamente 160 €). Sus creadores comentan que tiene soporte nativo para motores de desarrollo de videojuegos como Unity 3D. En la ilustración 21 ^[29], se puede observar el diseño de Perception Neuron, así como los tipos de sensores y las posibilidades de ubicación de estos sensores.

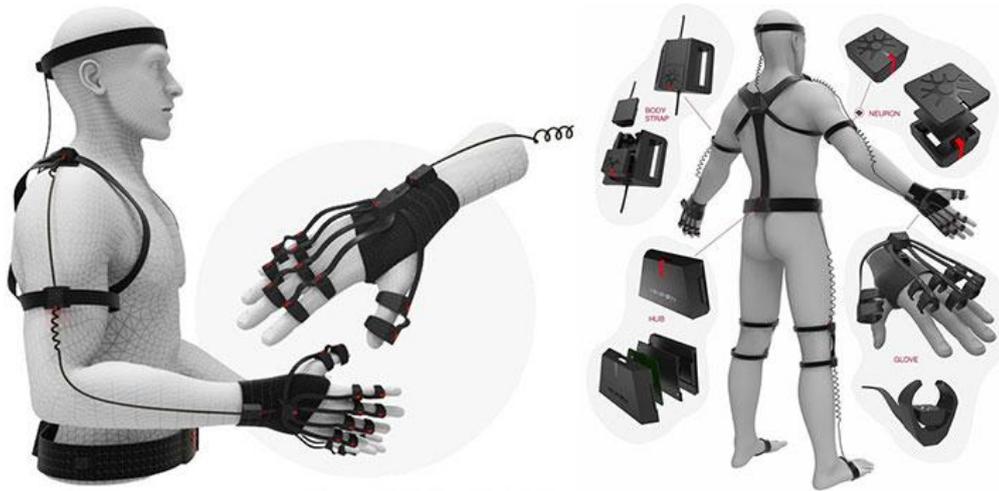


Ilustración 21: Perception Neuron Project

Es fundamental comprender mejor todas las características y comparar todos los dispositivos para finalmente escoger el que mejor se adapte al desarrollo del proyecto, es necesario fijarse en la siguiente comparativa reflejada en la tabla 2:

	Kinect v1.0	Kinect v2.0	Razer Hydra	STEM Systems	Move Controller	Perception Neuron	Intel RealSense
Tracking	Body Tracking	Body Tracking	Controller + Acelerómetros posición	Controller + Acelerómetros posición	Controller + Cámara posicional	Sensores de movimiento	Hand Tracking & Face Tracking
Latencia	80 ms	10 ms	Sin latencia	Sin latencia	-	Sin latencia	7 - 20 ms
Libertad de movimientos	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Desarrollo	SDK específico para Realidad Virtual	SDK específico para Realidad Virtual	Necesario configurar botones a acciones	Necesario configurar botones a acciones	Necesario configurar botones a acciones	SDK específico para Realidad Virtual	SDK específico para Realidad Virtual
Disponibilidad	Ya en el mercado	Ya en el mercado	Sin disponibilidad	No	Ya en el mercado	No	Development Kit
Año de lanzamiento	2010	2014	2011	2015-2016	2010	2015-2016	2014
Precio	130,00 €	200,00 €	80,00 €	240,00 €	40,00 €	160,00 €	100,00 €

Tabla 2: Comparativa dispositivos tracking corporal

2.2.3 Motores de desarrollo

Por último, hace falta saber sobre que plataforma se va a desarrollar el videojuego que verá el usuario final a través de las gafas de realidad virtual. Se han escogido los tres principales motores de desarrollo de videojuegos utilizados para el desarrollo de los videojuegos aplicados a la realidad virtual. En el mercado encontramos motores utilizados para el desarrollo de pequeños videojuegos por pymes o motores utilizados por grandes empresas que realizan videojuegos de alta calidad. Se han destacado principalmente los siguientes tres motores:

Por un lado, existe Unity 3D. Se trata de motor de desarrollo de videojuegos profesional open-source. Existen amplias posibilidades para el desarrollo de videojuegos en realidad virtual, dispositivos móviles, web o consolas de sobremesa y portátiles. Uno de los puntos fuertes de este motor es su amplia comunidad de usuarios que se encuentran desarrollando videojuegos enfocados a la realidad virtual. Existe también una amplia gama de assets, tanto de pago como gratuitos, capaces de proporcionar un aspecto visual más profesional al videojuego sin realizar un sobreesfuerzo en el desarrollo de la aplicación. Existe también una gran documentación con la cual poder iniciar y finalizar el desarrollo de cualquier videojuego. Se trata por lo tanto de un potente motor con una licencia gratuita capaz de desarrollar proyectos de alta calidad enfocados a la realidad virtual.

Otro de los motores recomendados por los especialistas para el desarrollo de videojuegos en realidad virtual se trata del Unreal Engine. Este motor se trata de un motor de desarrollo de videojuegos a nivel profesional. No se trata de una versión open-source, aunque si existen versiones gratuita para proyectos universitarios. Es un motor más complejo que el Unity 3D, por lo que la curva de aprendizaje es más lenta que otros motores. Sin embargo, los resultados finales obtenidos por este motor son de alta calidad, tal y como se muestra en la ilustración 22 de Murderer: Soul Suspect ^[30].



Ilustración 22: Murderer: Soul Suspect creado con Unreal Engine

Por último nos encontramos con otro motor de videojuegos ampliamente utilizado en la industria del videojuego más allá de la realidad virtual. Se trata del motor CryEngine, desarrollado por la empresa de videojuegos Crytek y lanzada al mercado en 2009, utilizado por amplios equipos de desarrollo de videojuegos que consiguen resultados como Ryse: Son of Rome, mostrado en la ilustración 23 ^[31], o Crysis 3. Se trata de un motor multiplataforma pensado para el desarrollo de videojuegos de alta calidad. La curva de experiencia es muy lenta, y es necesario un equipo de desarrollo para conseguir resultados favorables. Se desaconseja su uso para desarrollos pequeños o para equipos con pocos desarrolladores al ser un motor muy complejo y muy potente, teniendo una comunidad no muy amplia de desarrolladores y documentación.



Ilustración 23: Ryse: Son of Rome creado con CryEngine

Por último, para escoger correctamente el motor de desarrollo, hace falta atender a tabla 3 que se muestra a continuación:

	Unity 3D	Unreal Engine	CryEngine
Soporte para RV	Sí	Sí	Sí
Curva de Experiencia	Rápida	Media	Lenta
Equipo de desarrollo necesario	1 Persona o más	1 persona o más	5 personas o más
Comunidad de Usuarios - Documentación	Muy Grande	Media	Poca
Precio	Gratis	Gratis	Gratis

Tabla 3: Comparativa motores de desarrollo

2.3 Proyectos parecidos

El uso de la informática en un apartado tan importante de la raza humana como es la medicina se encuentra ampliamente extendida. Cuanto mayor es el avance tecnológico, mayor es el avance en esta rama de la ciencia. Sin embargo, en los últimos años, la realidad virtual aplicada a la medicina, también ha sufrido un incremento considerable en su uso.

Ramas de la medicina como la cirugía o la neurología, son las que más han sufrido este incremento del uso de la realidad virtual.

Una de las primeras técnicas que surgieron con el uso de la realidad virtual, fue la posibilidad de darle al cirujano una inmersión virtual en 3 dimensiones para operar con la ayuda de una robot con múltiples brazos articulados. Este tipo de proyectos surgieron durante los últimos años del siglo XX, y los primeros del siglo XXI, y permiten al cirujano usar un sistema de telepresencia, el cual consta de una consola maestra donde tiene acceso a dos mandos con los cuales podrá controlar el robot esclavo, y dos monitores que permitirán al cirujano una visión estereoscópica de paciente. Sin embargo, todo lo que ve el cirujano en 3 dimensiones es real, y todo lo que toca con los brazos robóticos, también. Este tipo de técnicas han ayudado minimizando riesgos quirúrgicos y minimizando las secuelas del postoperatorio. En la ilustración 24, se puede observar uno de estos sistemas de telepresencia como es el sistema D'VINCI [32].



Ilustración 24: Sistema D'VINCI, cirugía robótica

Sin embargo, la anterior solución no propone el uso de las Oculus Rift como dispositivo de realidad virtual, sino que utiliza una solución desarrollada específicamente para este uso, costando miles de dólares ambos dispositivos. La inclusión de dispositivos de realidad como las Oculus Rift, expanden un nuevo horizonte en la medicina al tratarse de dispositivos muy baratos, y dando resultados extraordinarios.

Existen empresas, tanto españolas como extranjeras, interesadas en desarrollar soluciones con la realidad virtual. Una de estas empresas es **PlayMedic** [33], que ha creado una línea completa de desarrollo de aplicaciones basadas en las Oculus Rift para trabajar

en aplicaciones de medicina o salud. Entre estas aplicaciones desarrolladas en realidad virtual se encuentran por ejemplo:

- Trastornos de ansiedad
- TDA (trastorno por déficit de atención)
- Observar un organismo en tres dimensiones
- Realizar prácticas de quirófano virtuales
- Observar un embrión en tres dimensiones

Por otro lado, existen hospitales como el **Hospital Perpetuo Socorro**, ubicado en Las Palmas de Gran Canaria, que realizaron un proyecto junto a la Universidad Palmas de Gran Canaria, en el que se utiliza la realidad virtual con pacientes durante una intervención quirúrgica con el fin calmar al paciente. Gracias a la completa inmersión que proporcionan las Oculus Rift en un entorno virtual, evitan tener que utilizar anestesia general pudiendo utilizar sólo anestesia local ya que el dispositivo de realidad virtual hacía que la paciente se relajase durante la operación. En la ilustración 25, se muestra una intervención quirúrgica en la cual el paciente lleva las Oculus Rift puestas durante la operación.



Ilustración 25: Hospital Perpetuo Socorro utilizando la realidad virtual

Sin embargo, no es la primera vez que la realidad virtual también se han utilizado para métodos de rehabilitación, como el caso de Jordan Robinson^[35]. El adolescente de 18 años tuvo un accidente al explotar varias bolsas de gasolina, lo cual le llevó al quirófano y más tarde, al proceso post operatorio el cual conlleva rehabilitación por parte de los fisioterapeutas. Jordan sufría graves dolores siguiendo los métodos tradicionales de rehabilitación, no obstante, la inmersión conseguida con la realidad virtual hacía que el

paciente se abstraiera de la realidad permitiendo a los expertos la realización de su trabajo mientras Jordan Robinson se encontraba viendo a través de las gafas de realidad virtual un videojuego muy simple. En la ilustración 26, vemos el tratamiento del paciente mientras utiliza el dispositivo de realidad virtual como abstracción de la realidad.



Ilustración 26: Realidad virtual en fases de rehabilitación

2.4 Métodos de rehabilitación

Los movimientos principales en la rehabilitación completa de una lesión del manguito rotador del hombro derecho, tal y como se definen en el libro de Fisiología articular por A.I. Kapandji ^[46], son los siguientes:

1. Abducción

- a. ABD: Separación del brazo de la línea media del cuerpo en un plano frontal. El movimiento tiene un rango articular de 0-180 grados. Los músculos principales son el Supraespinoso y deltoides. La ilustración 27 ^[36] muestra el movimiento a realizar por parte del paciente.
- b. ABD Horizontal: Separación del brazo de la línea media del cuerpo, partiendo desde 90 grados de flexión de hombro



Ilustración 27: Movimiento de Abducción

2. Aducción

- a. ADD: Aproximación del brazo hacia la línea media del cuerpo en un plano frontal partiendo siempre desde una posición de abducción. El movimiento tiene un rango articular de 180-0 grados. Los músculos principales son el pectoral mayor, dorsal ancho y subescapular. La ilustración 28 ^[36] muestra el movimiento a realizar por parte del paciente.
- b. ADD Horizontal: Aproximación del brazo hacia la línea media del cuerpo, partiendo desde una posición de abducción horizontal.

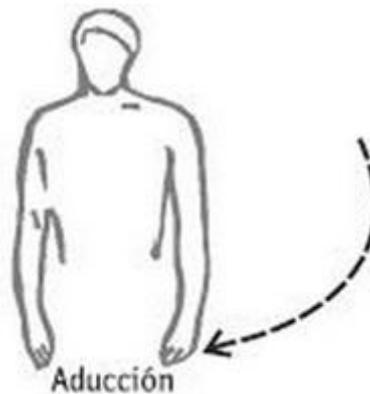
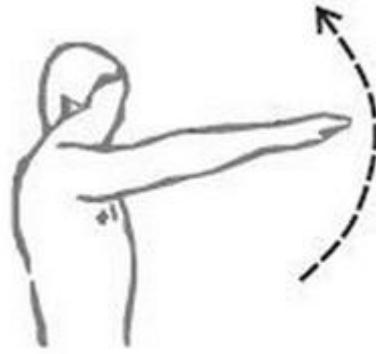


Ilustración 28: Movimiento de Aducción

3. Flexión: Elevación del brazo en un plano sagital. El movimiento tiene un rango articular de 0-180 grados. Los principales músculos son el deltoides anterior y el bíceps braquial. La siguiente ilustración ^[36] muestra de forma gráfica el movimiento.



Flexión

Ilustración 29: Movimiento de Flexión

4. **Extensión:** Descenso del brazo en un plano sagital. El movimiento tiene un rango articular de $180-(-45)$ grados. Los principales músculos son el deltoides posterior y tríceps braquial. La siguiente ilustración ^[36] muestra de forma gráfica el movimiento.



Extensión

Ilustración 30: Movimiento de extensión

5. **Rotación Interna:** Movimiento rotacional hacia dentro de la cabeza humeral. Tal y como se puede apreciar en la ilustración 31 ^[36], la rotación externa es un ángulo de -20° con respecto al eje horizontal, denotado en la ilustración como posición neutra.
6. **Rotación Externa:** Movimiento rotacional hacia fuera de la cabeza humeral. Tal y como se puede apreciar en la ilustración 31 ^[36], la rotación externa es un ángulo de 90° con respecto al eje horizontal, denotado en la ilustración como posición neutra.

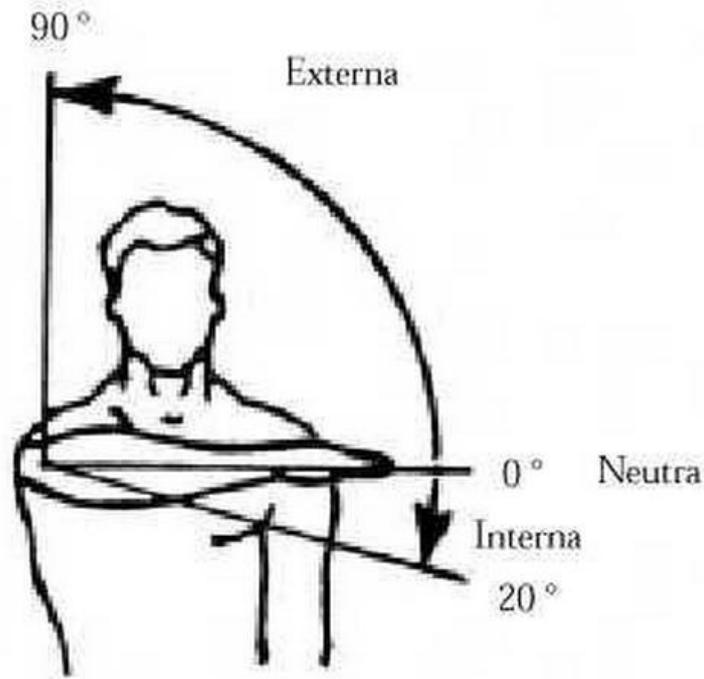


Ilustración 31: Movimiento de rotación interna y externa

2.5 Conclusiones

Teniendo en cuenta la visión general expuesta en la presente sección, las conclusiones que se pueden obtener de cada tecnología son las siguientes:

Realidad virtual

Observando el cuadro 1, las principales observaciones son:

- Gran capacidad de inmersión con cualquier dispositivo de realidad virtual, ya que todas ellas llevan incorporados sensores como acelerómetros que obtienen los movimientos del usuario.
- Todas las gafas existentes en el mercado actual (y el existente en próximos meses), tendrán una resolución parecida, tanto total [1920x1080] como resolución por ojo [960x1080]
- Las gafas de realidad virtual Oculus Rift DK1 se encuentran obsoletas y no disponibles en el mercado
- Una gafas de realidad virtual a las cuales hay que añadirles un periférico adicional como es un Smartphone, pueden no ser la mejor elección al tener que comprar un Smartphone de tales características.

- Actualmente existen pocas gafas de realidad virtual en el mercado, sin embargo se ve una creciente expansión en este sector en los próximos meses. Las gafas Samsung Galaxy VR y Project Morpheus no son una opción válida hoy en día.
- Las gafas Project Morpheus solo están disponibles para la plataforma PlayStation 4, por lo que no es una opción válida el desarrollo con este dispositivo de realidad virtual.

Teniendo en cuenta lo anterior, como dispositivo de realidad virtual, se ha escogido las gafas Oculus Rift DK2. Se tratan de las gafas de realidad virtual más estandarizadas en todo el mercado, presentando la mejor calidad tanto de imagen como de inmersión virtual, y que cuenta con un amplio soporte para cualquier motor de desarrollo y una gran comunidad de desarrolladores detrás de estas gafas de realidad virtual. La universidad Carlos III de Madrid ha proporcionado este dispositivo de realidad virtual para el desarrollo del presente trabajo. Hay que tener en cuenta que se trata de un "Developer Kit", por lo que no se trata de una versión final de venta al consumidor, y pueden encontrarse dificultades inesperadas.

Trackers

Teniendo en cuenta el cuadro 2, se pueden obtener las siguientes conclusiones sobre los trackers:

- Todos los dispositivos de tracker tienen soporte para los motores de desarrollo más utilizados hoy en día, aunque no todos ellos de forma nativa, teniendo que configurar parámetros en un futuro
- El dispositivo de realidad virtual son unas gafas las cuales tienen un cierto peso y poseen cables físicos que, en algunos casos, pueden incomodar al paciente. Es necesario que el dispositivo de obtención de movimientos sea lo menos incómodo posible para el paciente. Se valorará positivamente que dicho tracker no incluya ningún tipo de cable o sensor en el paciente.
- Los dispositivos Razer Hydra, STEM y Perception Neuron no se encuentran disponibles en el mercado, por lo que no se tratan de una opción válida.

Finalmente, se ha decidido optar por una cámara de tracking de movimientos corporales debido a que la utilización de sensores o dispositivos como joysticks, podrían incomodar al usuario final que se encuentra realizando la rehabilitación. Con el uso de una cámara de tracking, los movimientos del paciente serán completamente "libres", y no tendrá que estar pendiente de ningún periférico adicional. Adicionalmente, se ha decidido utilizar la

cámara Intel RealSense como dispositivo de tracking de movimientos. Esta cámara presenta una de las mejores decisiones en cuanto a calidad/precio, ofreciendo las mismas posibilidades que los dispositivos de tracking corporal más caros. Este dispositivo también se trata de un "Developer Kit", por lo que, al igual que con el dispositivo de realidad virtual, no se trata de una versión final de venta al consumidor, y pueden encontrarse dificultades inesperadas.

Motor de desarrollo

Si tenemos en cuenta el cuadro 3, podremos apreciar que:

- Ningún motor de desarrollo es fácil de utilizar. Hay una curva de experiencia más o menos prolongada en el tiempo para cada motor de desarrollo
- La documentación y "feedback" existente en Internet es un factor crucial en la curva de aprendizaje de cada motor de desarrollo.
- Los motores de desarrollo Unreal Engine y Cry Engine están enfocados al trabajo de varias personas, no siendo adecuado para el desarrollo de una sola persona.

Por último, se ha decidido utilizar el motor de desarrollo Unity 3D debido a su facilidad de uso, a su gran comunidad de desarrolladores y documentación donde es posible aprender todo lo necesario para poder realizar el videojuego correctamente, y por su dilatada experiencia en la integración en videojuegos en realidad virtual.

Proyectos similares

Por otra parte, en cuanto a los desarrollos realizados con realidad virtual enfocados a la salud vistos anteriormente, muchos de ellos se centran o bien en el uso por parte del médico/experto de la tecnología para aumentar sus capacidades quirúrgicas o bien en el uso de la realidad virtual para tratar o evaluar algún tipo de trastorno. Sin embargo, si existen casos aislados como el de Jordan Robinson, en el cual se utiliza la realidad virtual en beneficio del fisioterapeuta, pero no de manera que el videojuego realiza la rehabilitación del paciente, ya que en este caso la realidad virtual solo se utilizaba para conseguir una abstracción de la realidad.

En el trabajo de final de grado que aquí se expone, trata de dar respuesta a una parte muy importante de la medicina, en la cual la tecnología no se ha incorporado de una manera tan fuerte como es la fase de rehabilitación de un paciente. No existe a día de hoy, al menos de forma documentada, un proyecto de similares características, en las cuales se combinan

videojuegos en realidad virtual con la rehabilitación de una zona lesionada en el cual el videojuego es parte de las fases de la rehabilitación.

Movimientos

El presente trabajo de final de grado se presenta como una prueba de concepto en el área médica, por lo que no todos los movimientos planteados en la sección 2.4 serán implementados. De los movimientos mencionados anteriormente, se pretenden implementar el movimiento de Abducción y el movimiento de Aducción. Estos dos tipos de movimientos se adecúan perfectamente a cualquier tipo de videojuego que se desee desarrollar en el presente trabajo, ofreciendo mayores posibilidades a la hora de crear un videojuego.

Además, la cámara de tracking seleccionada permite obtener con gran precisión los movimientos de Abducción y Aducción, tanto con la palma abierta como cerrada, teniendo una rotación neutra del hombro.

Para concluir, se ha pensado que el desarrollo del presente trabajo de final de grado sería beneficioso ya que se ayuda a solventar un problema diario que tiene un alto porcentaje de la población con una patología muscular, como es la rehabilitación de algún músculo recientemente dañado o lesionado. El desarrollo del presente trabajo ayudaría a los expertos a explicar las posturas y movimientos que debe realizar un paciente, mientras que el paciente lo asimila de una forma mucho más intuitiva y de una manera más amena que la realización aislada de los ejercicios. Además, el paciente podrá evaluar por sí mismo la mejoría de los movimientos, al tener el videojuego un sistema de puntuación visible en todo momento por el paciente, alentando e incrementando las ganas de realizar los ejercicios de rehabilitación por parte del paciente.

3. Análisis

En el siguiente apartado, se ofrece el análisis detallado del sistema. A continuación se podrán encontrar los propósitos u objetivos específicos, tanto del sistema a desarrollar como de los beneficios de movimiento o rotación que obtendrá el usuario final tras la utilización del videojuego. Por otro lado, se detallará el funcionamiento de cada dispositivo, así como una vista general del motor de desarrollo Unity 3D. También se podrán encontrar los diferentes casos de uso del sistema desarrollado, así como los requisitos, tanto funcionales como no funcionales, definidos para el sistema. Para finalizar, se expondrá el marco jurídico en el supuesto caso en el que el proyecto pasara a una posterior producción y venta a clínicas.

3.1 Propósito y objetivos

Los propósitos u objetivos del desarrollo de un videojuego en realidad virtual enfocado a la rehabilitación tienen dos partes claramente diferenciadas. La primera de ellas se trata de los objetivos a nivel tecnológico, mientras que por otra parte, se encuentran los objetivos puramente rehabilitadores.

3.1.1 Objetivos tecnológicos:

1. Creación de un entorno con un diseño minimalista de usabilidad sencilla.
2. Recreación virtual de un videojuego cuya finalidad consiste en parar balones disparados automáticamente o con intervención humana.
 - a. Creación en el motor de desarrollo Unity3D de un sistema de físicas lo más real posible, incluyendo colisiones con el entorno, gravedad/rotación de la pelota y diferentes tipos de rebote de la pelota en el entorno.
3. Implementación de los movimientos del usuario en el entorno de desarrollo a través de un dispositivo de tracking corporal.
 - a. Diferentes tipos de videojuego dependiendo de los movimientos a realizar por el usuario final
4. Implementación del dispositivo de realidad virtual en el entorno de desarrollo.
 - a. Integración completa con el entorno, intentando evitar posible fatiga visual del usuario final

3.1.2 Objetivos médicos

Por otro lado, existen objetivos que se desean alcanzar a nivel de rehabilitación. No es posible cuantificar la mejoría o aumento de la rotación o movilidad del paciente debido a que la mejoría depende del grado de la lesión. Los objetivos más destacados son los siguientes:

1. Evaluación de la posición y orientación corporal a la hora de realizar los movimientos
2. Aumento de la rotación del hombro afectado (dependiente del paciente y del grado de la lesión)
3. Aumento de la movilidad del hombro afectado (dependiente del paciente y del grado de la lesión)
4. Optimización del trabajo del fisioterapeuta en la versión “*No Supervisada*” del sistema al poder realizar otras actividades en el mismo momento

3.2 Funcionalidad del sistema

En la siguiente sección, se detallarán las capacidades y características de cada dispositivo utilizado, así como la funcionalidad del videojuego desarrollado y una explicación detallada de cada uno de sus elementos.

3.2.1 Dispositivos Utilizados

En el siguiente, se detalla el funcionamiento individual de cada dispositivo. Primero se detallará el dispositivo de realidad virtual Oculus Rift y se detallará cómo se consigue una inmersión de realidad virtual gracias a este dispositivo. A continuación, se detallará el funcionamiento de la cámara de tracking Intel RealSense, y por último se realizará una vista general de motor de desarrollo Unity3D y de sus funciones principales.

3.2.1.1 Oculus Rift

Como se ha definido anteriormente, el dispositivo Oculus Rift DK2 integrado en el presente trabajo de final de grado, se trata de unas gafas de realidad virtual capaz de recrear una visión en tres dimensiones. Esta capacidad de interpretar un mundo virtual en 3 dimensiones se consigue gracias a una pantalla fabricada por Samsung, donde sus características son una dimensión total de 5,7 " super AMOLED, 75 Hz, una resolución de 960 x 1080 por cada ojo y un campo de visión total de 100°. El motor del desarrollo del videojuego es el encargado de realizar lo que se determina *estereopsis* o *esteroscopia* [37], o lo que es lo mismo, separar dos imágenes y trasladarlas ligeramente para que el cerebro

del ser humano pueda reconstruir una imagen tridimensional tal y como se muestra en la ilustración 32 [38].

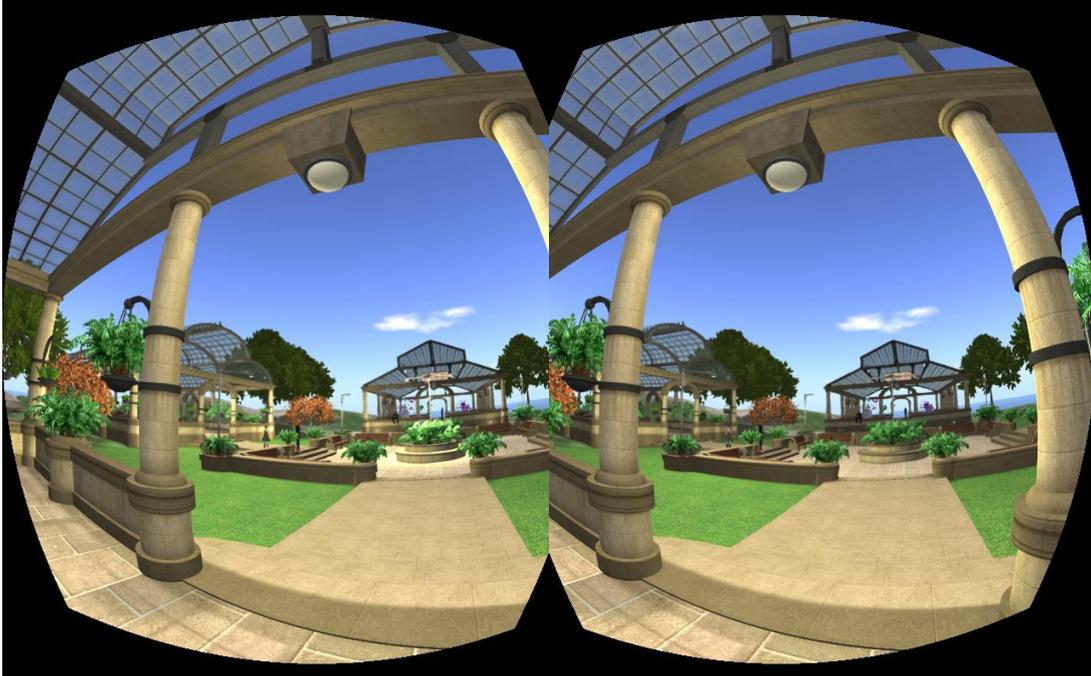


Ilustración 32: Estereopsis - Oculus Rift

La capacidad de inmersión conseguida por este dispositivo viene dado por la inclusión de 6 acelerómetros que consiguen *Seis grados de libertad* [39], lo que confiere al usuario no solo la capacidad de rotación sobre los ejes perpendiculares, sino también la capacidad de traslación sobre estos ejes. La capacidad de rotación confiere al usuario una rotación completa de 360° solo con el movimiento de la cabeza, por lo que el usuario puede observar por completo el entorno que le rodea. En la ilustración 33 [40], obtenida de la documentación oficial de Oculus Rift, se puede apreciar estos grados de libertad y cómo están dispuestos los ejes.

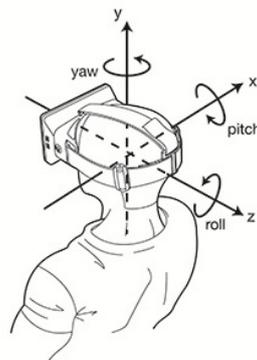


Ilustración 33: Grados de libertad Oculus Rift

Positional Tracking Camera

Una de las funcionalidades clave incorporadas en el nuevo diseño de las Oculus Rift, es la inclusión de un Tracking posicional. El dispositivo Oculus Rift DK2 tiene un tracking de rotación de 360° tal y como se ha explicado en la anterior sección, aunque si el usuario se inclina para examinar un objeto virtual con la cabeza, el entorno se acerca y traduce el movimiento de la cabeza, añadiendo otra capa de interactividad y el realismo. Esto se consigue gracias a la cámara de tracking posicional incluida en la versión DK2.

Para conseguir esta nueva capa de inmersión en el entorno virtual, la cámara de tracking posicional escanea un total de 40 sensores denominados IR LEDs colocados en el interior de las gafas, obteniendo la posición espacial de estos LEDs y calculando dicha posición en la que se encontraba el dispositivo Oculus Rift. En la imagen 34 [41] se pueden apreciar la posición interna de los IR LEDs y una imagen de lo que capta la cámara posicional, ya que estos IR LEDs no son visibles al ojo humano.



Ilustración 34: Sensores IR Oculus Rift

3.2.1.2 RealSense

La cámara de tracking Intel RealSense, se trata de una cámara capaz de obtener los movimientos de las manos o los dedos en tiempo real. También es capaz de obtener otros movimientos como son todo tipo de movimientos faciales o la obtención de comandos de voz. Entre las funcionalidades del SDK de la cámara de tracking Intel RealSense^[42], son destacables las siguientes:

- **Tracking de gestos:** Identificación de 8 poses estáticas y 6 dinámicas. Se entiende como gesto estático gestos realizables con las manos de forma fija como el signo de OK

con los dedos, y como gesto dinámico gestos en movimientos con las manos como una ola.

- **Tracking de dedos y manos:** Esta capacidad proporciona la posición en 3 dimensiones de la mano de un usuario, además de las uniones de los dedos y el centro de la palma de ambas manos.
- **Análisis facial:** Análisis facial en 3 dimensiones, con un total de 78 puntos de referencia en la cara, así como la detección de expresiones faciales como el enfado, la sorpresa o felicidad.
- **Supresión del Background:** Eliminación de fondo en tiempo real.

Todas estas funcionalidades se realizan gracias a sus diversas cámaras, capaces de obtener las posiciones de dedos, manos o la cara. Las características de cada cámara, así como su resolución o campo de visión, son las siguientes:

Color Camera	Depth (IR) Camera
Resolución	
Hasta 1080p@30FPS (FHD)	Hasta 640x480@60FPS (VGA), HVGA@120FPS. Hasta 640x480@120FPS (IR)
Pixeles	
1920x1080 (2M)	640 x 480 (VGA)
Ratio	
16:09	4:03
Campo de visión	
77° x 43° x 70° (Cono)	90° x 59° x 73° (Cono) IR Projector FOV- N/A x 56° x 72° (Pirámide)

Tabla 4: Características Intel RealSense

Una de las características a tener en cuenta de la cámara de tracking es su rango efectivo, o dicho con otras palabras, el rango con el que es capaz la cámara de obtener adecuadamente los movimientos del usuario. En la tabla 5 reflejada a continuación, se exponen los rangos obtenidos por la cámara, así como la resolución y calidad conforme a estos rangos.

Rango Efectivo	0,2m - 1,20 m
Entorno	Interior / Exterior (Dependiendo de las condiciones)
Rango efectivo para gestos	Modo HVGA: 20-55cm Modo VGA: 20-60cm
Rango efectivo para análisis facial	Tracking Facial en 2D: 35-120cm Tracking Facial en 2D: 35-70cm
Número de manos detectadas	HVGA: Una mano VGA: Ambas manos

Tabla 5: Características Intel RealSense II

3.2.2 Funcionalidad del programa

Con la ayuda de los dispositivos y el motor de desarrollo anteriormente analizados, se ha realizado un videojuego orientado a la rehabilitación física de una personas tras una lesión en el Manguito rotador del hombro derecho. Por lo tanto, el videojuego desarrollado tiene como finalidad la mejoría de la capacidad de movimientos y rotación de la zona lesionada.

El Software creado consta de las siguientes partes:

- **Interfaz** interactuable por el fisioterapeuta
- Dos tipos diferentes de **sesiones**:
 - o Supervisada: El fisioterapeuta será el encargado de dirigir la sesión de forma íntegra. El fisioterapeuta deberá corregir la posición y orientación del cuerpo del paciente.
 - o Automática: El fisioterapeuta podrá no encontrarse durante la sesión del usuario final, debido a que el programa se ejecuta de forma automática.
- El presente trabajo de final de grado, al tratarse de una prueba de concepto rehabilitatorio, se han definido e integrado **dos tipos de movimientos** para cada sesión:
 - o ABD: Movimiento de abducción
 - o ADD: Movimiento de aducción

El usuario final se encontrará en un entorno virtual creado a través del motor de desarrollo Unity3D y reproducido por el dispositivo de realidad virtual Oculus Rift. El entorno creado se trata de un estadio de futbol, y el objetivo principal del usuario final será despejar los balones que serán disparados a una posición concreta de la portería, por lo que el usuario final actuaría como un portero en el videojuego. Dependiendo del tipo de sesión escogida por el fisioterapeuta (Supervisada o automática), el sistema lanzará los

balones de manera controlada o de forma automática. En una sesión supervisada, será el Fisioterapeuta el que decida cuándo disparar el balón a través del ratón o cualquier otro dispositivo de input (teclado, puntero, etc).

Para que el sistema reconozca los movimientos del paciente, se ha utilizado la cámara de tracking Intel RealSense. Una vez obtenidos los movimientos del paciente, el motor de desarrollo será el encargado de traducirlos al mundo virtual, mostrando al usuario en tiempo real dónde se encuentra su mano y mostrándole su movimiento.

Si el paciente realiza bien los movimientos asignados en cada sesión (ABD o ADD) en el videojuego, podrá observar cómo despeja el balón y cómo su puntuación se ve aumentada. El objetivo personal de cada usuario final será por lo tanto maximizar la puntuación obtenida.

3.2.3 Beneficios del Sistema

En la siguiente sección, se describirán los beneficios que otorgará, a priori, el uso del sistema desarrollado. Por un lado, existen unos beneficios que claramente afectarán al usuario final o paciente con el uso del sistema desarrollado, sin embargo, también existen unos beneficios indirectos que obtendrán los fisioterapeutas.

Los beneficios que directos que obtendrán los pacientes son los beneficios que obtendrían con la realización de forma autónoma de los ejercicios rehabilitadores. Por un lado, los pacientes se asegurarían de realizar correctamente los ejercicios, debido a que no solo les supervisa el fisioterapeuta, sino que el sistema puntuará dependiendo de si realiza o no correctamente. Y por otro lado, los pacientes adquirirán tono y fuerza muscular de la zona afectada al desarrollar los movimientos planteados por el sistema (Abducción y Aducción) en contra de la gravedad.

Independientemente de los movimientos, la realización de este tipo de sistemas en realidad virtual supone que el paciente perciba con mayor claridad los movimientos que debe realizar. Además, podrá surgir en el paciente un mayor grado de interés y compromiso del tratamiento. Esto es debido a que el paciente podrá comprobar la eficacia del tratamiento visualizando su puntuación en el videojuego.

Desde el punto de vista de los fisioterapeutas, el poder tener una ayuda tecnológica fiable que pueda ayudar a realizar parte del tratamiento les permitiría optimizar mas su tiempo durante su jornada laboral.

3.3 Casos de uso

Para el desarrollo de un proyecto de estas dimensiones, es necesario especificar los casos de uso que tendría la aplicación que se va a desarrollar. Para ello, se utilizará una tabla como la siguiente:

IDENTIFICADOR:
Descripción:
Pre-Condiciones:
Escenario:
Post-Condiciones:

Tabla 6: Tabla modelo Casos de Uso

Cada caso de uso tiene los siguientes atributos:

- **Identificador:** Código que identifica unívocamente el caso de uso. Será de la forma CU-XX donde:
 - CU denota Caso de Uso
 - XX serán números enteros positivos
- **Descripción:** Describe la funcionalidad del caso de uso
- **Pre-Condiciones:** Describe las condiciones que deben sucederse antes del caso de uso
- **Escenario:** Describe los pasos a seguir para realizar el caso de uso
- **Post-Condiciones:** Describe la consecuencia que debe sucederse después de realizar el escenario

CU - 01
Descripción: Inicio de la aplicación de rehabilitación
Pre-Condiciones: Existencia del archivo .exe que ejecutará el programa de rehabilitación con el dispositivo de realidad aumentada y la cámara de tracking corporal ya integrados.
Escenario: <ol style="list-style-type: none"> 1. Obtención del programa a ejecutar 2. Iniciar el programa mediante doble click sobre el .exe
Post-Condiciones: El programa deberá cargar el menú inicial correctamente, el cual permitirá al fisioterapeuta

Tabla 7: Caso de Uso CU-01

CU - 02
Descripción: Transición por el menú
Pre-Condiciones: Tener el programa de rehabilitación .exe
Escenario: <ol style="list-style-type: none">1. El fisioterapeuta verá el menú de rehabilitación mediante el cual puede escoger una sesión supervisada (manual) o no supervisada. El fisioterapeuta deberá escoger una de las dos sesiones clicando en los botones “Sesión Manual” o “Sesión no supervisada”2. El programa cargará la siguiente ventana del menú, en la cual el fisioterapeuta deberá escoger entre los movimientos existentes: “Abducción” o “Adducción”
Post-Condiciones: El sistema deberá cargar las diferentes partes del menú dependiendo de las interacciones con el fisioterapeuta.

Tabla 8: Caso de Uso CU-02

CU - 03
Descripción: Carga de un nivel de rehabilitación supervisado
Pre-Condiciones: Tener abierto el programa de rehabilitación .exe
Escenario: <ol style="list-style-type: none">1. El fisioterapeuta verá el menú de rehabilitación mediante el cual deberá escoger la opción supervisada clicando en el botón “Sesión Manual”2. El fisioterapeuta deberá escoger entre los movimientos existentes: “Abducción”, “Adducción” o “Rotación interna”
Post-Condiciones: El sistema deberá cargar el nivel de una sesión supervisada con todos los dispositivos ya integrados. En este tipo de sesión, el fisioterapeuta deberá interaccionar con el programa a través de clicks de ratón, el cual hará que lance una pelota en el videojuego.

Tabla 9: Caso de Uso CU-03

CU - 04
Descripción: Carga de un nivel de rehabilitación no supervisado
Pre-Condiciones: Tener abierto el programa de rehabilitación .exe
Escenario: <ol style="list-style-type: none">1. El fisioterapeuta verá el menú de rehabilitación mediante el cual deberá escoger la opción supervisada clicando en el botón “Sesión No Supervisada”2. El fisioterapeuta deberá escoger entre los movimientos existentes: “Abducción”, “Adducción” o “Rotación interna”
Post-Condiciones: El sistema deberá cargar el nivel de una sesión no supervisada con todos los dispositivos ya integrados. En este tipo de sesión, el fisioterapeuta no deberá interaccionar con el programa, ya que las pelotas se lanzarán cada vez que el usuario final realice el movimiento completo volviendo a la posición de origen

Tabla 10: Caso de Uso CU-04

CU - 05
Descripción: Movimiento de la cámara de realidad virtual
Pre-Condiciones: La sesión (manual o no supervisada) debe estar en ejecución.
Escenario: <ol style="list-style-type: none">1. El fisioterapeuta deberá escoger la sesión a realizar por el paciente a través del menú principal.2. El movimiento de la cámara en el videojuego se realiza a través de los acelerómetros incorporados en el dispositivo de realidad virtual (Oculus Rift)
Post-Condiciones: El usuario final tendrá libertad de movimientos en la cámara, pudiendo mirar en cualquier dirección dentro del videojuego.

Tabla 11: Caso de Uso CU-05

CU - 06
Descripción: Movimientos del usuario final en el videojuego
Pre-Condiciones: La sesión (manual o no supervisada) debe estar en ejecución.
Escenario: <ol style="list-style-type: none">1. El fisioterapeuta deberá escoger la sesión a realizar por el paciente a través del menú principal.2. El movimiento del usuario final es recogido a través de la cámara de tracking (RealSense).3. El videojuego obtiene el movimiento del usuario final, implementándolo en movimientos del objeto encargado de parar los balones.
Post-Condiciones: El usuario final deberá mover el brazo derecho con la palma abierta. La dirección, orientación, posición inicial y posición final variará dependiendo del ejercicio seleccionado por el fisioterapeuta.

Tabla 12: Caso de Uso CU-06

CU - 07
Descripción: Sistema de puntuación
Pre-Condiciones: La sesión de rehabilitación (supervisada o no supervisada) debe estar iniciada
Escenario: <ol style="list-style-type: none">1. Tras iniciarse el videojuego y posicionarse correctamente el usuario final, la cámara de tracking obtendrá los movimientos del usuario final.2. La pelota se lanzará trazando una parábola, donde el usuario final deberá realizar los movimientos rehabilitadores para parar la pelota.3. Se activará un trigger el cual contabilizará si el usuario final realiza un movimiento correctamente.
Post-Condiciones: El sistema de puntuación deberá contabilizar correctamente con +10 puntos por movimiento realizado correctamente cuando el balón no entra en la portería.

Tabla 13: Caso de Uso CU-07

3.4 Requisitos del sistema

En el desarrollo de cualquier proyecto, es necesario una descripción del comportamiento del sistema, por lo que los requisitos software definen qué debe hacer el producto. Son una referencia para verificar el diseño y el producto, pues ambos deben cubrir los requisitos que se hayan marcado. Estos requisitos se obtienen de los casos de uso y los requisitos de usuario. Para la definición de los requisitos, se utilizará una tabla como la siguiente:

IDENTIFICADOR
Nombre:
Descripción:
Prioridad: <input type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Requisitos Relacionados:

Tabla 14: Tabla modelo Requisitos de Software

Cada requisito software se representa mediante los siguientes atributos:

- **Identificación:** código que identifica unívocamente cada requisito software. Será de la forma RSF-XXX, RNF-XXX donde
 - RF será un Requisito Funcional
 - RNF Será un requisito no funcional
 - XXX serán números enteros positivos.
- **Nombre:** breve explicación del requisito.
- **Prioridad:** cada requisito incluirá una medida de la prioridad para que el desarrollador pueda decidir la planificación de la producción. Los valores que pueden tomar son
 - *Esencial:* si la prioridad del cumplimiento del requisito es imprescindible para el correcto funcionamiento del sistema.
 - *Recomendable:* si se trata de un requisito que mejora el funcionamiento global del sistema.
 - *Opcional:* si su incorporación al sistema no afectaría de manera notable al sistema.
- **Verificabilidad:** cada requisito deberá contemplar la posibilidad de realizar pruebas para verificar si el requisito se ha incluido correctamente el sistema. Los valores que pueden tomar son:
 - *Alta:* Se puede comprobar de forma sencilla y sin ningún tipo de dudas de que el requisito se incluye en el sistema

- *Media*: La comprobación de que el requisito se incluye en el sistema no es de manera sencilla.
- *Baja*: Es difícil comprobar que el requisito se incluye en el sistema
- **Descripción**: descripción del requisito, debe ser una descripción clara y detallada.
- **Requisitos Relacionados**: origen del requisito software.

3.4.1 Requisitos Funcionales

RF01
Nombre: Uso de la cámara de trackeo de Oculus Rift
Descripción: Sería posible utilizar la cámara de tracking de las Oculus Rift con el fin de mejorar la experiencia virtual
Prioridad: <input type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input checked="" type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF02

Tabla 15: Requisito Funcional 01

RF02
Nombre: Generar una nueva sesión de rehabilitación
Descripción: El fichero .exe será capaz de iniciar el programa de rehabilitación correctamente
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF06

Tabla 16: Requisito Funcional 02

RF03
Nombre: Transición a través del menú principal
Descripción: El programa deberá realizar correctamente las transiciones realizadas por el fisioterapeuta a través del menú realizando la acción adecuada.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF06, RF02

Tabla 17: Requisito Funcional 03

RF04
Nombre: Generar un nuevo juego supervisado
Descripción: El servidor será capaz de comenzar una nueva partida del videojuego teniendo en cuenta que el fisioterapeuta estará presente durante la realización de la sesión.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RF03, RNF06

Tabla 18: Requisito Funcional 04

RF05
Nombre: Generar un nuevo juego no supervisado
Descripción: El servidor será capaz de comenzar una nueva partida del videojuego teniendo en cuenta que el fisioterapeuta podrá no estar presente durante la realización de la sesión.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RF03, RNF06

Tabla 19: Requisito Funcional 05

RF06
Nombre: Disparar una pelota en una sesión supervisada
Descripción: El Fisioterapeuta podrá realizar un disparo del balón en una sesión supervisada a través de un click izquierdo del ratón.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RF04, RNF06

Tabla 20: Requisito Funcional 06

RF07
Nombre: Disparar una pelota en una sesión no supervisada
Descripción: El sistema se encargará de realizar los disparos del balón en una sesión no supervisada de forma automática.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RF05, RNF06

Tabla 21: Requisito Funcional 07

RF08
Nombre: Evaluación los movimientos del paciente (Puntuación)
Descripción: El sistema será capaz de puntuar, dependiendo de cada movimiento realizado por el paciente, el resultado final de la sesión.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RF04, RF05, RF09, RNF03

Tabla 22: Requisito Funcional 08

RF09
Nombre: Integración del dispositivo Intel RealSense con el entorno de desarrollo Unity 3D
Descripción: El servidor deberá tener una conexión directa con el dispositivo RealSense. El dispositivo RealSense enviará por este canal todos los movimientos realizados por el usuario final o paciente para su posterior procesado en el servidor.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF03, RNF04, RNF06, RNF07

Tabla 23: Requisito Funcional 09

RF10
Nombre: Integración del dispositivo Oculus Rift con el entorno de desarrollo Unity 3D
Descripción: El dispositivo Oculus Rift deberá estar integrado correctamente con el entorno de desarrollo Unity 3D para una visualización correcta del videojuego por parte del usuario final.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF01, RNF02, RNF06, RNF07

Tabla 24: Requisito Funcional 10

3.4.2 Requisitos No Funcionales

RNF01
Nombre: Conexión del servidor con el dispositivo Oculus Rift
Descripción: El servidor deberá tener una conexión directa con el sistema de realidad aumentada Oculus Rift a través de un cable USB 2.0 (o superior) y una conexión HDMI. El servidor enviará por este canal videojuego que verá el usuario final a través de las Oculus Rift
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF02, RNF07

Tabla 25: Requisito No Funcional 01

RNF02
Nombre: Visualización del videojuego a través de las Oculus Rift
Descripción: El usuario final o paciente será capaz de visualizar los movimientos que debe realizar durante la sesión de rehabilitación a través del sistema de realidad aumentada Oculus Rift
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF01, RNF13

Tabla 26: Requisito No Funcional 02

RNF03
Nombre: Obtención de los movimientos del paciente a través de la cámara de tracking RealSense
Descripción: El sistema Intel RealSense será capaz de obtener todos los movimientos realizados por el paciente durante una sesión de rehabilitación. Es necesario que la cámara se encuentre en la ubicación perfecta para captar estos movimientos.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF04

Tabla 27: Requisito No Funcional 03

RNF04
Nombre: Conexión del Servidor con el dispositivo RealSense a través de un USB 3.0
Descripción: El servidor deberá tener una conexión directa USB 3.0 de alta velocidad con el dispositivo RealSense. El dispositivo RealSense enviará por este canal todos los movimientos realizados por el usuario final o paciente para su posterior procesamiento en el motor de desarrollo.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF03, RNF07

Tabla 28: Requisito No Funcional 04

RNF05
Nombre: Disponibilidad
Descripción: El sistema deberá mantenerse activo y disponible para que el usuario pueda hacer uso de él en cualquier sesión.
Prioridad: <input type="checkbox"/> ESENCIAL <input checked="" type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input type="checkbox"/> ALTA <input checked="" type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: -

Tabla 29: Requisito No Funcional 05

RNF06
Nombre: Herramienta de programación del videojuego – Unity3d v4.6 Beta Versión PRO
Descripción: La herramienta y el entorno sobre el que se desarrolla el sistema de rehabilitación será Unity3D versión v4.6 versión PRO
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input checked="" type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RFN07

Tabla 30: Requisito No Funcional 06

RNF07
Nombre: Requisitos mínimos del servidor
Descripción: El servidor deberá tener los siguientes requisitos mínimos con el fin del uso del sistema. <ul style="list-style-type: none"> - Windows 8.1 PRO - Procesador con arquitectura Ivy Bridge o Haswell - 8 GB de memoria RAM - Tarjeta gráfica compatible con Direct3D10 u OpenGL 3 - USB 3.0
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input checked="" type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: -

Tabla 31: Requisito No Funcional 08

RNF08
Nombre: Tasa de frames por segundo del videojuego mínimo
Descripción: Es necesario que el videojuego alcance una tasa mínima de 30 frames por segundo.
Prioridad: <input checked="" type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF07

Tabla 32: Requisito No Funcional 08

RNF09
Nombre: Tasa de frames por segundo del videojuego óptimo
Descripción: Sería conveniente que el videojuego alcanzase una tasa de 60 frames por segundo para una experiencia más confortable para el usuario final
Prioridad: <input type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input checked="" type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input checked="" type="checkbox"/> ALTA <input type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF07

Tabla 33: Requisito No Funcional 09

RNF10
Nombre: Rendimiento
Descripción: el rendimiento del sistema deberá ser independiente del tipo de sesión/ejercicio a realizar por el paciente
Prioridad: <input type="checkbox"/> ESENCIAL <input checked="" type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input type="checkbox"/> ALTA <input checked="" type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF07

Tabla 34: Requisito No Funcional 10

RNF11
Nombre: Iluminación adecuada en cada sesión
Descripción: Es necesario que el videojuego tenga una iluminación adecuada para cualquier tipo de paciente o usuario final independientemente de la sesión a realizar.
Prioridad: <input type="checkbox"/> ESENCIAL <input checked="" type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input type="checkbox"/> ALTA <input checked="" type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RF04, RF05

Tabla 35: Requisito No Funcional 11

RFN12
Nombre: Visualización de la puntuación por parte del usuario final
Descripción: El sistema será capaz de mostrar claramente la puntuación realizada hasta el momento por los movimientos del usuario final
Prioridad: <input type="checkbox"/> ESENCIAL <input checked="" type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input type="checkbox"/> ALTA <input checked="" type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RF08, RNF02

Tabla 36: Requisito No Funcional 12

RFN13
Nombre: Resolución nativa de la imagen mostrada a través de las Oculus Rift
Descripción: Sería conveniente que la resolución nativa de la imagen mostrada a través del dispositivo de realidad virtual Oculus Rift desde el motor de desarrollo Unity3D fuese Full HD (1980x1080, 960 × 1.080 por ojo) con el fin de mejorar la experiencia visual.
Prioridad: <input type="checkbox"/> ESENCIAL <input type="checkbox"/> RECOMENDABLE <input checked="" type="checkbox"/> OPCIONAL
Verificabilidad: <input type="checkbox"/> ALTA <input checked="" type="checkbox"/> MEDIA <input type="checkbox"/> BAJA
Requisitos Relacionados: RNF01, RNF02

Tabla 37: Requisito No Funcional 13

3.5 Marco Jurídico

En el siguiente apartado, se detallará el marco jurídico en el que se encuentra el desarrollo del presente trabajo de final de carrera. Se detallarán las leyes o reales decretos que se deben cumplir para llevar a cabo el desarrollo del proyecto.

En primer lugar, resulta preciso destacar que la competencia relativa a la reglamentación, autorización, registro u homologación de los productos y artículos sanitarios queda atribuida a la Administración General del Estado en virtud de los apartados 5 y 6 de la Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad. Por ello, para la concreción del marco jurídico nos remitiremos a la normativa de carácter nacional. En cuanto a la calificación del proyecto desarrollado en el presente trabajo como “*producto sanitario*”, esta se deriva de las estipulaciones contenidas en el Real Decreto 1591/2009 de 16 de octubre^[43], por el que se regulan los productos sanitarios (de aquí en adelante, RD 1591/2009) y mediante el cual se traspone la Directiva 93/42/CEE del Consejo relativa a los productos sanitarios.

El artículo 2 RD 1591/2009 determina que por producto sanitario se entenderá cualquier instrumento, dispositivo, equipo, programa informático, material u otro artículo destinado por el fabricante a ser utilizado en seres humanos con fines tales como el diagnóstico, prevención, control, tratamiento o alivio de una enfermedad, lesión o deficiencia, entre otros. No obstante, debemos tener en cuenta que para la consecución de la finalidad prevista resulta necesario que la utilización del software venga acompañada del uso de ciertos elementos de hardware que por sí mismos no tienen la consideración de producto sanitario. Dichos elementos pueden ser considerados, según el mismo precepto antes mencionado, como “*accesorios*” y, de acuerdo al artículo 3 RD 1591/2009, reciben un tratamiento idéntico al de los productos sanitarios.

A pesar de lo mencionado hasta este punto, no se puede obviar que le corresponde a la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS, en adelante), agencia adscrita al Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, la decisión acerca de la aplicación a un producto de las definiciones contenidas en el artículo 2 RD 1591/2009.

En relación con las garantías, el artículo 4 RD 1591/2009 estipula que en el momento de su puesta en servicio en España, este tipo de productos deben incluir una serie de datos e informaciones especificados en el Anexo I del mismo, entre los que destacan la información necesaria para su utilización con plena seguridad y la identificación del fabricante. Como “fabricante” debemos considerar a la persona, tanto física como jurídica, responsable del diseño, fabricación, acondicionamiento y etiquetado del producto en cuestión con vistas a su puesta en el mercado en su propio nombre, tanto si las señaladas operaciones son efectuadas por esta misma persona o por un tercero por cuenta de aquella (artículo 2 RD 1591/2009). Nuestra calificación como fabricantes dependerá, por tanto, de si procedemos a la realización de las mencionadas actividades en nombre propio.

Junto con las garantías que deben cumplir los productos sanitarios, el RD 1591/2009 regula también los requisitos que estos deben cumplir y que se contienen en el Anexo I del mismo. Entre los requisitos exigidos podemos destacar que el diseño y fabricación de estos productos no debe comprometer el estado clínico o la seguridad de los pacientes para lo cual resulta necesario eliminar o reducir los riesgos de seguridad en la medida de lo posible y que deberán ofrecer las prestaciones atribuidas por el fabricante con el fin de desempeñar las funciones especificadas sin que sus características se vean alteradas durante el almacenamiento o transporte. De manera más específica se determina que los productos que incorporen o sean programas informáticos médicos deben ser validados

con arreglo al estado actual de la técnica, teniendo en cuenta los principios de desarrollo del ciclo de vida, gestión de los riesgos y validación y verificación.

En el caso de que se procediese a la fabricación del software, el artículo 9 RD 1591/2009 recuerda la necesidad, ya recogida en el artículo 100 de la Ley 14/1986 General de Sanidad, de que las personas físicas y jurídicas que la lleven a cabo cuenten con una licencia previa de funcionamiento otorgada por la AEMPS, licencia que será única y amparará tanto las instalaciones como las actividades desarrolladas en las mismas. Para la obtención de dicha autorización se procederá a remitir la solicitud pertinente a la AEMPS para que estudie la documentación presentada y proceda, en el plazo de tres meses desde la solicitud, a notificar la resolución.

El artículo 10 RD 1591/2009 especifica la documentación de la que debe acompañarse la solicitud de licencia previa de funcionamiento. Dicha documentación deberá acreditar la disponibilidad de: una estructura organizativa que garantice la calidad de los productos así como la ejecución de los procedimientos y controles necesarios; de instalaciones, procedimientos, equipamiento y personal adecuados según la actividad que se desarrolle; de un responsable técnico, necesariamente titulado universitario para acreditar la cualificación precisa en función del producto de que se trate; de un sistema de archivo documental para almacenar la documentación de cada producto fabricado así como el mantenimiento de un registro de todos los productos; de una persona de contacto para las actuaciones relacionadas con el sistema de vigilancia y de un procedimiento de aplicación de las medidas de seguimiento de la utilización de los productos.

El artículo 12 RD 1591/2009 señala que, una vez que el producto esté listo para ser utilizado, resulta preceptivo para la puesta en el mercado a disposición del usuario final, deberá ostentar el marcado CE para lo cual será necesario que cumplan los requisitos esenciales y que se hayan seguido los procedimientos de evaluación de conformidad. Estos procedimientos se regulan en el artículo 13 RD 1591/2009 y serán diferentes en función de la clasificación del producto sanitario. Se establecen cuatro clases de riesgo: I, IIa, IIb y III, correspondiéndose los productos de la clase I con el menor riesgo y los de clase III con el máximo riesgo. Dicha clasificación se efectúa por parte de la AEMPS atendiendo a los criterios establecidos en el Anexo IX RD 1591/2009. Partiendo del mismo, y dado que el producto sanitario desarrollado es no invasivo (no penetra parcial o completamente en el interior del cuerpo) y no le son aplicables las reglas contenidas en el apartado tercero del Anexo IX, el software se incluye en la Clase I. Además, debido a que no se trata de un producto de Clase I estéril ni con función de medición, los fabricantes deberán efectuar



únicamente, de manera previa a la puesta en mercado, la declaración CE de conformidad que garantice que los productos cumplen las disposiciones contenidas en el RD 1591/2009 mediante el procedimiento detallado en el Anexo VII.

El procedimiento regulado en el Anexo VII comienza con la preparación, por parte del fabricante, de la documentación técnica que deberá ponerse a disposición de las autoridades nacionales con fines de inspección, durante al menos cinco años a partir de la fecha de fabricación del último producto. La documentación técnica deberá incluir una descripción general del producto, dibujos de diseño, métodos de fabricación previstos, esquemas de los componentes, circuitos, etc., resultados del análisis de riesgos, evaluación preclínica y clínica y las etiquetas e instrucciones de utilización. Asimismo, el fabricante deberá establecer y mantener al día un procedimiento sistemático para revisar la experiencia adquirida con los productos en la fase posterior a la producción y emplear medios adecuados para aplicar las medidas correctivas precisas.

4. Diseño

En la siguiente sección, se detallará el diseño lógico y físico que tendrá el videojuego. Se detallará por lo tanto a través de diagramas las funcionalidades de cada componente. Se podrá observar también las características detalladas de los componentes con los que se han realizado el desarrollo. Por último, se podrá ver la interfaz de usuario propuesta tanto para el fisioterapeuta que dirigirá la sesión como para el usuario final.

4.1 Diseño Físico

En la siguiente sección, se detallará el diseño físico del sistema, en el que se especifican las características de los dispositivos necesarios para una correcta ejecución del sistema. Los elementos requeridos para labores de desarrollo, pruebas y ejecución del usuario final, serán los siguientes:

- Ordenador de desarrollo: Ordenador de sobremesa de última gama. Por requerimientos de los dispositivos a utilizar, es necesario que sea un ordenador de gama alta con procesador Intel mínimo de 2013 (Ivy Bridge). Además, el desarrollo de un videojuego en 3 dimensiones requiere una alta capacidad de memoria RAM.
- Ordenador de pruebas: Ordenador de sobremesa de gama alta. Por requerimientos de los dispositivos a utilizar, es necesario que sea un ordenador de gama alta con procesador Intel mínimo de 2013 (Ivy Bridge).
- Kit de desarrollo Intel RealSense.
- Kit de desarrollo Oculus Rift (segunda versión, DK2). El kit de desarrollo incluye todos los componentes necesarios (cableado, gafas, cámara de tracking posicional, etc).
- Monitor. Monitor mediante el cual el fisioterapeuta podrá ver el menú.
- Ratón. Dispositivo de input mediante el cual el fisioterapeuta escogerá la sesión a iniciar mediante el menú y lanzará las pelotas en el caso de una sesión supervisada.

A continuación, se especifican los detalles de cada elemento:

Ordenador de desarrollo	
Tipo	Sobremesa
Procesador	Intel Core i7-3770 @3.40GHz
Memoria RAM	16 GB
Disco Duro	150 SSD
Tarjeta Gráfica	nVidia GeForce GT610
Sistema Operativo	Windows 8.1 PRO

Tabla 38: Componentes ordenador de desarrollo

Ordenador de pruebas	
Tipo	Sobremesa
Procesador	Intel Core i5-3330 @3.20GHz
Memoria RAM	8 GB
Disco Duro	1 TB SATA
Tarjeta Gráfica	AMD Raedon R7 200 Series
Sistema Operativo	Windows 8.1 PRO

Tabla 39: Componentes ordenador de pruebas

Monitor	
Tipo	Monitor
Aspecto - Ratio	16:9
Resolución	1280x720

Tabla 40: Detalles Monitor

En la ilustración 35, se muestra un diagrama con las posibles interacciones entre los dispositivos, así como los diferentes usuarios existentes en el uso del programa a desarrollar:

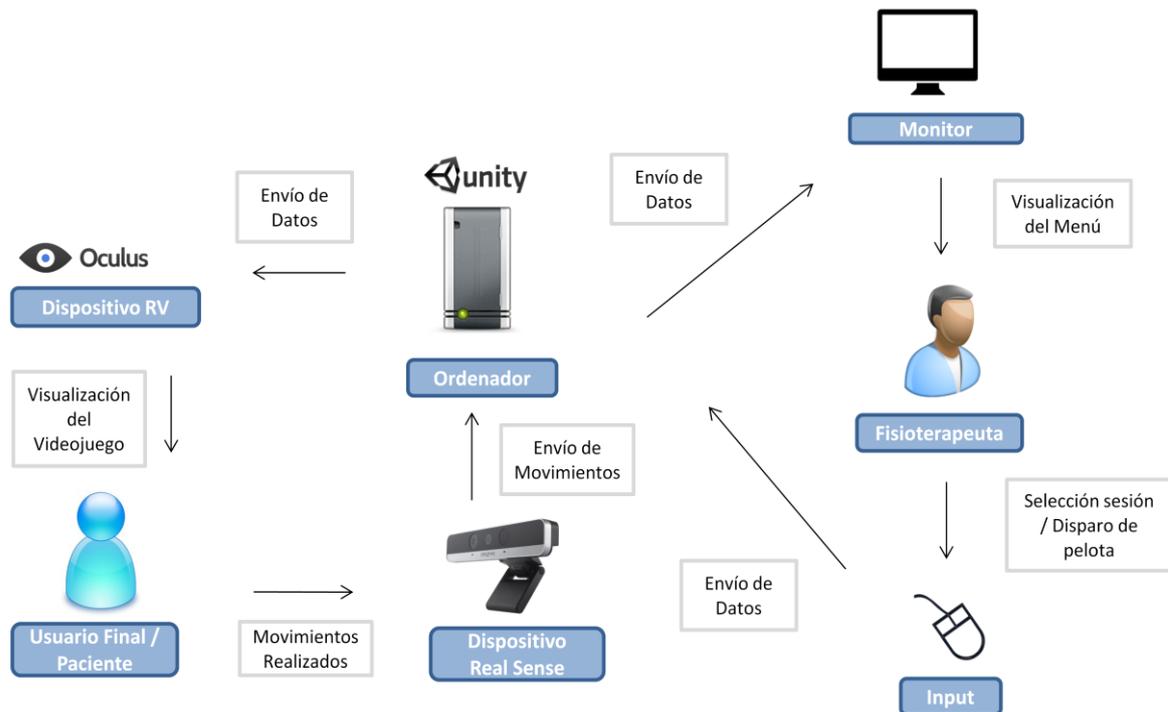


Ilustración 35: Diagrama arquitectura de conectividad

En el diagrama anterior, se pueden observar dos tipos diferentes de actores:

- El fisioterapeuta: será el encargado de escoger la sesión a realizar en el menú en 2 dimensiones, el cual se muestra a través del monitor, a través del dispositivo de input asociado al ordenador. El caso más común de input es el ratón, sin embargo, Unity 3D acepta dispositivos de input tales como punteros, joysticks, etc. Adicionalmente, si la sesión se trata de una sesión supervisada, el dispositivo de input será también el encargado de realizar los lanzamientos del balón.
- El usuario final: Será el que realice la actividad de rehabilitación. Deberá tener puestas las gafas de realidad virtual y hacer los movimientos oportunos de cada sesión de forma que la cámara de *tracking* corporal, el dispositivo Intel RealSense, pueda capturar los movimientos del usuario

Por otro lado, la conexión de los distintos tipos de dispositivos, tanto las gafas de Realidad virtual, como la cámara de Tracking Intel RealSense o los dispositivos de Input o el monitor, tienen conexiones físicas por cable, permitiendo así el traspaso de información entre ellos.

Cabe destacar la obtención de los movimientos del usuario, que se realiza con la cámara de *tracking* Intel RealSense. La obtención de los movimientos se realiza de manera totalmente libre, sin que el usuario final deba tener el dispositivo conectado físicamente, permitiendo movimientos libres.

4.2 Diseño Lógico

En el siguiente apartado, se detallará el diseño lógico propuesto para este proyecto. Teniendo en cuenta los casos de uso y los requisitos detallados en las secciones 3.3 y 3.4 respectivamente del presente documento, se detallarán la siguiente información:

- **Diagrama de clases:** Un diagrama de clases define las clases y los atributos que componen la aplicación, así como las relaciones existentes entre las diferentes clases.
- **Matriz de trazabilidad:** La matriz de trazabilidad define la relación que existen entre los distintos casos de uso definidos en la sección 3.3 y los requisitos funcionales definidos en la sección 3.4.1.

4.2.1 Diagrama de clases

Como se ha definido anteriormente, un diagrama de clases sirve para, primeramente, definir las clases que existen en el sistema, donde cada clase podrá tener o no, diferentes atributos y operaciones o métodos. Adicionalmente, un diagrama de clases definirá las relaciones entre los distintos tipos de clases, así como la cardinalidad de las relaciones.

Dado a que el diagrama resultando del sistema es demasiado grande, se ha dividido en varios diagramas más pequeños correspondientes a las ilustraciones 58, 59, 60, 61 y 62, y adjuntados en la sección 10 del presente documento. en ellos podemos diferenciar 5 tipos de diagramas diferentes donde:

- **Diagrama Menú principal:** El diagrama de clases correspondiente al menú principal se trata de la ilustración 58. En el diagrama podemos observar como la clase principal se trata de una escena en Unity, *Main-LF*. De esta clase, depende la clase *Canvas*, el cual posee los atributos de texto, la imagen de fondo y el script que hace funcionar el menú. De la clase *Canvas*, existes dos relaciones de composición, los dos botones del menú, debido a que la eliminación de la clase *Canvas* supone la eliminación de los dos botones. Estos dos botones tienen una relación de dependencia hacia otras dos clases que se tratan de dos nuevas escenas de Unity. Es una relación de dependencia debido a que la las clases *Main-S* y *Main-NS* están condicionados a la instanciación de los botones mediante la operación *LoadOnClick()*. Dependiendo del valor de la operación (siendo los posibles resultados 1 o 2), se instanciarán las clases *Main-S* o *Main-NS*.
- **Diagrama Menú Sesión Supervisada:** El diagrama de clases del menú de una sesión supervisada corresponde a la ilustración 59. En este diagrama se puede observar una clase principal *Main-S*, que deriva de la instanciación de la clase

Main-LF a través de la operación *LoadOnClick()* con valor 1 detallada anteriormente. En el diagrama se puede observar también la relación de dependencia de la clase *Canvas*, debido a que es necesario una instanciación de la clase *Main-S*. La clase *Canvas* tiene una relación de composición de otras tres clases, *ButtonABD*, *ButtonADD* y *ImageLoading*. En estas clases se encuentran los botones seleccionables del tipo de movimiento a realizar en la sesión con relaciones de dependencias a las clases *MovABD-S* y *MovADD-S* a través de la operación *LoadOnClickImage()* con valores 3 y 4 respectivamente. La principal diferencia de esta clase con la clase *Main-LF* es la inclusión de una nueva clase *LoadingImage*. Los atributos y elementos de esta clase no se encuentran visibles tras la instanciación de la clase principal, y sólo se hará visible cuando la operación *LoadOnClickImage()* asociados a las clases *ButtonABD* y *ButtonADD* sean instanciadas, mostrando sus atributos principales, una imagen y un slidebar de cargado.

- **Diagrama Menú Sesión No Supervisada:** El diagrama de clases del menú de una sesión no supervisada corresponde a la ilustración 60. En este diagrama se puede observar la principal *Main-NS*, que deriva de la instanciación de la clase *Main-LF* a través de la operación *LoadOnClick()* con valor 2 detallada en el diagrama del Menú principal. Las relaciones y dependencias son iguales que el diagrama de clases del Menú de Sesión Supervisada, sin embargo, el valor asociado a las operaciones en las clases *ButtonABD* y *ButtonADD* a través de la operación *LoadOnClickImage()* son 5 y 6 respectivamente.
- **Diagrama Sesión ABD / ADD Supervisada:** El diagrama de clases de una sesión de movimiento ABD/ADD supervisada corresponde a la ilustración 61. En este diagrama se puede observar una clase principal *MovABD-S* o *MovADD-S*, que deriva de la instanciación de la clase *Main-S* a través de la operación *LoadOnClickImage()* con valor 3 o 4 detallada anteriormente. Se ha tomado la decisión de juntar dos diagramas debido a que las diferencias entre los dos tipos de sesiones es el punto de origen de la mano que parará los balones lanzados. Por otro lado, se pueden ver que todas las relaciones que surgen hacia la clase principal son relaciones de composición, debido a que si desaparece la clase *MovABD-S* o *MovADD-S*, deben desaparecer todas las clases con su atributos (no existiría una escena en Unity3D). El diagrama representa todos los elementos existentes en una escena la escena en Unity3D y la cardinalidad representada en las relaciones indica el número de elementos que existen en esta escena.

- Diagrama Sesión ABD / ADD No Supervisada:** El diagrama de clases de una sesión de movimiento ABD/ADD no supervisada corresponde a la ilustración 62. En este diagrama se puede observar una clase principal *MovABD-NS* o *MovADD-NS*, que deriva de la instanciación de la clase *Main-NS* a través de la operación *LoadOnClickImage()* con valor 5 o 6 detallada anteriormente. Las relaciones existentes entre el resto de las clases y la clase principal se tratan de relaciones de composición, debido a que la eliminación de la clase, hace que los demás elementos desaparezcan con ella. La cardinalidad de las relaciones indica el número de elementos que existirán en la escena. Por otro lado, la principal diferencia entre este diagrama y el diagrama correspondiente al de una sesión ABD / ADD supervisada es la inclusión de la clase *PosInicialMano* que marca la posición inicial de la mano. La inclusión de esta clase se da por el hecho de que el Script *Shooter* asociado a la pelota, necesita conocer la posición inicial de la mano para lanzar en el momento adecuado el balón tras la realización correcta del movimiento asociado al balón.

4.2.2 Matriz de trazabilidad

A continuación, se detalla la tabla 41, la cual define la relación entre los distintos casos de uso definidos en la sección 3.3 y los requisitos funcionales definidos en la sección 3.4.1 del presente documento. Cabe destacar que un requisito funcional puede cubrir más de un caso de uso, y que cada caso de uso puede tener asociado más de un requisito funcional.

		Casos de Uso						
		CU-01	CU-02	CU-03	CU-04	CU-05	CU-06	CU-07
Requisitos Funcionales	RF01					X	X	
	RF02	X		X	X			
	RF03		X	X	X			
	RF04			X				
	RF05				X			
	RF06			X				X
	RF07				X			X
	RF08							X
	RF12						X	
	RF13					X		

Tabla 41: Matriz de trazabilidad Casos de Uso - Requisitos Funcionales

4.3 Interfaz de Usuario

En la interfaz de usuario hay que identificar los dos potenciales usuarios que utilizaran la plataforma. Primeramente, la sesión será dirigida por parte de un fisioterapeuta, el cual será el encargado realizar todo el proceso de rehabilitación del paciente. Por otro lado, nos encontramos con el usuario final del videojuego el cual será el encargado de realizar los movimientos oportunos.

4.3.1 Interfaz del fisioterapeuta

La interfaz que manejará el fisioterapeuta será una interfaz proyectada en el monitor del servidor que se encontrará ejecutando el videojuego. A través de esta interfaz, el fisioterapeuta podrá escoger el tipo de movimiento a realizar por parte del usuario final. Esta interfaz estará completamente en 2 dimensiones, y no se encontrará adaptado al dispositivo Oculus Rift, ya que el fisioterapeuta no se encontrará con el dispositivo puesto en ningún momento de la sesión.

4.3.1.1 Menú principal

Inicialmente, el fisioterapeuta verá la siguiente imagen principal en el menú tras ejecutar el juego:



Ilustración 36: Interfaz - Menú principal

En la pantalla principal del menú, existe por lo tanto:

1. **Mensaje de bienvenida al fisioterapeuta.** No incluye ninguna funcionalidad adicional

2. **Botón "Sesión Supervisada"**: El fisioterapeuta podrá acceder al submenú de Sesión supervisada donde podrá escoger dos tipos de movimientos que podrá realizar el usuario final. El fisioterapeuta deberá estar presente en toda la sesión. (ver subsección *Menú Sesión Supervisada*)
3. **Botón "Sesión automática"**: El fisioterapeuta podrá acceder al submenú de Sesión supervisada donde podrá escoger dos tipos de movimientos que podrá realizar el usuario final. El fisioterapeuta podrá no estar presente durante la sesión.

4.3.1.2 Menú Sesión Supervisada

Si el fisioterapeuta ha escogido la opción de realizar una sesión supervisada, le aparecerá el siguiente menú:



Ilustración 37: Interfaz - Sesión supervisada

Donde se puede distinguir:

1. **Título de la sesión.** Sesión supervisada
2. **Botón de sesión "Abducción (ABD)"**: El fisioterapeuta podrá acceder a una sesión supervisada donde el usuario final deba realiza un movimiento de abducción. El fisioterapeuta será el encargado de realizar el lanzamiento de los balones a través de clicks derechos de ratón. Cada click derecho es un balón lanzado.
3. **Botón de sesión "Aducción (ADD)"**: El fisioterapeuta podrá acceder a una sesión supervisada donde el usuario final deba realiza un movimiento de aducción. El fisioterapeuta será el encargado de disparar los balones a través de clicks derechos de ratón. Cada click derecho es un balón disparado.

4.3.1.3 Menú Sesión No Supervisada

Si el fisioterapeuta ha escogido la opción de realizar una sesión no supervisada, le aparecerá el siguiente menú:



Ilustración 38: Interfaz - Sesión no supervisada

Donde se puede distinguir:

1. **Título de la sesión:** Sesión no supervisada
2. **Botón sesión "Abducción ABD":** El fisioterapeuta podrá acceder a una sesión no supervisada donde el usuario final deba realiza un movimiento de abducción. En este tipo de sesión, los balones se disparan de manera automática, por lo que el fisioterapeuta no deberá encargarse de nada.
3. **Botón sesión "Aducción ADD":** El fisioterapeuta podrá acceder a una sesión no supervisada donde el usuario final deba realiza un movimiento de aducción. En este tipo de sesión, los balones se disparan de manera automática, por lo que el fisioterapeuta no deberá encargarse de nada.

4.3.2 Interfaz del usuario final

La interfaz del usuario final será distinta que la interfaz del fisioterapeuta. El usuario final no verá desde el dispositivo Oculus Rift el menú seleccionable del fisioterapeuta, sin embargo será capaz de ver el videojuego en realidad virtual.

En el videojuego en realidad virtual se destacan varios elementos que podrá observar fácilmente el paciente.

1. **El marcador de puntuación:** Reflejará la puntuación conseguida por el paciente. se encuentra en una posición "fija" en la vista de la realidad virtual. de una manera centrada superiormente y alineada centralmente.
2. **Pelota de fútbol:** El paciente verá en todo momento la posición de origen del lanzamiento. La pelota trazará distintas parábolas dependiendo del movimiento que se esté realizando, sin embargo, el paciente podrá ver el punto de origen del balón. Esto es importante debido a que el paciente no dispersará su concentración buscando desde dónde vendrá el balón que debe rechazar y se centrará en realizar correctamente el movimiento.
3. **La mano:** Es el elemento con el que el paciente rechazará los balones lanzados. Este elemento se moverá en tiempo real dependiendo del movimiento que realice el paciente.

En la ilustración 39, se pueden distinguir los anteriores elementos definidos.

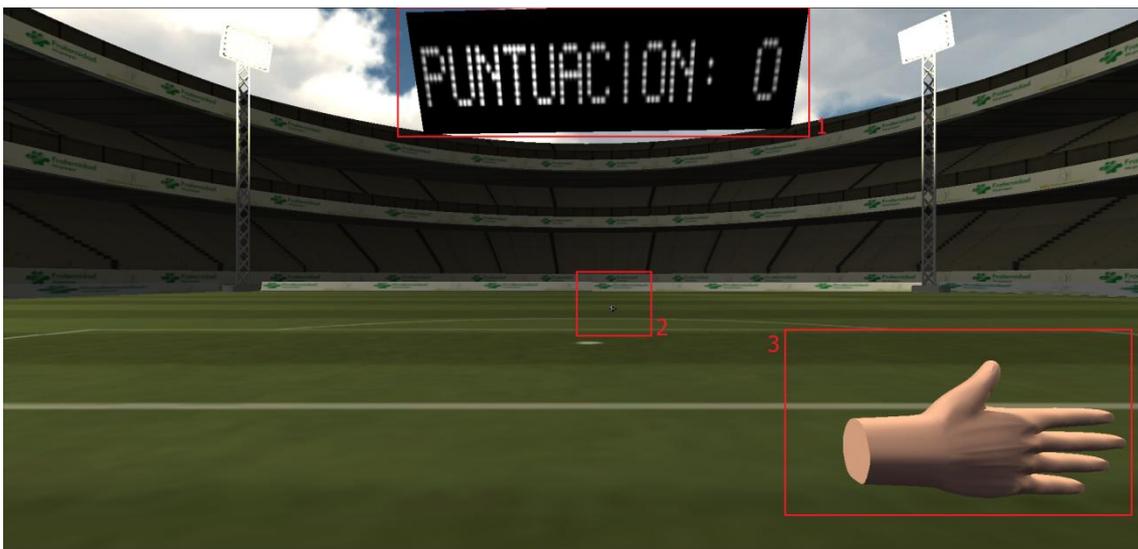


Ilustración 39: Interfaz del usuario final

5. Implementación

La implementación del videojuego se puede dividir en 3 grandes partes, la implementación del entorno, la integración de la realidad virtual y por último la integración de los movimientos del usuario a través del RealSense. A lo largo de las siguientes secciones, se describirá la integración de todos los puntos claves del videojuego detallando las decisiones de diseño tomadas a lo largo del desarrollo.

Cabe destacar que todos los scripts realizados dentro del entorno Unity3D se han realizado en el lenguaje C# con llamadas a la API propia de Unity 3D [44].

5.1 Diseño del entorno

El entorno se trata de un campo de fútbol, por lo que el desarrollo en Unity 3D del entorno se basa en crear un estadio de fútbol lo más parecido posible a la realidad. Cualquier estadio de fútbol cuenta con el terreno de juego, un par de porterías, vallas publicitarias y gradas donde se encuentran los asientos de los aficionados.

5.1.1 Terreno de Juego

Para el diseño del terreno de juego, se ha realizado un plano con las dimensiones teóricas al terreno de juego y se ha incluido una imagen al propio plano donde se pueden ver las líneas delimitadoras del terreno.



Ilustración 40: Diseño del entorno - Terreno de juego

5.1.2 Porterías

Más tarde, se han realizado dos porterías a las cuales se les han incluido varios “*Colliders*”. Los “*Colliders*”, en el motor de desarrollo Unity 3D, son formas primitivas (Cubos, cilindros, planos, etc) que son utilizados con propósitos de colisiones físicas. Los “*Colliders*” son por lo tanto los encargados de las físicas en este motor de desarrollo. Se han agregado “*Colliders*” en los palos y en la red la portería con el fin de aportar a estos objetos de físicas propias al colisionar con el balón. En el caso de que el balón colisione contra el palo de la portería o el portero no consiga pararse el disparo, la pelota saldrá rebotada o se quedará dentro de la portería dependiendo del “*Collider*” contra el que colisione. Además, se ha añadido dos “*Colliders*” adicionales a la forma básica de la portería. Uno de ellos tendrá asociado un “*Physic Material*” distinto a los demás. Los “*Physic Material*” son usados para ajustar la fricción y el bote de un objeto. En este caso, se ha dispuesto el “*Collider*” con un rebote muy bajo para que, en el caso de que el usuario final no pueda para el balón disparado con sus movimientos, la pelota no rebote en la red y se quede dentro de la portería.

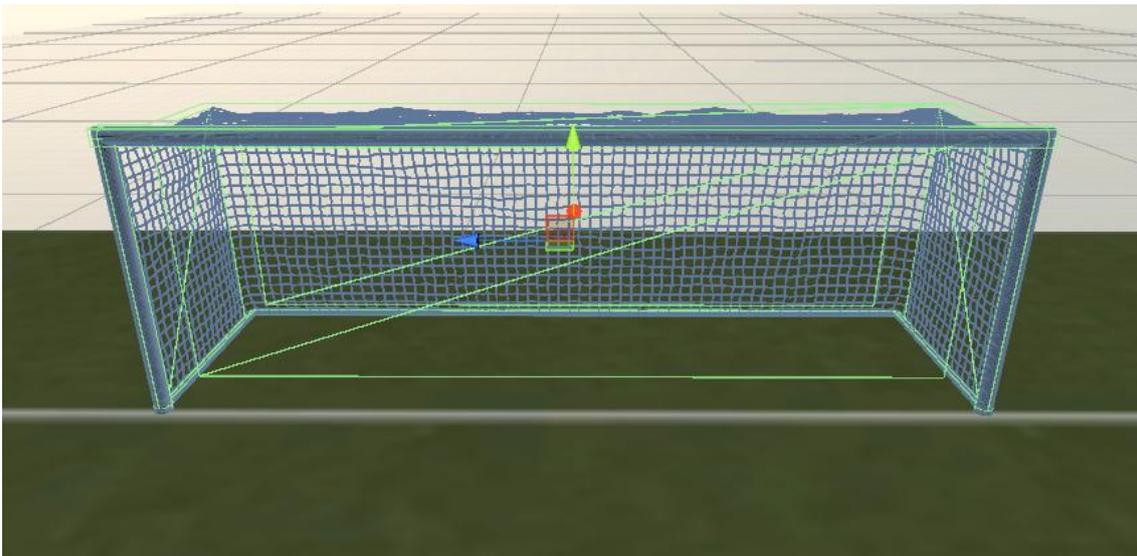


Ilustración 41: Diseño del entorno - Portería

5.1.3 Pelota

Por otro lado se han incluido en el entorno la pelota, que se trata de una forma primitiva como es una esfera con su propio “*Collider*”. Además, se ha incluido un script (*Tiny.cs*) al balón que hace que desaparezca del entorno pasados 8 segundos desde su lanzamiento. Con este script, conseguimos que no se acumulen balones en el entorno, mejorando finalmente el rendimiento global del videojuego. Adicionalmente, el balón tendrá un

“*Physic Material*” propio. Este material será el encargado de hacer que la pelota tenga la capacidad de botar, haciendo más realista el movimiento de la pelota.



Ilustración 42: Diseño del entorno - Pelota de fútbol

5.1.4 Vallas publicitarias

Se han incluido también en el entorno vallas publicitarias. Se han diseñado a partir de dos cubos ligeramente rotados. La función de estas vallas publicitarias es que las pelotas disparadas que no se encuentren dentro de la red, se queden dentro del terreno de juego. Por lo tanto, estas vallas publicitarias tienen asociadas cada una de ellas un “*Collider*” y esto aporta un grado mayor de realidad, al no desaparecer repentinamente las pelotas tras pasando objetos físicos. Adicionalmente se han incluido diferentes imágenes para dar la sensación de vallas publicitarias reales.



Ilustración 43: Diseño del entorno - Vallas publicitarias

5.1.5 Iluminación del entorno

La iluminación del entorno viene dado por los focos incluidos en cada esquina del terreno de juego. Estos focos tendrán distintos tipos de luces asociadas a él con el fin de crear una mayor realidad. Cada foco dispone de dos tipos de luces distintas:

- *Spot Light*: Son los tipos luces encargadas de dar luz al terreno de juego. Se tratan de luces que alumbran en todo lugar dentro de un cono definido. Solamente los objetos dentro esta región son afectadas por la luz. En el videojuego, se han definido varias *Spot Light* por foco con el fin de alumbrar el máximo terreno de juego posible y conseguir una iluminación uniforme
- *Point Light*: Son el tipo de luces encargadas de representar las bombillas de cada foco. Se trata de una luz que alumbró igual en todas las direcciones desde su ubicación.

El resultado final de las luces en un foco es la siguiente:

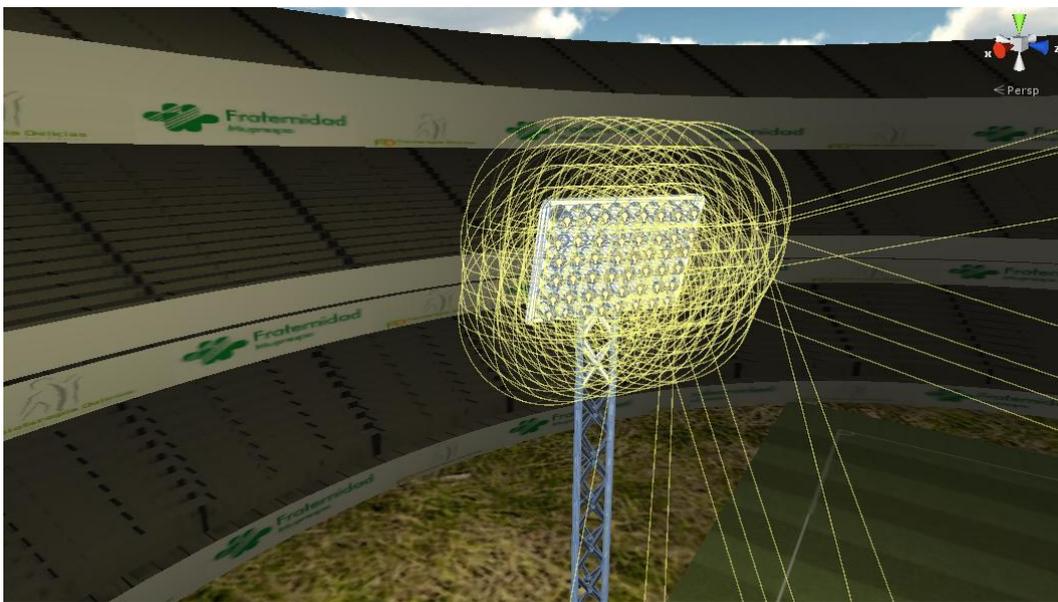


Ilustración 44: Diseño del entorno - Iluminación del entorno

5.1.6 Estadio y objetos adicionales

Por último, se han incluido diferentes objetos con el fin de dar un mayor realismo al videojuego. Un estadio obtenido a través de las principales páginas de Assets de Unity 3D, un cielo predefinido en el entorno Unity3D (definido como “*Skybox*”) y un par de elementos de partículas emulando el paso de las nubes por el cielo. El resultado final del entorno son las ilustraciones 45 y 46 que se encuentran a continuación.



Ilustración 45: Imagen entorno videojuego - 1



Ilustración 46: Imagen entorno videojuego - 2

5.2 Integración de la realidad Virtual

Al tratarse de un videojuego realizado en 3 dimensiones, la integración desde un punto de vista meramente gráfico, se trata de una conversión sencilla. El SDK de las Oculus Rift integra dos cámaras en el motor de desarrollo Unity3D que serán procesadas por el motor como cada uno de los ojos del usuario final. Las dos cámaras integradas en el entorno de

desarrollo Unity 3D, poseen una ligera traslación consiguiendo así dos imágenes ligeramente trasladadas para conseguir la *estereopsis* anteriormente comentada. En el presente desarrollo del videojuego, las dos cámaras se encuentran debajo de la portería, debido a que el usuario final simularía la posición de portero. En Unity3D, obtendríamos por lo tanto la visión del campo de fútbol mostrada en la imagen 47.



Ilustración 47: Visión del usuario final

Por otro lado, existen diferentes elementos que no pueden percibirse en 3 dimensiones debido a que no se encuentran dentro de la visión de ninguna de las dos cámaras. Uno de estos elementos se trata de los textos adicionales que se incluyen en cualquier videojuego y que en este caso, se trata de la puntuación conseguida por el usuario final. El motor de desarrollo Unity 3D genera textos en 2 dimensiones en una dimensión que se denomina “Canvas”.

Para una correcta visualización del texto a través del dispositivo de realidad aumentada, es necesario hacer una conversión de este texto 2D en algún objeto en 3 dimensiones. Para ello, se ha utilizado el “Canvas” asignado por Unity 3D y se ha creado un objeto denominado “Quad”.

Un “Quad” en el motor de desarrollo Unity 3D, es una figura primitiva parecida a un plano donde sus bordes son de dimensión unitaria. En la ilustración 48 se puede observar gráficamente su significado.

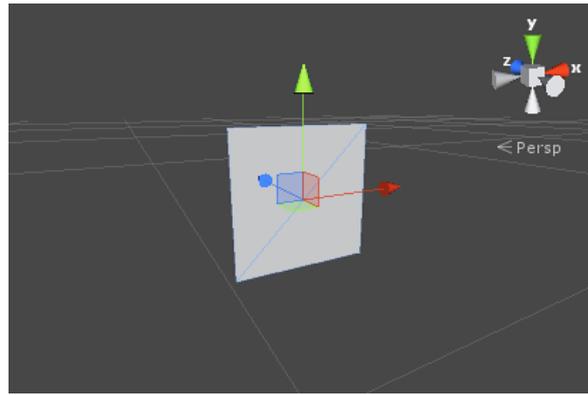


Ilustración 48: Figura primitiva Unity3D: Quad

Por último, se realiza la proyección del texto generado en el “Quad” y se realiza un script para que la posición y la orientación de dicho Quad, se encuentre siempre por delante de la visión del usuario final. Adicionalmente, se ha añadido una fuente que simula la fuente que se utiliza en los marcadores digitales de cualquier estadio deportivo. Este texto lleva adicionalmente asociado un script *tablonPuntuacion.c* que será el encargado de añadir 10 puntos cada vez que el usuario final sea capaz de parar un balón. La visión que tendría el usuario final de la puntuación conseguida hasta ese instante será la mostrada en la ilustración 49:



Ilustración 49: Marcador de puntuación

5.3 Integración de la cámara de *tracking*

La integración de los movimientos del usuario final se realizará con la cámara de tracking Intel RealSense y el SDK para Unity3D proporcionado por Intel. Como se ha explicado anteriormente, esta cámara será la encargada de obtener los movimientos del paciente e introducirlos en el motor de desarrollo Unity.

El SDK de Intel RealSense, proporciona una integración con el motor de desarrollo Unity 3D dando las herramientas necesarias al desarrollador para poder obtener los movimientos de, en este caso el usuario final, en un motor de desarrollo de videojuegos

como Unity 3D. Este SDK propone movimientos como rotación de un objeto, traslación, activación y desactivación, *tracking* de manos o acciones de *tracking* facial.

Por otro lado, el SDK de Intel RealSense proporciona la obtención completa de la mano de una persona, diferenciando el esqueleto completo de la palma de una mano. Obtiene un total de 22 puntos de referencia remarcando por un lado las falanges de los dedos, las articulaciones interfalángicas o el centro de la palma y la muñeca de ambas manos tal y como muestra la ilustración 50^[45].

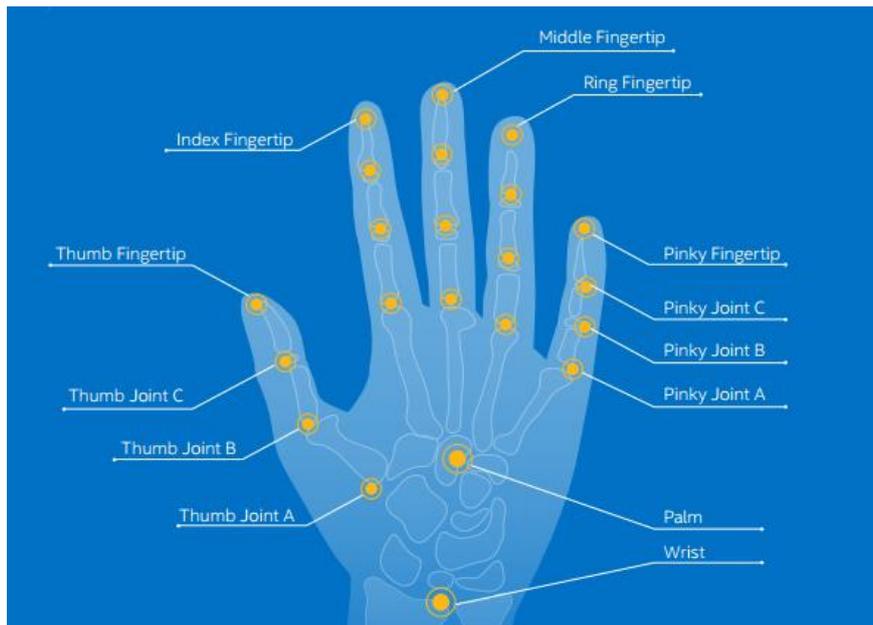


Ilustración 50: Puntos referencia mano con Intel RealSense

Para la implementación de los movimientos, se utilizará el *tracking* de la mano derecha, y en concreto se utilizará a la hora de realizar los movimientos, el punto de referencia de la palma de la mano. Esto permitirá una implementación de los movimientos en el motor de desarrollo de una forma mucho más fiable, no teniendo que obtener todos los puntos de referencia de la mano para que el sistema funcione correctamente.

Para el desarrollo del movimiento del usuario final, se ha decidido realizar un movimiento de traslación horizontal para los movimientos de abducción y adducción. Para ello, es necesario tener en la “Escena” de Unity un objeto *SenseManager* que tendrá asociado el script proporcionado por Unity3D para poder utilizar el movimiento de traslación, y el objeto que se quiere trasladar. Para conseguir una mayor simulación, se ha propuesto utilizar el objeto con forma de una mano real que será la que rechace los balones lanzados si el usuario final realiza correctamente los ejercicios. En este objeto, es necesario crear un componente “Translate Action” el cual tendrá las siguientes características:

- **Evento de inicio:** La cámara de tracking Intel RealSense comenzará la ejecución de la traslación del objeto si detecta que este evento se cumple. Para este caso, se selecciona que la cámara detecte la mano derecha completamente abierta
- **Evento de traslación:** Evento que debe realizar el usuario final para que el objeto se mueva. Se ha indicado en este apartado que la mano derecha deberá realizar el movimiento. Tiene asignado como punto de *tracking* el centro de la palma (*JOINT_WRIST*)
- **Evento de finalización:** La cámara de tracking Intel RealSense dejará de ejecutar el movimiento si detecta que el evento se cumple. En este caso, está seleccionado que el evento de finalización sea cerrar la mano derecha.
- **Datos de movimiento:** Definen el tipo de movimiento que se podrá realizar, así como los límites o sensibilidad del movimiento. Como se ha detallado anteriormente, en los movimientos de Abducción y Aducción sólo existe un movimiento vertical del objeto. Esto es debido a que los posibles movimientos que debe realizar el usuario final se tratan de movimientos exclusivamente horizontales (ver sección X para más información) y dado los requisitos de los movimientos, es necesario que el usuario no pueda realizar movimientos no permitidos con tal de parar el balón disparado y así aumentar la puntuación.

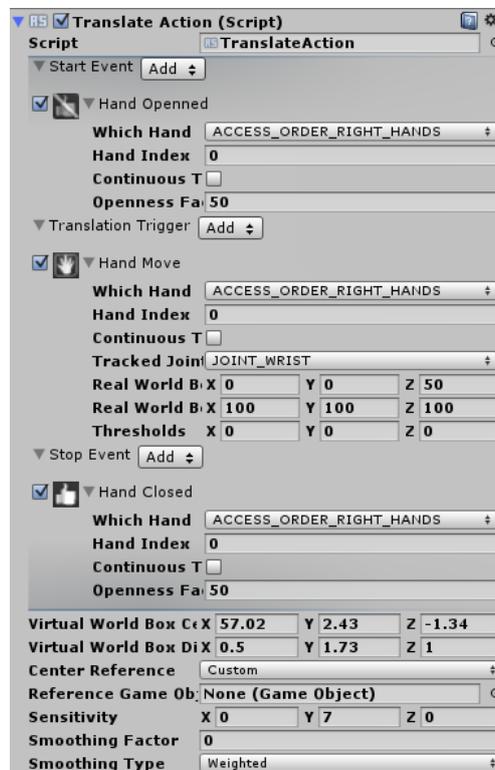


Ilustración 51: Implementación de los movimientos de Intel RealSense en Unity

Para la implementación de los dos tipos de movimientos que debería realizar el usuario final, se han cambiado entre ellos los *Datos de movimiento* como son la posición inicial del objeto que se traslada, los límites y el centro de los movimientos, los cuales se encuentran visualmente determinados en Unity3D a través de un cubo rojo como se puede apreciar en la siguiente imagen.

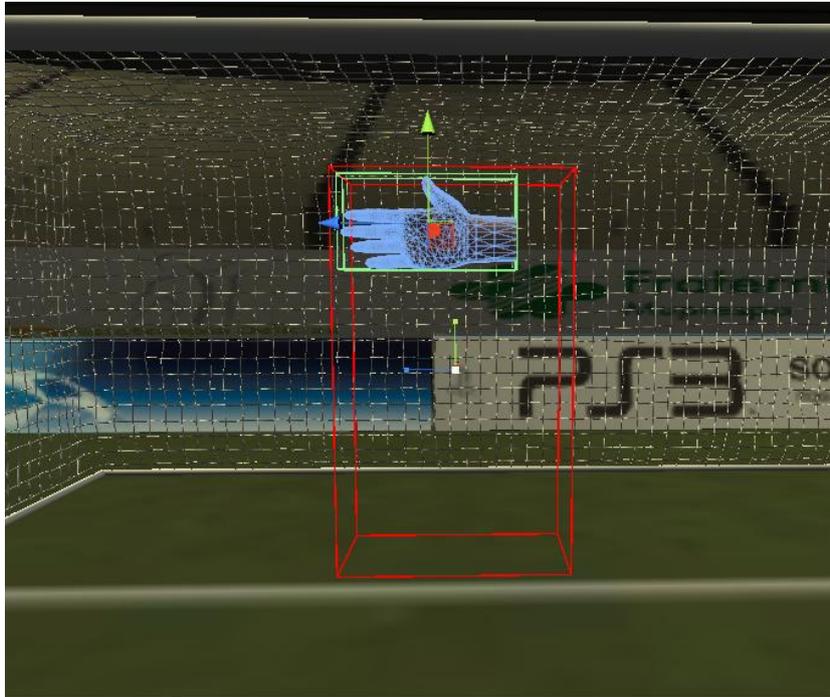


Ilustración 52: Límites de los movimientos en Unity 3D

5.4 Integración del proyecto en Unity 3D

El motor Unity 3D será, tal y como se ha descrito anteriormente, el motor de desarrollo elegido para la realización del presente trabajo de final de grado. Este motor será encargado de, por una parte la integración de ambos dispositivos, y por otra parte de la creación de la interfaz donde escogerá el fisioterapeuta la sesión a realizar, junto con la creación del entorno y sus funcionalidades.

Para la integración de los dispositivos, ambos SDK tienen soporte para Unity3D de forma nativa. Sin embargo, es necesario que ambos dispositivos funcionen de manera simultánea en el videojuego. Para ello, es necesario realizar los siguientes pasos:

1. Importar en Unity 3D el SDK de Oculus Rift sin los plugins
2. Importar en Unity 3D el SDK completo de la cámara Intel RealSense
3. Importar en Unity3D los plugins de Oculus Rift en la carpeta "Assets"
4. Eliminar plugins referentes a versiones de 64 bits

5. Mover los Plugins de Oculus Rift a la carpeta plugins

Por otro lado, la integración de la interfaz del fisioterapeuta se realiza en 2 dimensiones tal como se ha comentado en el capítulo 4. El menú se ha desarrollado en espacio denominado “*Canvas*”, donde se pueden encontrar diferentes botones para poder navegar a través de las diferentes ventanas del menú o “escenas” utilizando la nomenclatura de Unity. La navegación entre dichas “Escenas”, se ha realizado a través de dos Scripts (OnLoadClick, onLoadClickImage), los cuales asocian a cada botón una nueva “*Escena*”. La principal diferencia entre los dos scripts es que el segundo de ellos, será el encargado de cargar las escenas donde se encuentra implementado el videojuego. Estas escenas suelen tener un volumen mayor que una escena del menú, por lo que existe un ligero tiempo de carga. Para que no parezca que el programa tarda en ejecutar más del debido, este script cargará un “*slidebar*”, proporcionando al fisioterapeuta y al usuario final la impresión de que el videojuego se encuentra cargando tal y como se muestra en la ilustración 53.



Ilustración 53: Imagen de cargado entre diferentes sesiones

Por último, la integración del entorno en el proyecto a desarrollar se tratará de la división de este entorno en diferentes “Escenas”. Teniendo en cuenta que el desarrollo del entorno se ha creado en el mismo motor de desarrollo, cada escena contendrá el mismo campo de fútbol pero existirán diferencias en la implementación de cada escena dependiendo del tipo de sesión y del tipo de movimiento a realizar.

6. Evaluación

En la presente sección, se podrán observar la evaluación que se ha realizado al presente trabajo de final de grado. Primeramente se encuentran la validación de los requisitos, que prueba que el sistema funciona correctamente según lo esperado y analizado en el apartado 3 del presente documento. Finalmente se encuentran las pruebas realizadas por expertos del sistema desarrollado en conjunto, observando y evaluando las funcionalidades desarrolladas.

6.1 Validación de Requisitos

Tras completar completamente la fase de implementación donde se ha creado el videojuego e integrado los distintos dispositivos, es necesario comprobar que las funcionalidades inicialmente analizadas se cumplan. Para el análisis de la funcionalidad del sistema, se tomará de referencia los requisitos definidos en el apartado 3.4 del presente documento, verificando su cumplimiento e incumplimiento y validando por lo tanto las funcionalidades implementadas en el sistema. Cada requisito tendrá por lo tanto, una prueba unitaria que verifique su cumplimiento. Se utilizará una tabla como la siguiente para el establecimiento de las pruebas de cada requisito:

IDENTIFICADOR:
Requisito:
Descripción:
Prueba a realizar:
Validación:

Tabla 42: Tabla modelo pruebas requisitos

Cada prueba de un requisito software se representa mediante los siguientes atributos:

- **Identificación:** código que identifica unívocamente cada prueba requisito software. Será de la forma RSF-XXX, RNF-XXX donde
 - PRF será una Prueba de un Requisito Funcional
 - PRNF será una Prueba de un requisito no funcional
 - XXX serán números enteros positivos.

- **Requisito:** En este campo se indicará el código de identificación del requisito que se desea validar
- **Descripción:** Breve descripción del requisito que se desea validar.
- **Prueba a realizar:** Prueba que se debe realizar para validar el requisito software.
- **Validación:** Determina si las pruebas realizadas validan correctamente el requisito software. Los posibles valores son:
 - *Correcta:* El requisito software y su funcionalidad funcionan de la manera esperada.
 - *Aceptable:* La funcionalidad del requisito software funciona de manera parcial. No es necesario revisarlo.
 - *Revisar requisito:* La funcionalidad del requisito software funciona de manera parcial o no funciona. Si funciona de manera parcial y el requisito se trata de un requisito con prioridad esencial, es necesario revisarlo

PRF01
Requisito: RF01
Descripción: Uso de la cámara de <i>tracking</i> de Oculus Rift
Prueba a realizar: Una vez conectado el dispositivo de realidad virtual y la cámara de tracking del Oculus Rift, e integrada su funcionalidad con el motor de desarrollo Unity 3D, se el usuario que pruebe el sistema debería moverse con el dispositivo y el usuario debería moverse en el videojuego.
Validación: Correcta

Tabla 43: Prueba RF01

PRF02
Requisito: RF02
Descripción: Generar una nueva sesión de rehabilitación
Prueba a realizar: El usuario que realice las pruebas deberá hacer doble click en el fichero .exe y el programa debería ejecutarse mostrando el menú principal
Validación: Correcta

Tabla 44: Prueba RF02

PRF03
Requisito: RF03
Descripción: Transición a través del menú principal
Prueba a realizar: El usuario que realice las pruebas deberá navegar por el menú accediendo a todas las posibilidades del menú. El programa deberá responder correctamente a todas las acciones del usuario, cargando los menús correspondientes.
Validación: Correcta

Tabla 45: Prueba RF03

PRF04
Requisito: RF04
Descripción: Generar un nuevo juego supervisado
Prueba a realizar: El usuario que realice las pruebas deberá iniciar una sesión supervisada. Para ello debe acceder al Menú principal, clicar en el botón sesión supervisada, e iniciar uno de los dos movimientos a realizar por el usuario final. El sistema deberá cargar el videojuego correctamente.
Validación: Correcta

Tabla 46: Prueba RF04

PRF05
Requisito: RF05
Descripción: Generar un nuevo juego no supervisado
Prueba a realizar: El usuario que realice las pruebas deberá iniciar una sesión no supervisada. Para ello debe acceder al Menú principal, clicar en el botón sesión no supervisada, e iniciar uno de los dos movimientos a realizar por el usuario final. El sistema deberá cargar el videojuego correctamente.
Validación: Correcta

Tabla 47: Prueba RF05

PRF06
Requisito: RF06
Descripción: Disparar una pelota en una sesión supervisada
Prueba a realizar: Tras realizar la prueba RF04, el usuario que realice las pruebas deberá clicar el botón izquierdo del ratón. La pelota debería lanzarse hacia la portería.
Validación: Correcta

Tabla 48: Prueba RF06

PRF07
Requisito: RF07
Descripción: Disparar una pelota en una sesión no supervisada
Prueba a realizar: Tras realizar la prueba RF05, el usuario que realice las pruebas deberá utilizar la cámara de <i>tracking</i> Intel RealSense y realizar los movimientos rehabilitadores correctamente para que la pelota se lance hacia la portería.
Validación: Correcta

Tabla 49: Prueba RF07

PRF08
Requisito: RF08
Descripción: Evaluación los movimientos del paciente (Puntuación)
Prueba a realizar: Tras realizar la prueba PRF06 o PRF07, el usuario que realice las pruebas deberá realizar correctamente los movimientos rehabilitadores con el fin de pararse el balón lanzado hacia la portería. El sistema deberá contabilizar correctamente la puntuación aumentando en 10 puntos cada balón parado.
Validación: Correcta

Tabla 50: Prueba RF08

PRF09
Requisito: RF09
Descripción: Integración del dispositivo RealSense con el entorno de desarrollo Unity 3D
Prueba a realizar: Tras la realización de las pruebas PRF04 y PRF05, el usuario que realice las pruebas deberá verificar si inicia correctamente el videojuego. Si existe algún error en la integración del dispositivo con Unity3D, el videojuego no se iniciará.
Validación: Correcta

Tabla 51: Prueba RF09

PRF10
Requisito: RF10
Descripción: Integración del dispositivo Oculus Rift con el entorno de desarrollo Unity 3D
Prueba a realizar: Tras la realización de las pruebas PRF04 y PRF05, el usuario que realice las pruebas deberá verificar si inicia correctamente el videojuego. Si existe algún error en la integración del dispositivo con Unity3D, el videojuego no se iniciará.
Validación: Correcta

Tabla 52: Prueba RF10

PRNF01
Requisito: RNF01
Descripción: Conexión del servidor con el dispositivo Oculus Rift
Prueba a realizar: La persona que realice las pruebas deberá comprobar la correcta conectividad del dispositivo Oculus Rift y el ordenador. Si se encuentra correctamente conectado, el dispositivo Oculus Rift tendrá el LED superior en color azul. Si no existe una salida de video correcta, el LED superior será de color naranja.
Validación: Correcta

Tabla 53: Prueba RNF01

PRNF02
Requisito: RNF02
Descripción: Visualización del videojuego a través de las Oculus Rift
Prueba a realizar: Tras la realización de las pruebas PRF04 y PRF05, el usuario que realice las pruebas deberá ponerse el dispositivo de realidad virtual Oculus Rift y validar si ve correctamente el entorno en 3 dimensiones.
Validación: Correcta

Tabla 54: Prueba RNF02

PRNF03
Requisito: RNF03
Descripción: Obtención de los movimientos del paciente a través de la cámara de tracking Intel RealSense
Prueba a realizar: Tras la realización de las pruebas PRF04 y PRF05, el usuario que realice las pruebas deberá realizar movimientos con la palma de la mano derecha abierta y verificar si el motor de desarrollo Unity3D obtiene correctamente los movimientos.
Validación: Correcta

Tabla 55: Prueba RNF03

PRNF04
Requisito: RNF04
Descripción: Conexión del Servidor con el dispositivo RealSense a través de un USB 3.0
Prueba a realizar: La persona que realice las pruebas deberá comprobar la correcta conectividad del dispositivo Intel RealSense y el ordenador. Si se encuentra correctamente conectado e iniciado un programa que requiera las funcionalidades del dispositivo, se encenderá un LED en la parte frontal de la cámara.
Validación: Correcta

Tabla 56: Prueba RNF04

PRNF05
Requisito: RNF05
Descripción: El sistema deberá mantenerse activo y disponible para que el usuario pueda hacer uso de él en cualquier sesión.
Prueba a realizar: La persona que realice las pruebas deberá comprobar si el programa funciona independientemente del momento en el que vaya a realizar pruebas
Validación: Aceptable

Tabla 57: Prueba RNF05

IDENTIFICADOR: PRNF06
Requisito: RNF06
Descripción: Herramienta de programación del videojuego – Unity3d v4.6 Beta Versión PRO
Prueba a realizar: Para comprobar la versión del motor de desarrollo, la persona que realice las pruebas deberá acceder a Unity 3D > Help > About Unity...
Validación: Correcta

Tabla 58: Prueba RNF06

PRNF07
Requisito: RNF07
Descripción: Requisitos mínimos del servidor
Prueba a realizar: Para comprobar las características del ordenador donde se ejecutará el sistema, el usuario que realice las pruebas deberá acceder a Mi PC > Propiedades y verificar que se cumplen todos los requisitos. Además, deberá comprobar que el ordenador posee conexiones USB 3.0, los cuales tienen el puerto de color azul.
Validación: Correcta

Tabla 59: Prueba RNF07

PRNF08
Requisito: RNF08
Descripción: Tasa de frames por segundo del videojuego mínimo
Prueba a realizar: El usuario que realice las pruebas deberá jugar al videojuego en alguno de los dos tipos de sesión. El rendimiento de videojuego se puede comprobar desde el motor del videojuego, pulsando la tecla <i>Espacio</i>
Validación: Correcta

Tabla 60: Prueba RNF08

PRNF09
Requisito: RNF09
Descripción: Tasa de frames por segundo del videojuego óptimo
Prueba a realizar: El usuario que realice las pruebas deberá jugar al videojuego en alguno de los dos tipos de sesión. El rendimiento de videojuego se puede comprobar desde el motor del videojuego, pulsando la tecla <i>Espacio</i>
Validación: Aceptable

Tabla 61: Prueba RNF09

PRNF10
Requisito: RNF10
Descripción: Rendimiento del juego
Prueba a realizar: El usuario que realice las pruebas deberá jugar a las dos sesiones del sistema validando que el rendimiento del juego es el adecuado en cada uno de ellos basándose en la prueba PRNF08
Validación: Correcta

Tabla 62: Prueba RNF010

PRNF11
Requisito: RNF11
Descripción: Iluminación adecuada en cada sesión
Prueba a realizar: El usuario que realice las pruebas deberá valorar si la iluminación del entorno es la adecuada.
Validación: Correcta

Tabla 63: Prueba RNF11

PRNF12
Requisito: RNF12
Descripción: Visualización de la puntuación por parte del usuario final
Prueba a realizar: Una vez realizados las pruebas PRF04 y PRF05, el usuario que realizará las pruebas deberá ver correctamente el marcador en la parte superior.
Validación: Correcta

Tabla 64: Prueba RNF12

PRNF13
Requisito: RNF13
Descripción: Resolución nativa de la imagen mostrada a través de las Oculus Rift
Prueba a realizar: La resolución nativa de Unity3D se adapta a la resolución de los dispositivos de salida de la interfaz
Validación: Correcta

Tabla 65: Prueba RNF13

Como se puede observar, la mayoría de las pruebas de los requisitos de software validan que se cumplen correctamente. La amplia mayoría realizan la función definida, por lo que el sistema desarrollado cumple inicialmente con los objetivos tecnológicos marcados. Existen algunos requisitos que marcan su validación como *"Aceptable"*. Esto quiere decir que cumple con el requisito, sin embargo no de manera completa. Ninguno de los requisitos que cumplen su validación como *"Aceptable"* son requisitos de carácter *"Esencial"*, por lo que el cumplimiento completo de la prueba no es estrictamente necesario para el funcionamiento correcto del sistema.

6.2 Pruebas realizadas

En las pruebas realizadas a lo largo del proyecto, se pueden dividir en dos tipos de pruebas. Las primeras de ellas son pruebas a nivel de rendimiento del videojuego, evaluando si el videojuego funciona de forma correcta y de la manera esperada. Por otro lado, existen las pruebas realizadas por expertos de la rama de la salud, evaluando desde otro punto de vista si el sistema desarrollado puede ayudar a sus pacientes a resolver el problema inicialmente detectado.

6.2.1 Pruebas de rendimiento

Una vez se ha completado la implementación del videojuego y su posterior integración con los dispositivos de realidad virtual y la cámara de tracking corporal, es necesario hacer una comprobación del rendimiento del sistema. Tal y como indica el requisito RNF08 indicado en la tabla 32, es necesario que el videojuego posea un rendimiento superior a 30 *Frames por Segundo*. Esto es debido a que bajar de esta tasa de frames, hace que el cerebro humano perciba irregularidades debido a que el movimiento no es del todo fluido, y si esto se traslada a la realidad virtual, puede ocasionar incomodidad y hasta mareos con las Oculus Rift.

Tal y como se detalla en la prueba no funcional 8, tabla 60, para poder determinar la tasa de frames por segundo solo hace falta pulsar la tecla *espacio* y aparecerá la ilustración 54, donde se puede distinguir los frames por segundo del sistema.

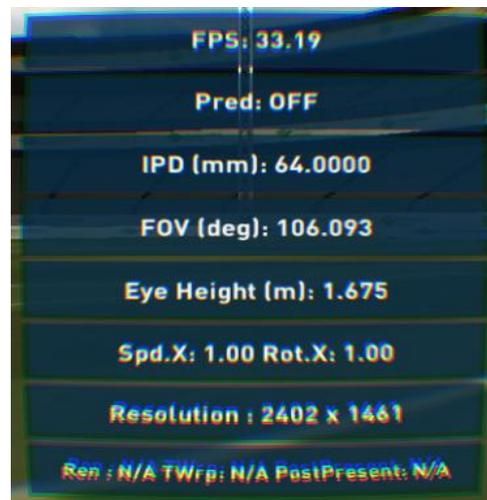


Ilustración 54: Menú interfaz Oculus Rift - FPS

Primeramente, se realizará una prueba global del rendimiento. En ella se realizarán los 10 lanzamientos del balón en una sesión supervisada, mientras el usuario intenta realizar los movimientos para rechazar los balones lanzados. Se ha realizado un total de 5 pruebas por cada movimiento (ABD y ADD), que con 10 lanzamientos hacen un total de 100 datos de pruebas. Las pruebas se han realizado con el ordenador de pruebas, cuyas especificaciones están detalladas en la tabla 39.

Los FPS se medirán en el peor de los casos. Cuando un balón se encuentra lanzado, y realiza la colisión o bien con la mano que rechaza los lanzamientos o cuando realiza la colisión contra la red de la portería. Además, se seguirá la parábola trazada con el dispositivo Oculus Rift.

Por un lado, los datos totales de la realización de todas las pruebas suponen las gráficas que muestran las ilustraciones 56 y 57.

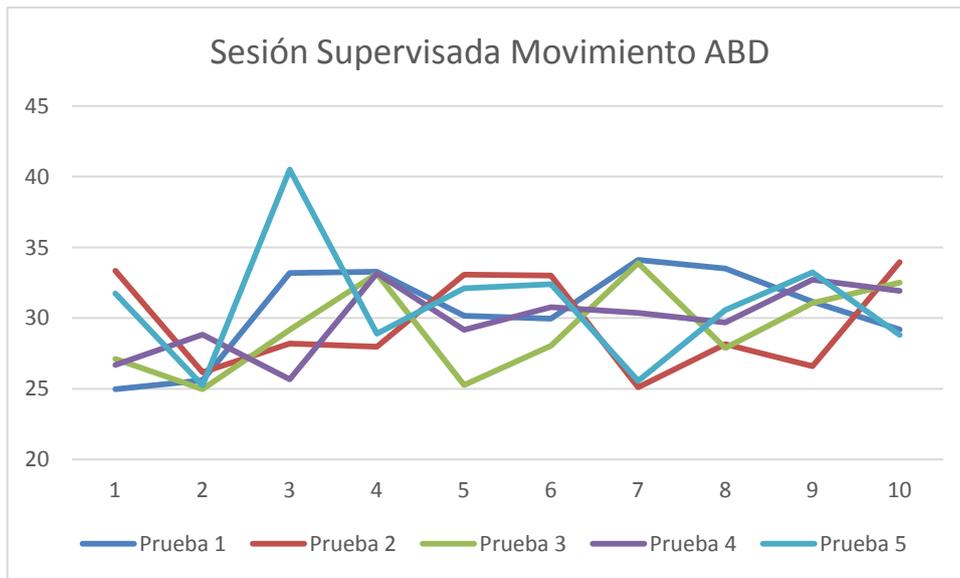


Ilustración 55: Pruebas Sesión Supervisada ABD

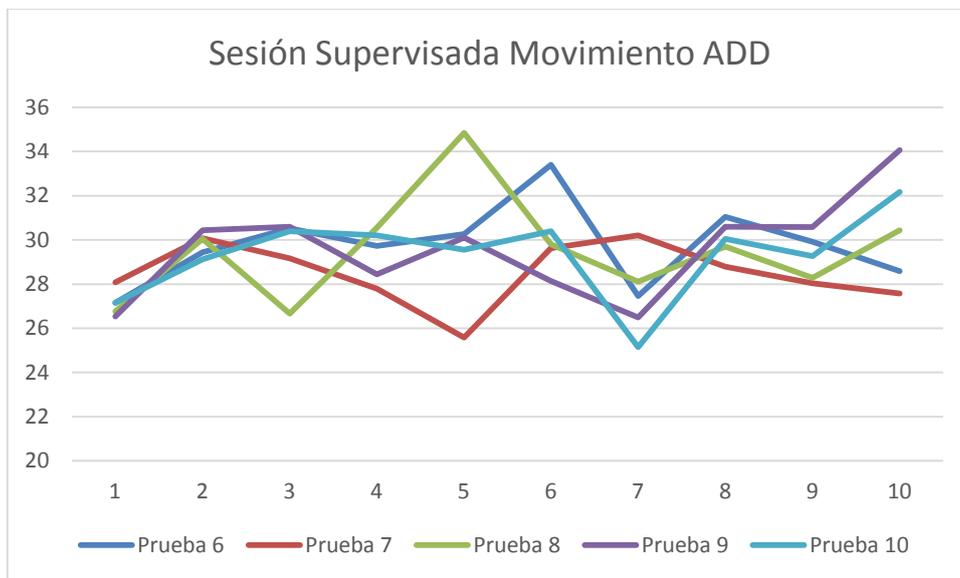


Ilustración 56: Pruebas Sesión Supervisada ADD

A través de estas gráficas, se puede valorar que el rendimiento del juego es muy variable, existiendo desniveles de FPS pronunciados dentro de una misma prueba.

Si se realizan las medias de cada prueba con los valores obtenidos y lo comparamos con el mínimo *de frames por segundo* obtenemos la gráfica que se muestra en la ilustración 57

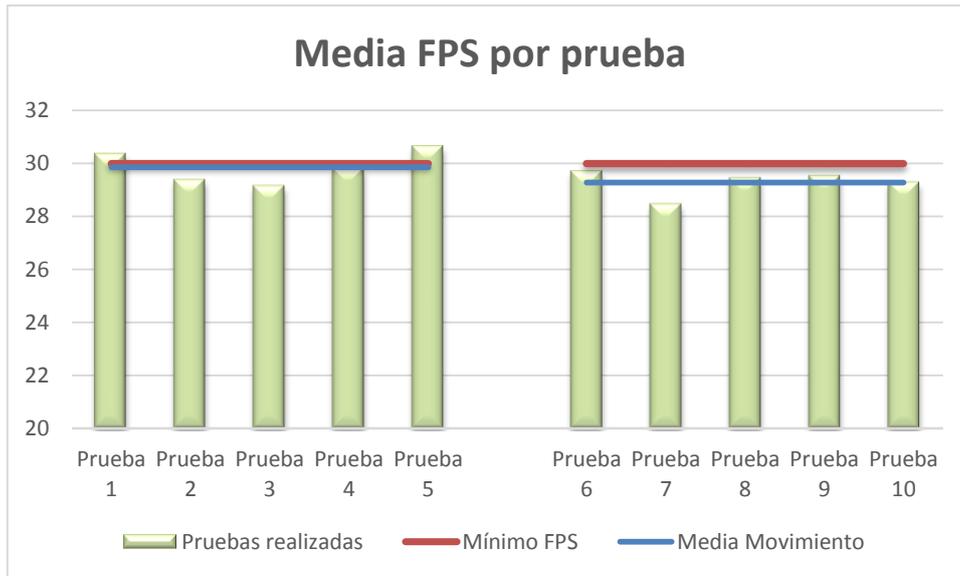


Ilustración 57: Pruebas Sesión Supervisada - media vs mínimo

Como se puede apreciar, el rendimiento conseguido por el videojuego se encuentra muy cerca del mínimo exigido, situándose la media más baja en los 29,5 FPS. Al contrario que en la representación anterior donde los frames por segundo parecía algo inestable, en la ejecución completa del videojuego se puede apreciar que se alcanzan los 30 FPS de manera continua, cumpliendo así uno de los requisitos más importantes del sistema.

6.2.2 Evaluación por expertos

Una vez realizada una demostración a graduados y diplomados en fisioterapia, la opinión de los expertos es positiva. Todos los expertos (un total cuatro fisioterapeutas) admiten un gran valor terapéutico, dado que el campo que se abre a través de la realidad virtual es muy extenso.

Dado que no se ha probado con sujetos con patología de hombro real, los resultados obtenidos son una hipótesis de los beneficios que podrían resultar del sistema. Teniendo en cuenta los resultados científicos de una cinesiterapia activa^[53], se puede asegurar que en una lesión del manguito de los rotadores, realizar una abducción de hombro de más de 90 grados y una rotación neutra repetidas veces (complementario al tratamiento muscular realizado en camilla), proporcionan un aumento en la movilidad intrínseca de la articulación del hombro, cuantificable en grados dependiendo del sujeto y grado de afectación de la lesión^{[55][56]}.

Además se provoca un aumento en el tono y la fuerza muscular dado que el sistema realiza todos los movimientos contra la gravedad, lo que provoca un esfuerzo muscular desde el inicio del movimiento.

El realizar el ejercicio propuesto por el sistema con las gafas 3D, proporciona una mejora en la propiocepción^[54] del hombro en una cadena cinética abierta (hombro sin apoyar en ninguna superficie), dado que al eliminar la visión del entorno del paciente, el sistema nervioso realiza un esfuerzo extra para dar congruencia, estabilidad y coordinación a la articulación tratada.

Otros de los grandes beneficios que comentan es el hecho de que a la vez que se realiza una cinesiterapia básica (*cinesiterapia: "tratamiento de enfermedades y lesiones mediante el movimiento"*.) se está desarrollando otra de las técnicas de tratamiento básico a la hora de rehabilitar una articulación del cuerpo, que es la propiocepción ("*parte del sistema nervioso periférico que informa al organismo de la posición de los músculos, es la capacidad de sentir la posición relativa de partes corporales contiguas. La propiocepción regula la dirección y rango de movimiento, permite reacciones y respuestas automáticas, interviene en el desarrollo del esquema corporal y en la relación de éste con el espacio, sustentando la acción motora planificada. Otras funciones en las que actúa con más autonomía son el control del equilibrio, la coordinación de ambos lados del cuerpo, el mantenimiento del nivel de alerta del sistema nervioso y la influencia en el desarrollo emocional y del comportamiento*") ya que al eliminar el captor visual del cuerpo, es decir la vista, la coordinación del movimiento, las respuestas automáticas del cuerpo y/o la posición del miembro con respecto al espacio se ven dificultadas, exigiendo más al resto de captadores corporales y acelerando el tratamiento y aumentando la calidad del mismo.

El tiempo medio utilizado en realizar una cinesiterapia asistida en un hombro con tendinitis de hombro es de 20 minutos, por lo que, si ese tiempo de tratamiento el paciente utiliza el sistema desarrollado, los fisioterapeutas podrán tratar a pacientes simultáneamente o realizar labores de administración y gestión de historial clínico mientras supervisa las acciones del paciente.

En cuanto a las pegas puestas por los terapeutas, varios coinciden en que se debería desarrollar una manera de personalizar electrónicamente los grados de movimiento para cada individuo de forma que la variedad de lesiones a tratar aumente y que dependiendo de la cantidad de movimiento, se provoque tanto movimiento.

Por otro lado, sería necesario la inclusión en el sistema una explicación visual del movimiento a realizar antes de empezar con el videojuego propiamente dicho. El refuerzo visual del movimiento hace que el paciente asimile de forma correcta el movimiento a realizar.



Otra de los contras, la enfocan al hecho de que un sólo movimiento no provoca una rehabilitación completa. Debería desarrollarse más movimientos e incluso movimientos combinados con disparos desde diferentes ángulos del espacio, sin embargo, al ser una prueba de concepto, es entendible que solo se hayan implementado dos de los movimientos propuestos para la rehabilitación de una patología de hombro.

7. Gestión del Proyecto

En la siguiente sección, se detallará el presupuesto del desarrollo del proyecto dividido en dos grandes bloques. El coste del desarrollo en medido horas del alumno y del tutor, y el coste de los elementos y dispositivos necesarios. Se incluirá finalmente un resumen de los costes totales del presupuesto.

Adicionalmente, se podrá comprobar la planificación que se ha realizado para el desarrollo del presente trabajo de final de grado. Inicialmente se expondrá la planificación que se planteó al inicio del proyecto, y finalmente se detallará la planificación seguida a lo largo de los meses de desarrollo. Se finalizará unas breves conclusiones de la planificación desarrollada, así como el grado de cumplimiento de dicha planificación.

7.1 Presupuesto total

En esta sección, se estimará un coste del desarrollo completo del sistema, teniendo en cuenta en primer lugar el coste asociado a las horas trabajadas, tanto por parte de alumno como por parte de los tutores, y en segundo lugar de los gastos asociados a los dispositivos utilizados durante el desarrollo.

7.1.1 Costes Hora / Hombre

Los costes totales del personal incluye las horas trabajadas por el alumno y las horas trabajadas por el tutor. Por otro lado, se ha desglosado las horas trabajadas por cada tarea del desarrollo del proyecto para poder evaluar cuál de las tareas conlleva mayor gasto de recursos humanos. Para la estimación de los costes se tomarán en cuenta :

- El coste asociado por hora de trabajo del alumno se estima en torno a los 13,02 €. Esta estimación se ha realizado en base al salario bruto anual de un recién licenciado en ingeniería informática y sin experiencia laboral es de 25000€ trabajando a jornada completa [47].

Gastos de Alumno		
Fase de Desarrollo	Horas trabajadas [h]	Coste [€]
Análisis y solución del problema	14	182,28 €
Análisis de mercado	34	442,68 €
Aprendizaje del entorno de desarrollo	80	1041,60 €
Implementación de la solución	125	1627,50 €
Pruebas y validaciones	24	312,48 €
Documentación	42	546,84 €
Total	319	4153,38 €

Tabla 66: Costes hora / Hombre alumno

- El coste asociado por hora de trabajo del tutor se estima en torno a los 22,13 €. Esta estimación se ha realizado en base al salario bruto anual de un ingeniero informático sénior es de 42500€ trabajando a jornada completa ^{[48][49]}.

Gastos de Tutor		
Fase de Desarrollo	Horas trabajadas [h]	Coste [€]
Análisis y solución del problema	4	88,52 €
Análisis de mercado	4	88,52 €
Implementación de la solución	10	221,30 €
Pruebas y validaciones	5	110,65 €
Documentación	25	553,25 €
Total	48	1062,24 €

Tabla 67: Costes Hora / Hombre tutor

El coste de los recursos humanos asciende a un total de **5215,62 €** contando con las horas estimadas tanto del alumno como del tutor, donde la tarea con un mayor costo económico es el de la implementación de la solución conjuntamente con la tarea de la documentación.

Gastos por tarea	
Fase de Desarrollo	Coste Total[€]
Análisis y solución del problema	270,80 €
Análisis de mercado	531,20 €
Aprendizaje del entorno de desarrollo	1041,60 €
Implementación de la solución	1848,80 €
Pruebas y validaciones	423,13 €
Documentación	1100,09 €
Total	5215,62 €

Tabla 68: Costes Hora / Hombre totales

7.1.2 Costes Materiales

A continuación se realizará una estimación de los costes relativos a los materiales amortizables. Este tipo de materiales incluyen tanto los dispositivos de realidad virtual o la cámara de tracking utilizado, como las licencias de software que se han tenido que utilizar a lo largo del desarrollo. En la siguiente tabla se detalla un resumen de los costes materiales desglosándolo por elementos y calculando su impacto en el proyecto teniendo en cuenta los meses de utilización vs los meses de amortización:

Presupuesto						
	Artículo	Precio [€]	Amortización [meses]	Amortización [€/mes]	Periodo de uso [meses]	Coste del proyecto [€]
Hard ware	Ordenador de Desarrollo	880,00 €	36	24,44 €	4	97,78 €
	Ordenador de Pruebas	489,00 €	36	13,58 €	2	27,17 €
	Oculus Rift DK2	350,00 €	12	29,17 €	3	87,50 €
	Intel Real Sense DK	100,00 €	12	8,33 €	3	25,00 €
Soft ware	Unity3D Pro ^[50]	65,70 €	-	-	4	262,80 €
	Microsoft Office 365 Estudiantes ^[51]	79,00 €	24	3,29 €	2	6,58 €
Total	-	-	-	-	-	506,83 €

Tabla 69: Costes materiales

7.1.3 Costes totales

Por último, se ha calculado unos gastos indirectos de luz y agua estimados en un 5 % del coste total y un porcentaje de beneficio del 10% si el proyecto consigue comercializarse. Es por esto que la cuantía total de todos los costes sumados asciende hasta los **6609,43 €**.

Concepto	Coste [€]
Gastos Horas / Hombre	5215,62 €
Gastos Materiales	506,83 €
Gastos Indirectos	282,12 €
Porcentaje de beneficio	600,86 €
Total	6609,43 €

Tabla 70: Costes totales

7.2 Planificación

En un proyecto de estas dimensiones, la realización de una buena planificación del tiempo y fases del desarrollo es crucial. Esta planificación marca inicialmente los plazos de desarrollo, intentando evitar posibles retrasos en cada fase que desembocarían en un desarrollo deficiente de alguna de sus partes. La disponibilidad del alumno para el desarrollo del presente trabajo es reducida, ya que se encuentra trabajando a jornada completa durante todo el desarrollo del sistema. Se ha estimado por lo tanto, 1,5 horas diarias de trabajo dedicadas al desarrollo del trabajo.

Inicialmente se estimó la fecha de inicio del desarrollo el 15 de septiembre de 2014, dado que la entrega definitiva e improrrogable es el día 24 de febrero de 2015.

Teniendo en cuenta estas premisas, la planificación del desarrollo del proyecto se divide en cuatro grandes fases o etapas:

- **Fase de Análisis:** Comprende los primeros meses del proyecto. En esta fase se encuentran identificados el análisis del problema y plantear una posible resolución, un estudio del mercado para poder escoger los dispositivos con los que se van a dar respuesta a la solución planteada y por último, la fase de aprendizaje para el uso del motor de desarrollo del videojuego.
- **Fase de implementación del proyecto:** En esta fase se encuentra el desarrollo del sistema. Se encuentra por ejemplo el desarrollo del entorno o la integración de los dispositivos de realidad virtual o la cámara de *tracking* con el videojuego.
- **Fase de pruebas y validaciones:** Se trata de una de las últimas fases, donde se comprobará el correcto funcionamiento del videojuego y la valoración por parte de los expertos.
- **Fase de documentación:** Última fase que comprende la creación del presente documento.

7.2.1 Planificación Inicial

La ilustración 63 incluida en la sección 10, muestra el diagrama de Gantt creado como planificación inicial. En él se puede observar que la fase de análisis transcurre de forma lineal, o lo que es lo mismo, cuando se termina el análisis del problema y se encuentra una solución en potencia, se pasaría a realizar un estudio del mercado, y consecuentemente a eso, se empezaría la fase de aprendizaje del motor de desarrollo. Ninguna de estas tareas se solapan, ya que es necesario conocer el problema y la solución para poder estudiar los

dispositivos necesarios que existen en el mercado, y consecuentemente iniciar la fase de aprendizaje una vez escogido el motor de desarrollo adecuado.

Continuando con la siguiente fase, la fase de implementación, esta se encuentra solapada con la fase de Análisis. Se ha estimado que la tarea del desarrollo del videojuego se podrá iniciar conforme la tarea del aprendizaje del uso del motor de desarrollo se va completando. Esto es debido a que se ha estimado que conforme el alumno adquiera conocimientos sobre cómo manejar el motor de desarrollo del videojuego, podrá ir implementando poco a poco el videojuego. Las tareas de integración de los dispositivos también se solapan con la tarea de creación del videojuego, ya que la realización de estas tareas son parte de la creación de dicho videojuego.

Por otro lado, se estimó inicialmente que las fechas durante las Navidades serían consideradas como vacaciones, por lo que el desarrollo del sistema no se llevaría a cabo.

Por último, la fase de pruebas, tal y como se ha explicado anteriormente, se divide en dos grandes partes. Las pruebas a nivel tecnológico (validación de requisitos, pruebas del rendimiento del videojuego, etc) y las pruebas realizadas por los expertos, se estimó su duración en 1 mes. Se consideró inicialmente que se podía empezar la fase de documentación una vez se hubieran desarrollado las pruebas a nivel tecnológico, intentando optimizar así el tiempo.

7.2.2 Grado de cumplimiento de la planificación

La ilustración 64 incluida en la sección 10, muestra el diagrama de Gantt creado como la planificación real seguida a lo largo del desarrollo. En él, se puede observar que la fase de análisis transcurre de manera similar a la estimada. Realmente, las tareas de la fase de análisis transcurren de forma lineal, siendo una posterior a la siguiente. Sin embargo, se puede observar un cierto retardo en el estudio del mercado. Inicialmente se estimó deficientemente el tiempo, ya que el alumno invirtió más horas de las previstas en el estudio del mercado. Adicionalmente, en esta planificación real, se ha incluido otra tarea que se realizó durante el estudio de los dispositivos existentes en el mercado, y es la documentación de este estudio debido a que los tutores necesitaban de dicho estudio para comprar los dispositivos necesarios para el desarrollo del presente trabajo de final de grado.

En la fase de implementación, existe un retraso temporal debido al retraso en el estudio del mercado. La integración de los dispositivos se estimó correctamente, e incluso la integración de las gafas de realidad virtual fue más sencilla de lo planificada. Por otro lado,



se puede ver en el diagrama de Gantt que la tarea de creación del videojuego se extiende hasta la tarea de la fase de pruebas. No se estimó correctamente esta tarea debido a que en la fase de pruebas surgieron cambios en el videojuego (debido al rendimiento del mismo).

Por último, se puede apreciar un cambio significativo de la fase de pruebas y validación. Al realizar una planificación inicial, no se tuvo en cuenta que las pruebas realizadas por los expertos pueden demorarse en el tiempo, debido a que no las realiza el alumno sino terceras personas. Esto hizo que se comenzara la documentación mientras las pruebas y validaciones por parte de los expertos aún no estaban en poder del alumno.

8. Conclusiones

En este capítulo, se expondrán las conclusiones obtenidas tras el desarrollo completo del trabajo, enfatizando cuáles son los objetivos cumplidos que se marcaron cuando se inició el proyecto y cuáles no se han cumplido. Además, también se podrá encontrar una sección donde se exponen las líneas futuras del trabajo de final de grado, evaluando cada una de ellas y su complejidad a la hora de desarrollar.

8.1 Cumplimiento de los objetivos

Para poder realizar la revisión y analizar el cumplimiento de los objetivos marcados inicialmente, es necesario estudiar los objetivos expuestos en la sección 3.1 del presente documento.

Tal y como se describe es la sección 3.1 del presente documento, existen distintos tipos de objetivos marcados para el desarrollo del proyecto. Objetivos tecnológicos y objetivos puramente sanitarios.

8.1.1 Cumplimiento de los objetivos tecnológicos

Con respecto a los cuatro objetivos tecnológicos (junto con sus objetivos secundarios) propuestos inicialmente, se han cumplido todos ellos de manera correcta.

Por un lado se ha creado una interfaz de uso sencillo, donde el fisioterapeuta deberá escoger simplemente la sesión y el movimiento que se desea realizar.

En cuanto al videojuego desarrollado, se ha creado un videojuego lo más real posible, incluyendo diferentes tipos de "*Pyshics Materials*" que proporcionan a la pelota distintos tipos de bote dependiendo del objeto con el que colisiona. Además se han añadido detalles como el estadio o el paso de las nubes, que proporcionan un aspecto visual más realista.

Por otro lado, la implementación de los movimientos a través de la cámara Intel RealSense es precisa si se dispone de un entorno controlado, obteniendo los movimientos del paciente y trasladándolos al motor de desarrollo Unity 3D. Además, se han creado distintos tipos de sesiones con diferentes tipos de movimientos a realizar por el usuario final, que hacen que la posición inicial de la mano del paciente y la posición final del lanzamiento del balón sea diferente para cada movimiento.

En cuanto al objetivo de la integración del dispositivo Oculus Rift, la integración con Unity 3D se ha realizado de forma exitosa, funcionando tal y como se estaba previsto desde un inicio. Por otro lado, evitar completamente la fatiga visual de los pacientes con las Oculus Rift no es cuantificable, siendo necesario una iluminación correcta del entorno la manera más efectiva de paliar este problema. Atendiendo a la sección 5.1.5 del presente documento, se da por cumplido el objetivo que se planteó inicialmente.

8.1.2 Cumplimiento de los objetivos médicos

Tras las pruebas realizadas por los expertos detalladas en la sección 6.2.2 y atendiendo a los objetivos planteados en la sección 3.1, se puede concluir lo siguiente.

El primer objetivo destaca la evaluación de la posición y orientación del paciente. Este objetivo se ha cumplido correctamente debido a que la cámara de tracking Intel RealSense está programada para obtener la palma de la mano, de modo que la palma del paciente debe estar abierta y orientada correctamente hacia la cámara. Con esto conseguimos que el paciente tenga el tronco del cuerpo bien posicionado, y que realice correctamente el ángulo que marca el movimiento a realizar.

El 4º objetivo marca un objetivo indirecto del uso del sistema, como es la optimización del tiempo laboral del fisioterapeuta. Durante las pruebas realizadas por los expertos, no hacía falta que los fisioterapeutas estuvieran en la misma sala donde se desarrollaban las pruebas, sin embargo, la mayoría de los expertos realizaban actividades de gestión, ya que se podían realizar estas actividades mientras que estaban disponibles por si fuera necesaria su intervención. Esto se ha conseguido gracias a la incorporación de una sesión no supervisada en el sistema, donde los lanzamientos de las pelotas se realizan de forma automática.

Por último, dado que no se pueden realizar pruebas con pacientes reales, los objetivos 2 y 3 propuestos en la sección 3.1 no son posibles sus comprobaciones. En la fase del estado del proyecto en la que se encuentra, desde el punto de vista sanitario, el proyecto realizado es un POC (Proof of Concept), por lo que los datos que se pueden obtener son datos hipotéticos. Sin embargo, esto no quiere decir que los objetivos planteados anteriormente no se cumplan. Si el paciente realiza utiliza el sistema tal y como se ha diseñado, el paciente obtendrá un aumento de la rotación y del movimiento de la zona afectada, pero no será posible cuantificar cuánto es el aumento debido a que esto es dependiente del paciente y del grado de tendinitis del sujeto.

8.2 Líneas Futuras

Una vez finalizado el desarrollo de sistema y realizada la posterior validación por partes de los expertos, surgieron diferentes aspectos que mejorarían el producto final.

Primeramente, los expertos que validaron el sistema opinaron que es necesaria la creación de un tutorial en el cual se explique al paciente los movimientos que debe realizar dada una sesión en concreto. Los expertos alegaron que muchos pacientes, aunque se encuentre el fisioterapeuta con ellos, no comprenden correctamente el tipo de movimiento, y una ayuda audiovisual ayudaría a su comprensión. Este tipo de tutorial podría ser video explicativo que se reproduciría antes de que el videojuego se iniciara, mostrando los movimientos a realizar.

También, sería necesaria la mejora de la obtención de los movimientos a través de la cámara de *tracking* corporal. Este sistema funciona únicamente para la rehabilitación del manguito rotador del hombro derecho, sin embargo sería necesaria una mejora de la obtención de los movimientos para poder trasladarlo a otras partes del cuerpo como el hombro o el cuello. Esto conllevaría a un cambio global del videojuego, donde sería necesario la creación de un videojuego por cada parte del cuerpo que se quiera rehabilitar.

Adicionalmente, los expertos sugirieron almacenar en una base de datos los datos resultantes de las sesiones realizadas por los pacientes. Esto sugiere cambios profundos en el sistema, como por ejemplo:

- Creación de un nuevo menú para al fisioterapeuta el cual tenga las capacidades de crear un nuevo paciente, de cargar las sesiones de un paciente en concreto para seguir almacenando sus resultados y de salir de la sesión del paciente.
- Creación y conexión de una base de datos la cual pueda contener los datos de los pacientes, así como las sesiones y las puntuaciones de cada sesión. Además, al tratarse de datos clínicos de los pacientes, es necesario cumplir con la Ley Orgánica de Protección de Datos [LOPD] vigente ^[52].

Por último, y tal y como se recoge en el marco jurídico (Sección 3.5), si el sistema pasa a producción y a una posterior venta en el sector sanitario, es necesario la creación de una documentación técnica que recoja una descripción general del producto, así como una instrucciones de utilización y el resultado de análisis de riesgos, junto con una evaluación preclínica y clínica.

9. Referencias

-
- [1] The ultimate Display, Ivan Sutherland, 1965 -
<http://worrydream.com/refs/Sutherland%20-%20The%20Ultimate%20Display.pdf>
- [2] Casco de realidad virtual, Imagen -
http://resumbrae.com/ub/dms423_f08/06/sutherland-hmd.jpg
- [3] Estereoscopio, Imagen - <http://www.pisitoenmadrid.com/blog/wp-content/uploads/2010/07/estereoscopio.jpg>
- [4] Anaglifo, Imagen -
http://i357.photobucket.com/albums/oo15/FLGROBBIN/3D%20Fotos/SANTILLANA%203D/SANTILLANA3D_001.jpg
- [5] sensorama, Imagen - <http://proyectoidis.org/wp-content/uploads/2013/07/sensorama02.jpg>
- [6] Primer holograma, Imagen - <http://www.holophile.com/images/train1.jpg>
- [7] Sayre Gloves, Imagen - <https://design.osu.edu/carlson/history/images/small/grimes-glove.jpg>
- [8] SEGA Subroc - 3D, Imagen -
http://1.bp.blogspot.com/_ek920se5fm0/Sw1ok0xSjtI/AAAAAAAAABo/378v8ncYghs/s1600/subroc+3d.jpg
- [9] Famicom 3D System, Imagen -
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2d/Famicom_3d_system.jpg
- [10] SEGA 3-D Glasses, Imagen -
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/Sega-Masters-Sys-3D-Glasses.jpg>
- [11] Virtual Boy, Imagen -
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/97/Virtual_Boy_IMG_1661.jpg
- [12] OCULUS RIFT: DK1 VS DK2. Especificaciones Oculus Rift DK1 -
<http://in2gpu.com/2014/08/10/oculus-rift-dk1-vs-dk2/>
- [13] Oculus Rift DK1, Imagen - <https://dbvc4uanumi2d.cloudfront.net/cdn/4.3.16/wp-content/themes/oculus/img/order/dk1-product.jpg>
- [14] Oculus Rift DK2, especificaciones - <https://www.oculus.com/dk2/>

- [15] Screen Door Effect, características - <http://www.hifi-writer.com/he/video/screendoor.htm>
- [16] Oculus Rift DK2, Imagen - <http://cdn.arstechnica.net/wp-content/uploads/2014/03/0776.jpg>
- [17] Project Morpheus, especificaciones - <http://www.theverge.com/2014/3/21/5533914/spec-sheet-sonys-project-morpheus-takes-on-oculus-rift>
- [18] Project Morpheus, Imagen - http://i13d.3djuegos.com/juegos/10822/project_morpheus/fotos/maestras/project_morpheus-2496572.jpg
- [19] Archos VR Glasses, especificaciones - http://www.elotrolado.net/noticia_archos-vr-glasses-realidad-virtual-movil-por-29-99-euros_25192
- [20] Archos VR Glasses, Imagen - http://images.elotrolado.net/news3/8/a/2/171014104758_0.jpg
- [21] Samsung Galaxy Gear, especificaciones - <http://www.theverge.com/2014/12/31/7474107/samsung-oculus-gear-vr-beta-review>
- [22] Samsung Galaxy Gear, Imagen - <http://cnet2.cbsistatic.com/hub/i/r/2014/09/02/9b0793fa-60a8-4e14-a199-90ee09f30a14/thumbnail/770x433/68588a3638a96daf572dd8fcbdc41c9/samsung-gear-vr-product-photos10.jpg>
- [23] Razer Hydra, Imagen - http://me.ign.com/sm/ign_me/screenshot/w/win-a-razer-hydra-motion-controller/win-a-razer-hydra-motion-controller_2ubw.jpg
- [24] STEM Systems, Imagen - <http://i.imgur.com/2fW00Nf.png>
- [25] PS3 Move Controller, Imagen - <http://www.wizdealz.com/wp-content/uploads/2013/02/Sony-Playstation-Move-Motion-Controller.png>
- [26] Kinect, primera versión, Imagen - <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fe/KinectSensor.png>
- [27] Kinect, segunda versión para PC, Imagen - http://blogs.msdn.com/cfs-filessystemfile.ashx/_key/communityserver-components-



imagefileviewer/communityserver-blogs-components-weblogfiles-00-00-01-49-
02/0574.v2_2D00_sensor_5F00_503px.jpg_2D00_503x0.jpg

[28] Intel RealSense, imagen - <http://intelrealsense.bemyapp.com/images/creative-cam.png>

[29] Perception Neuron, especificaciones y imágenes - <https://www.kickstarter.com/projects/1663270989/project-perception-neuron>

[30] Imagen In-game Murderer Soul Suspect - http://img4.meristation.com/files/imagenes/juegos/360/adventure/murdered_soul_suspect/1370631737-murdered-soul-suspect-5.jpg

[31] Imagen In-Game Ryse: Sons of Rome - <http://i.imgur.com/R7nEDmj.jpg>

[32] Sistema D'Vinci, Imagen - http://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/medicosycentros/hospital_zarzuela/cirugia-robotica/Preguntas/index.html

[33] Página principal PlayMedic - <http://www.playmedic.com/aplicaciones-medicina-y-salud/>

[34] Hospital Perpetuo Socorro, utilización de las Google Glass y las Oculus Rift para retransmitir una artroscopia, artículo - <http://www.digitalavmagazine.com/2014/07/15/el-hospital-perpetuo-socorro-utiliza-las-google-glass-y-oculus-rift-para-retransmitir-una-artroscopia/>

[35] Scientists find virtual reality helps relieve pain, artículo - <http://www.reuters.com/article/2009/09/15/us-pain-virtual-tech-life-idUSTRE58E3RJ20090915>

[36] Biomecánica del Hombro, por QUIROCA27, Agosto de 2014, imágenes - <http://www.memorizar.com/tarjetas/biomecanica-iii-4956409>

[37] Estereoscopia o Visión en 3D <http://sophia.javeriana.edu.co/~cbustaca/Realidad%20Virtual/material/clase14/estereoscopia.pdf>

[38] Ejemplo de la separación de la imagen en Oculus Rift, imagen - <http://www.hypergridbusiness.com/wp-content/uploads/2013/08/Ahern-Welcome-Area-with-Oculus-Rift.png>



- [39] Seis grados de libertad, definición -
http://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_freedom
- [40] Grados de libertad, imagen. Oculus Developer Guide, página 21 -
<https://developer.oculus.com/documentation/>
- [41] Imágenes del despiece de un Oculus Rift -
<https://www.ifixit.com/Teardown/Oculus+Rift+Development+Kit+2+Teardown/27613>
- [42] Especificaciones técnicas Intel RealSense, SDK Design
<https://software.intel.com/sites/default/files/managed/0b/0a/RealSenseSDKdesignGuidelinesGold.pdf>
- [43] Real Decreto 1591/2009 de 16 de octubre -
<http://sid.usal.es/idocs/F3/LYN14832/14832.pdf>
- [44] Unity API - <http://docs.unity3d.com/ScriptReference/>
- [45] SDK Desing, página 7, Imagen del esqueleto obtenido por Unity -
<https://software.intel.com/sites/default/files/managed/0b/0a/RealSenseSDKdesignGuidelinesGold.pdf>
- [46] Fisiología Articular , A.I. Kapandji, 6ª Edición, Capítulo 1, Páginas 2-74, Miembro superior- El hombro.
- [47] Sueldo programador Junior, a día 20 de febrero de 2014 -
<http://www.infojobs.net/barcelona/project-manager-partner-alignment-deployment/of-i22ba49d0d548f190b88d7b0ce58ed8>
- [48] Sueldo programador Senior, a día 20 de febrero de 2014 -
<http://www.infojobs.net/barcelona/programador-senior-javascript-node-angularjs/of-idd1f1eef541c38db59ccbd8110e63>
- [49] Sueldo programador Senior, a día 20 de febrero de 2014 -
<https://www.infojobs.net/terrassa/ingeniero-telecomunicaciones-telematica/of-i98f88b19ab4b058cf4f70d24efc691>
- [50] Unity 3D Licencia precio de licencia PRO - <https://store.unity3d.com/es>
- [51] Office 365 Estudiantes precio licencia -
http://www.microsoftstore.com/store/mseea/es_ES/pdp/Office-365-Universitarios/productID.263156100



[52] Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal - http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/lo15-1999.html

[53] Cinesiterapia Pasiva y Activa, conceptos y tipos - <http://bernal.pro/fisio/fisioposiciones/finish/4-oposiciones-de-fisioterapia/21-19-cinesiterapia-pasiva-y-activa>

[54] Propiocepción, definición - <http://es.wikipedia.org/wiki/Propiocepci%C3%B3n>

[55] Ensayos clínicos en hombros con cinesioterapia - <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14595480>

[56] Efectos de rehabilitación durante 4 semanas, Sajjad Rowshani, Afshin Moghaddasi, Maryam Abbasi, Amir Abdol-Mohammadi, Shahram Ahanjan - http://salmandj.uswr.ac.ir/browse.php?a_id=268&sid=1&slc_lang=en



10. Anexos

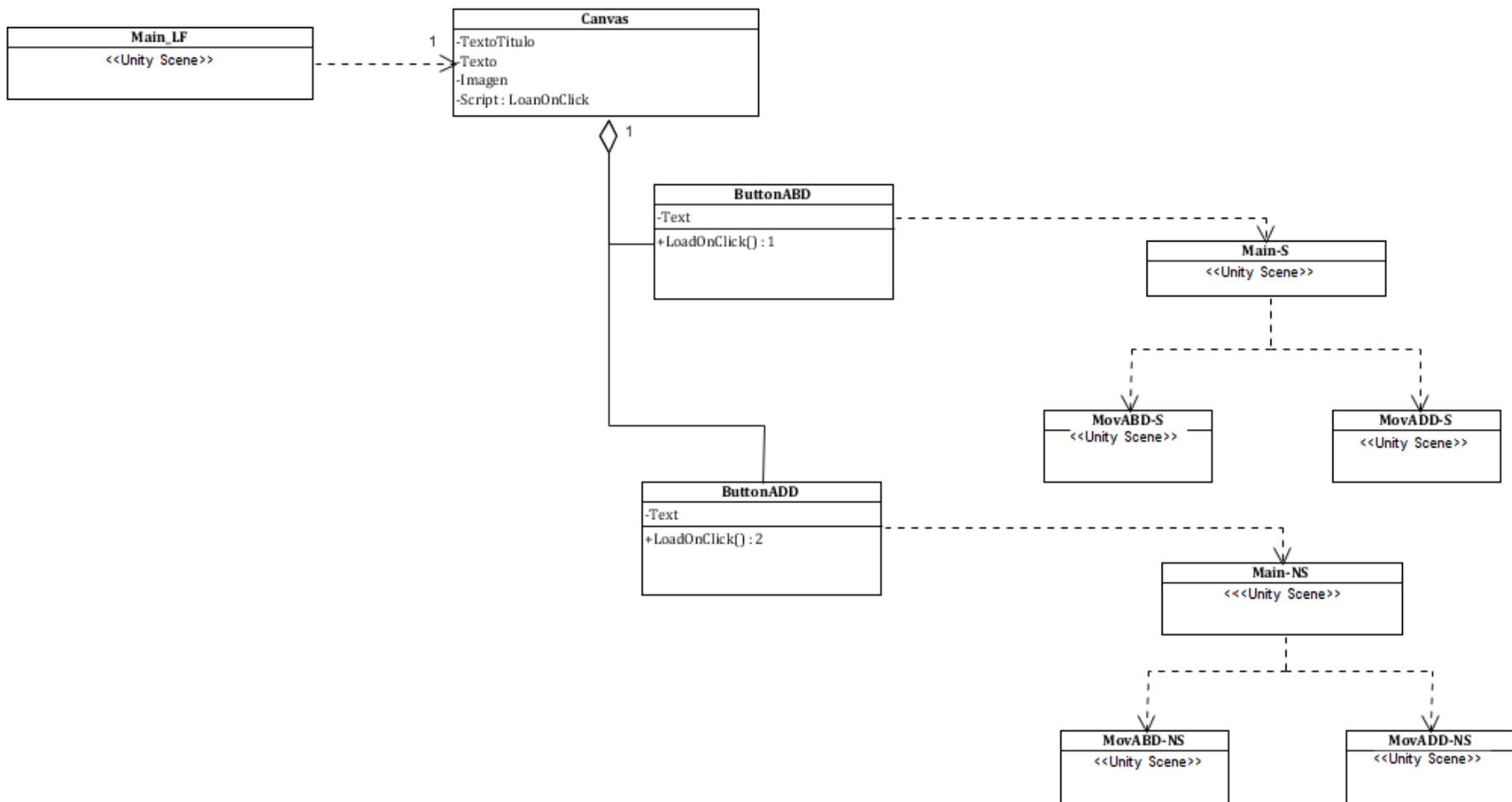


Ilustración 58: Diagrama de clases Menú - Inicio

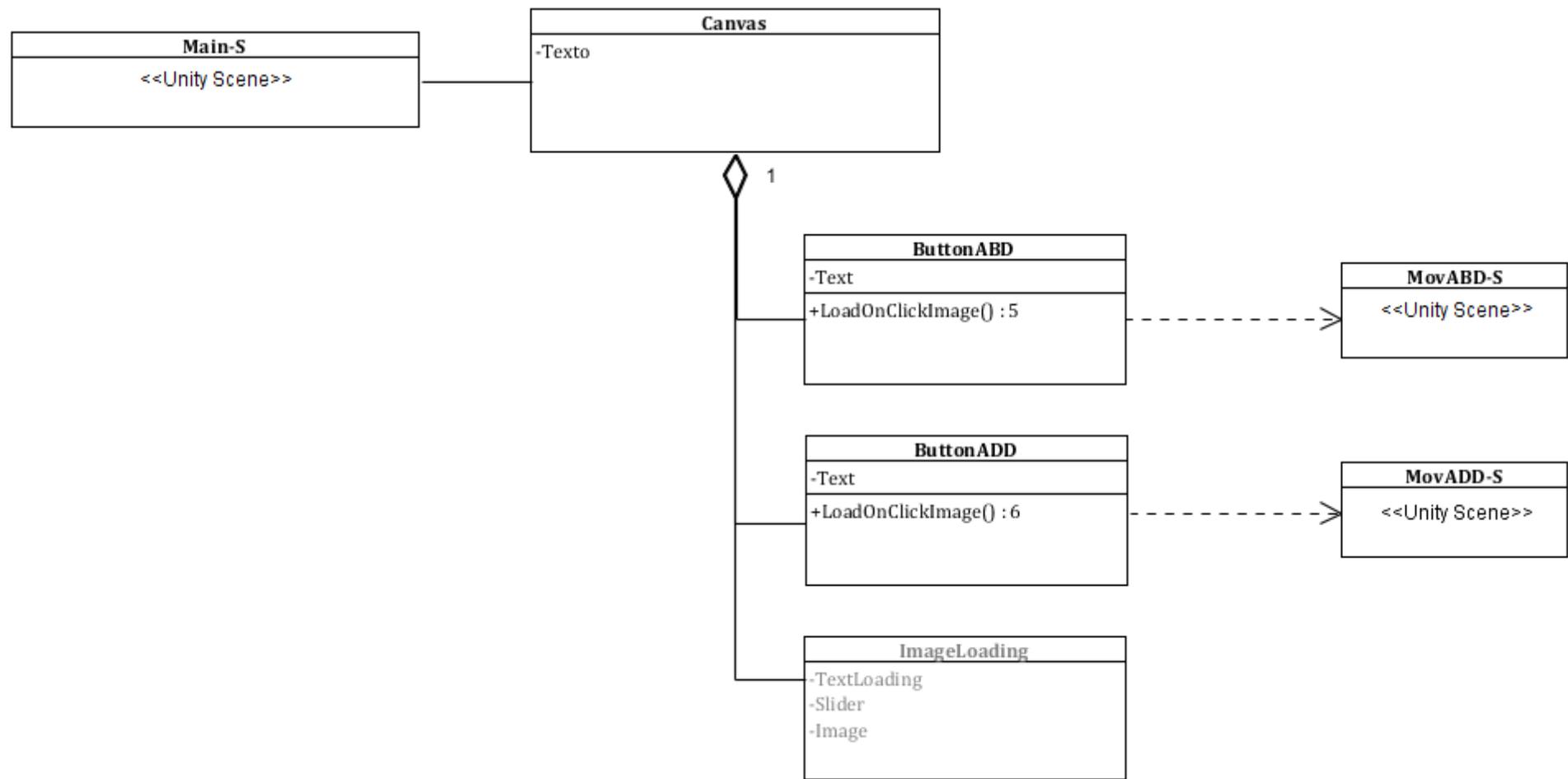


Ilustración 59: Diagrama de clases Menú - Supervisado

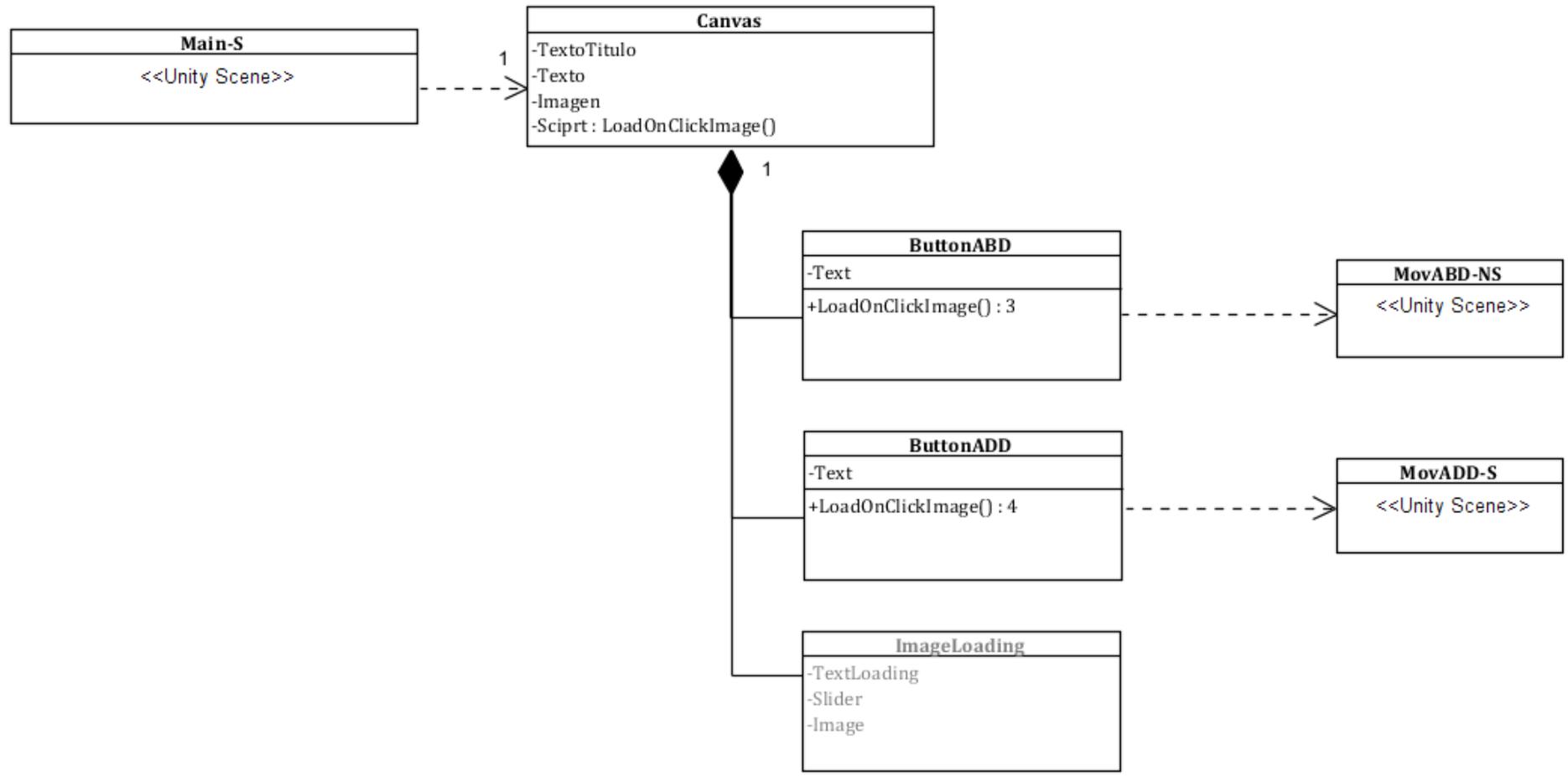


Ilustración 60: Diagrama de clases Menú No Supervisado

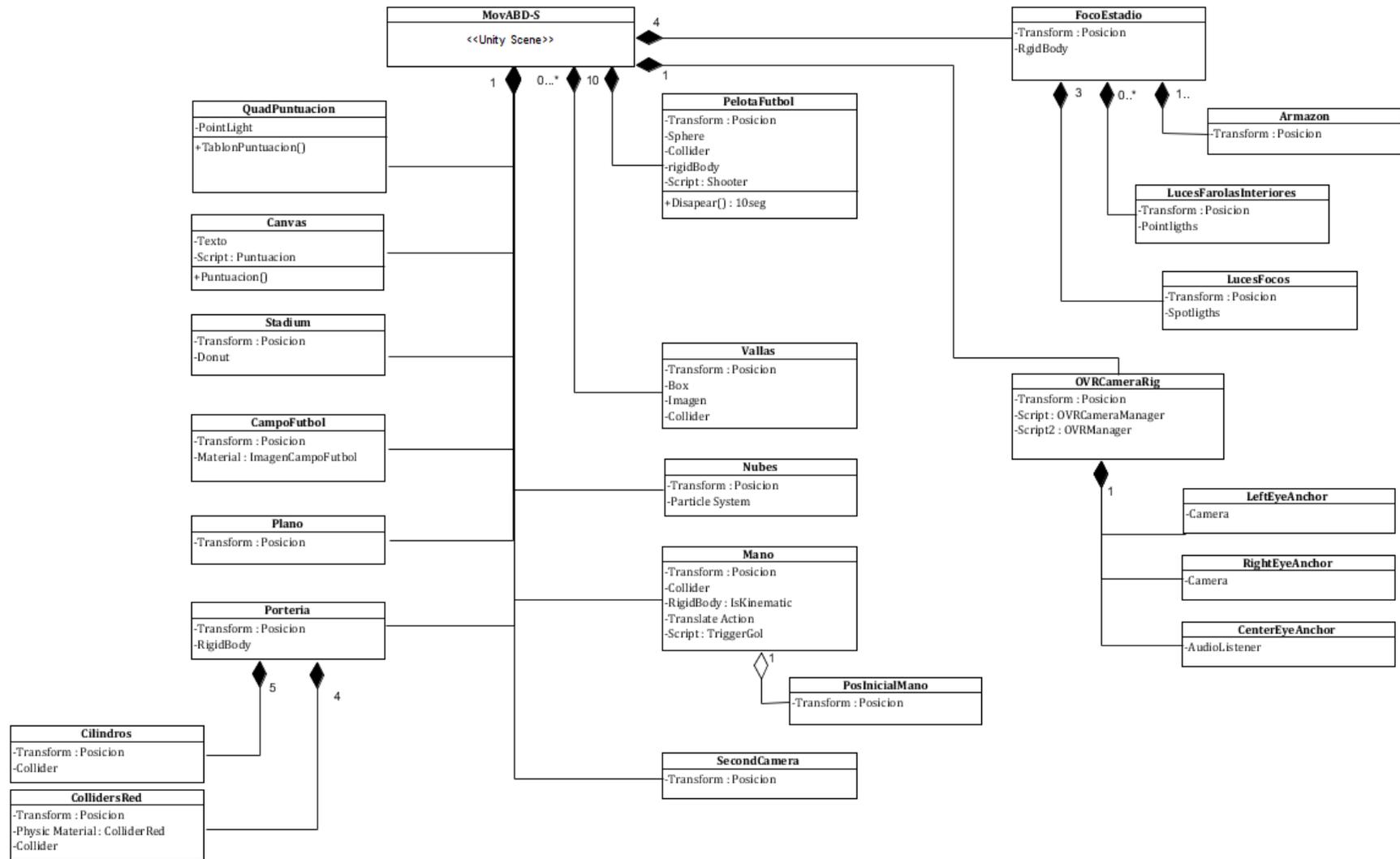


Ilustración 61: Diagrama de clases sesión Mov ABD/ADD Supervisado

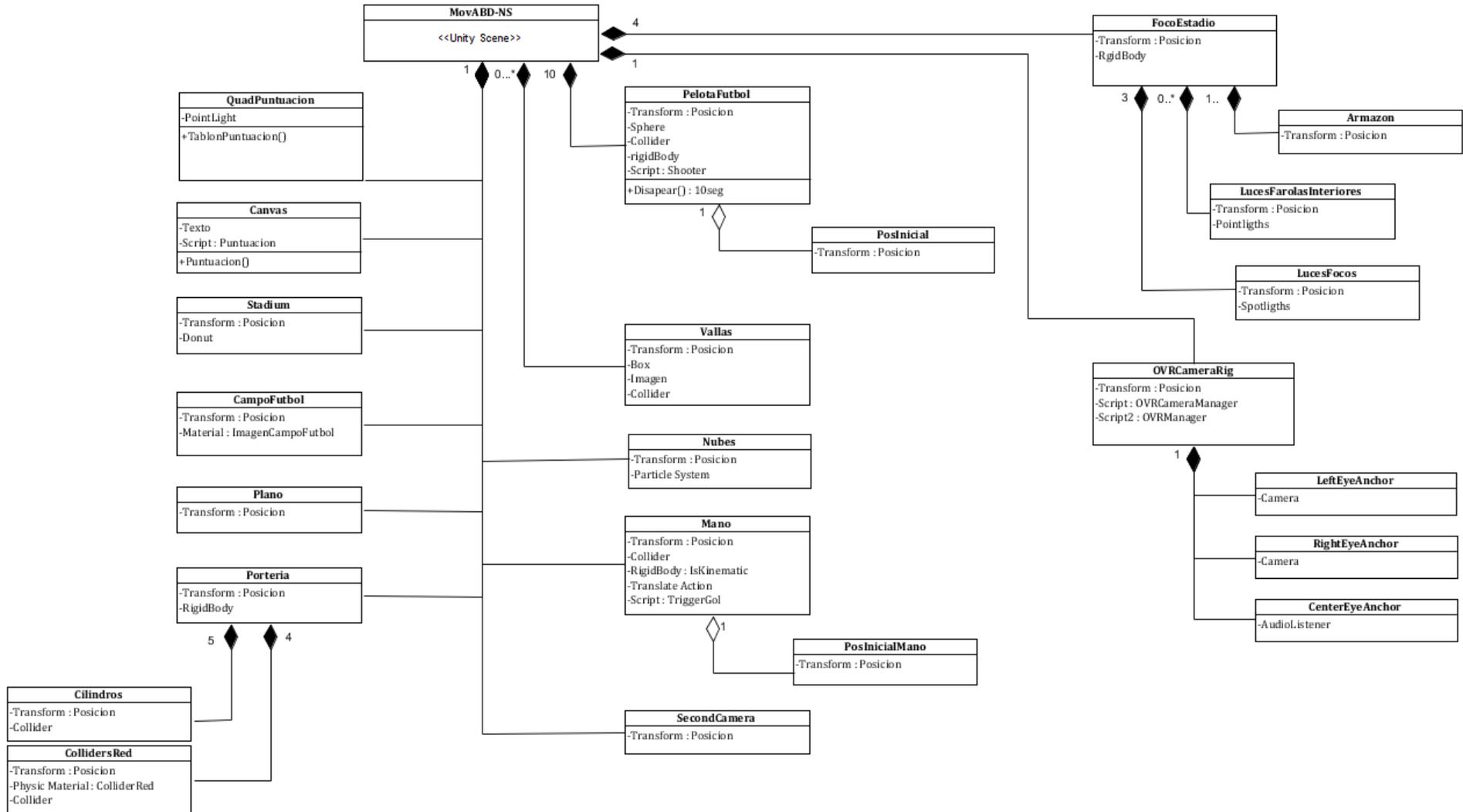


Ilustración 62: Diagrama de clases sesión Mov ABD/ADD No Supervisado

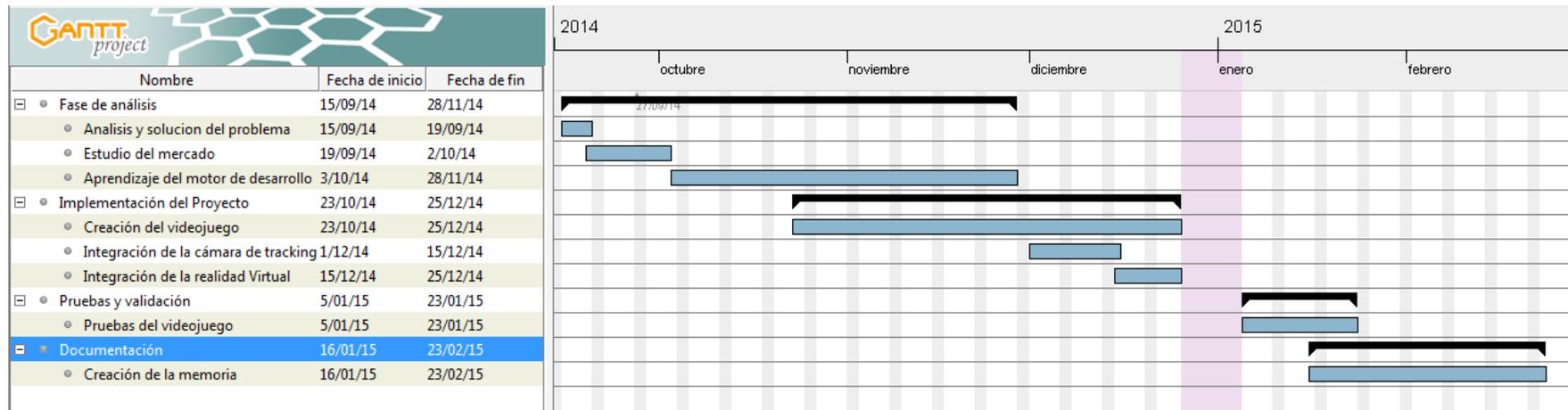


Ilustración 63: Planificación Inicial

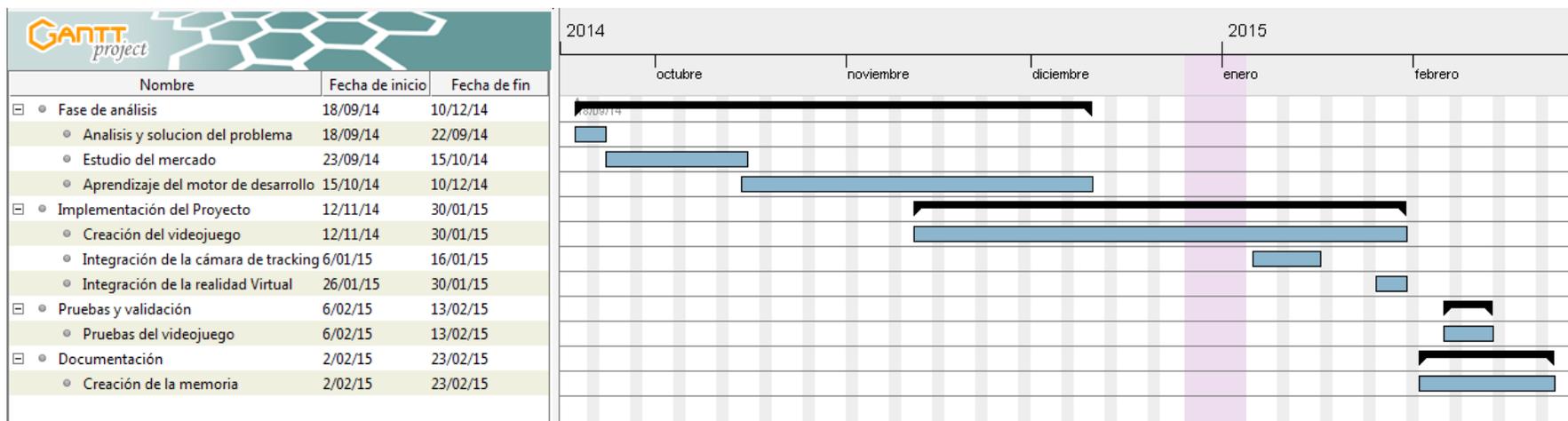


Ilustración 64: Planificación real

