



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Diseño e implementación de una sala de escape  
virtual interactiva  
Design and implementation of an interactive virtual  
escape room

Autor/es

**Adrián López Sancho**

Director/es

**José Ramón Beltrán Blázquez**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2017





DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. Adrián López Sancho

con nº de DNI 72990098N en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado \_\_\_\_\_, (Título del Trabajo) Diseño e implementación de una sala de escape virtual interactiva.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 23 de Noviembre de 2017

Fdo: Adrián López Sancho



<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Motivación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Estructura de la memoria.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Estado del arte .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Conceptos .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Vocabulario.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Tecnologías disponibles .....</b>	<b>13</b>
2.3.1 Software de desarrollo de contenido .....	13
2.3.2 Hardware de proyección de contenido audiovisual .....	13
2.3.3 Hardware de gestión de contenido audiovisual .....	14
2.3.3.1 Ordenador especializado para videojuegos (“gaming”) .....	14
2.3.3.2 Ordenador y matriz de vídeo.....	14
2.3.3.3 Sistema distribuido .....	14
2.3.4 Hardware de interacción audiovisual .....	15
2.3.4.1 Detector de cuerpo y voz (Kinect de Microsoft).....	15
2.3.4.2 Mando inalámbrico con sensores de movimiento (Wii Motion).....	16
<b>2.4 Situación actual .....</b>	<b>17</b>
<b>3 Desarrollo hardware.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Hardware de proyección audiovisual.....</b>	<b>19</b>
3.1.1 Requisitos, prestaciones e inversión necesaria .....	19
3.1.2 Desarrollo de la solución .....	20
<b>3.2 Hardware de gestión audiovisual .....</b>	<b>24</b>
3.2.1 Requisitos, prestaciones e inversión necesaria .....	24
3.2.2 Desarrollo de la solución .....	24
<b>3.3 Hardware de interacción.....</b>	<b>27</b>
3.3.1 Requisitos, prestaciones e inversión necesaria .....	27
3.3.2 Desarrollo de la solución .....	28
<b>3.4 Solución hardware.....</b>	<b>30</b>
3.4.1 Presupuesto.....	31
3.4.2 Planos de instalación .....	32
<b>4 Desarrollo software .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Gestión de la proyección audiovisual .....</b>	<b>33</b>
4.1.1 Desarrollo .....	33
<b>4.2 Software de interacción (prototipos).....</b>	<b>36</b>
4.2.1 Kinect.....	36
4.2.2 Mando wii.....	37
<b>4.3 Prueba de usabilidad .....</b>	<b>38</b>

4.3.1	Objetivo y público.....	38
4.3.2	Pruebas.....	38
4.3.3	Preguntas posteriores y resultados.....	39
4.3.4	Conclusiones.....	39
<b>4.4</b>	<b>Software de interacción (desarrollo avanzado).....</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>41</b>
5.1	Hardware de proyección.....	41
5.2	Hardware de gestión.....	41
5.3	Métodos de interacción.....	41
<b>6</b>	<b>Trabajo futuro.....</b>	<b>43</b>
6.1	Software de gestión.....	43
6.2	Estudio de sistemas operativos.....	43
6.3	Hardware de gestión.....	44
6.4	Hardware de interacción.....	44
	<b>Referencias.....</b>	<b>45</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>47</b>
I.	Lenguajes de programación empleados.....	47
II.	Softwares empleados.....	47
III.	Conceptos y vocabulario.....	48
	Resolución.....	48
IV.	Hardware de muestra de contenido audiovisual.....	49
	Gafas de realidad virtual.....	49
	Pantallas.....	50
V.	Detalles de hardware de interacción.....	51
	Mesas o torres interactivas.....	51
	Requisitos mínimos del hardware de Kinect.....	51
VI.	Detalles del software de interacción.....	52
VII.	Resoluciones estándar.....	53
VIII.	Herramientas de cálculo.....	54
	Cálculo de distancia de visión y tamaño de pixel.....	54
	Cálculo de características de una pantalla.....	54
IX.	Comparación de presupuestos de equipamiento.....	55

# Introducción

La tecnología evoluciona constantemente creando herramientas especializadas en diferentes ámbitos. El ámbito tecnológico en el que se ha orientado este proyecto no es otro que el estudio y uso de herramientas tecnológicas en el mundo audiovisual y del entretenimiento.

Aprovechando un tipo de actividad cuya popularidad está creciendo, las salas de escape, se ha desarrollado este proyecto sobre cómo, qué herramientas tecnológicas podrían emplearse y qué cualidades aportan cada una de ellas para llevar a desarrollar un símil virtual de las instalaciones que desarrollan estas salas de escape.

Como concepto principal, una sala de escape (en inglés *escape room*), es una actividad cuyo objetivo es encontrar o desbloquear la salida de un espacio cerrado siguiendo pistas y resolviendo enigmas y pruebas con un tema central. Podemos observar en la figura 1 un ejemplo de una instalación real.



Figura 1. Imagen de una sala de escape. [1]

Para lograr este símil, desarrollaremos una instalación audiovisual interactiva. Este tipo de instalaciones se basan en dos elementos principales: el método de proyección del contenido audiovisual y el método de interacción del usuario con dicho contenido.

En este proyecto se estudiarán diferentes metodologías de desarrollo tanto hardware como software para cada uno de los elementos principales. Se analizarán las ventajas y desventajas de cada una de ellas y se tomarán decisiones sobre qué solución desarrollar.

Posteriormente se justificarán las diferentes fases del desarrollo y las conclusiones que se han obtenido acompañadas de resultados de algunas pruebas de usabilidad.





## 1.1 Motivación

La idea de este proyecto parte de una asignatura de la titulación, Sistemas Electrónicos de Audio y Vídeo (SEAV)[2], en la que, como trabajo reglado de asignatura se propuso el desarrollo de un prototipo de sala de escape virtual. En dicho trabajo se empleó el software de desarrollo de contenido audiovisual “*openFrameworks*”[3] y la *Kinect* de *Microsoft*[4] como método de interacción del usuario.

Como podemos apreciar en la figura 2, se adquirió una estructura de aluminio con telas blancas translúcidas que permitieran realizar una proyección trasera, retroproyección. Dichas telas tienen 2m. de altura por dos 2,5m. de anchura. La estructura total simula el entorno cerrado de equivalente a una sala de escape de 2,3 metros de altura y 6,25 metros cuadrados de superficie (2,5 metros de ancho por 2,5 metros de largo).

Tras el desarrollo software y una instalación hardware se realizaron una serie de pruebas de usabilidad para conocer la opinión sobre las prestaciones. Los detalles técnicos de esta instalación están desarrollados en apartados posteriores tras explicar una serie de conceptos.

Después de este periodo, se planteó la opción de mejorar las prestaciones de dicha instalación analizando distintas tecnologías y su coste. Además de desarrollar una serie de documentos y ficheros de código que ampliaran los usos de esta instalación para usarla, por ejemplo, como una herramienta de ayuda en la docencia.



Figura 2. Prototipo de sala de escape de la asignatura de SEAV.

## 1.2 Objetivos

Como objetivo principal de este proyecto se propuso el desarrollo una instalación audiovisual interactiva que simule una sala de escape real. Para ello sería necesario definir un hardware así como implementar el software pertinente.

En el planteamiento de las pautas a seguir, nos dimos cuenta de que de forma previa al desarrollo, era necesario realizar una fase previa de estudio y análisis de las diferentes soluciones hardware y software sin el cual no era razonable alcanzar el objetivo principal.

De este modo se establecieron dos objetivos principales, analizar las tecnologías y desarrollar una solución con respecto a una selección crítica.

Como objetivos secundarios del proyecto, se espera adquirir y/o afianzar una serie de conocimientos relevantes relacionados con el mundo audiovisual, tanto en el aspecto de equipamiento como el ámbito de herramientas software de desarrollo y gestión de contenido audiovisual interactivo.

Para lograr de forma correcta el desarrollo del proyecto será necesario alcanzar una serie de habilidades de búsqueda y análisis en profundidad de diferentes sistemas, capacidad compararlos de forma objetiva con respecto a unos criterios y ser capaz de fijar dichos criterios escogiendo los más relevantes.

Con el fin de poder realizar comparaciones entre las diferentes propuestas, estableceremos como referencia la solución llevada a cabo en la asignatura de Sistemas Electrónicos de Audio y Vídeo (SEAV) que se ha nombrado en el apartado anterior de la memoria y cuyos detalles serán descritos más adelante.

Planificamos las diferentes fases del proyecto con el propósito de seguir el cronograma que podemos ver en la tabla 1.

Fases del proyecto:

0. Elaboración de la propuesta.
1. Búsqueda, adquisición y estudio de conceptos relevantes en instalaciones audiovisuales.
2. Planteamiento y análisis de tecnologías y necesidades hardware:
  - 2.1. Muestra de contenido audiovisual.
  - 2.2. Gestión de la proyección de contenido audiovisual.
  - 2.3. Herramientas de interacción.
3. Valoración, comparación y decisión de la solución hardware a desarrollar.
4. Desarrollo de una versión simple de contenido interactivo.
5. Desarrollo del hardware y software de gestión de la proyección audiovisual.
6. Desarrollo hardware y software de prototipos de métodos de interacción.
7. Pruebas de usabilidad.
8. Desarrollo avanzado de software de interacción.
9. Elaboración de la memoria.
10. Desarrollo del contenido completo.

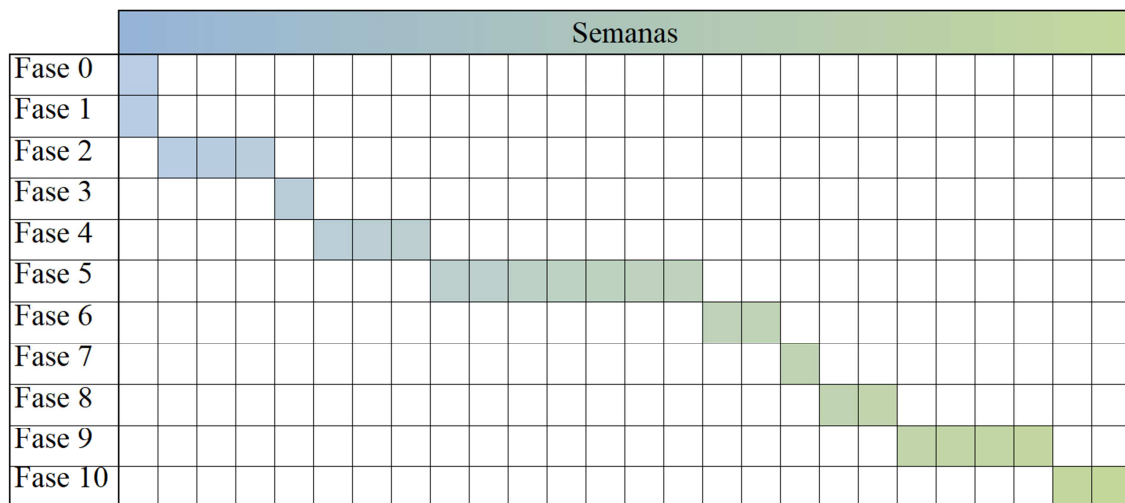


Tabla 1. Cronograma del proyecto en función de las fases de este.



## 1.3 Estructura de la memoria

En este apartado detallaremos la estructura de la memoria del proyecto y el motivo de dicha estructura.

Como primer capítulo de la memoria acorde con la primera fase del proyecto se ha redactado un capítulo que denominamos “*estado del arte*”. En él definiremos una serie de conceptos relevantes dentro del campo de desarrollo del proyecto y describiremos algunas tecnologías que a priori se consideraron relevantes para la instalación a desarrollar. Incluiremos también un detalle del punto de partida del proyecto.

A pesar de que el desarrollo de las fases del proyecto a lo largo del tiempo intercala hardware y software, hemos estructurado la memoria en un formato clásico agrupando las categorías. Por un lado el desarrollo hardware y el equipamiento de la instalación, y por otro el desarrollo software y las pruebas de usabilidad realizadas.

Una vez descrito el proyecto hemos incluido dos capítulos resumiendo las conclusiones que se han obtenido durante las fases del proyecto y una serie de tareas futuras a investigar a posteriori.

Finalmente incluimos los dos últimos capítulos de la memoria donde se detalla la bibliografía empleada y una serie de enlaces consultados y, finalmente, los anexos que se han considerado relevantes.



## 2 Estado del arte

En este capítulo definiremos una serie de conceptos importantes y vocabulario específico que emplearemos a lo largo de la memoria. Algunos de estos conceptos se definirán de forma breve en los próximos capítulos y de forma más específica en el anexo correspondiente. Posteriormente procederemos a describir las soluciones y herramientas tecnológicas planteadas en las que se ha basado el desarrollo del proyecto.

### 2.1 Conceptos

En este apartado definiremos una serie de conceptos importantes relacionados con el mundo audiovisual cuya comprensión es importante en el desarrollo del proyecto.

#### *Pixel*

*“Un pixel es la unidad mínima de una imagen digital y está presente en un inmensurable número para formar una imagen completa. Cada píxel es una unidad homogénea de color que en suma y con una importante variación de colores dan como resultado una imagen más o menos compleja. [...]”*[5]

#### *Realidad Virtual*

La realidad virtual se podría definir como un sistema informático que genera en tiempo real representaciones de la realidad. La similitud de esta representación con la realidad será mejor o peor dependiendo de la calidad del software. Por lo general se suelen emplear modelos 3D desarrollados de forma digital mostrados al usuario a través de una pantalla o una proyección.<sup>[6]</sup>

#### *Realidad Mixta*

La realidad mixta está considerada una progresión de la realidad virtual, pues incluye otro tipo de elementos que interactúan con el usuario de forma física. Este tipo de realidad permite al usuario tomar decisiones sobre el tipo de contenido que quiera ver, recibiendo una respuesta (feedback) física (visual, auditiva o mecánica) de manera que la proyección dependa de las acciones del usuario y no sea un contenido fijo como el de una película.<sup>[7]</sup>

#### *Resolución*

La resolución es el detalle que tiene una imagen en su formato original o el detalle con el que es capaz de mostrarla un determinado dispositivo. Este concepto va generalmente expresado en número de píxeles de ancho y alto, por ejemplo, 1024x768.<sup>[8]</sup>

#### *Relación de aspecto*

La relación de aspecto es la relación entre el número de píxeles de ancho y alto, bien de un contenido visual o bien de un equipo de proyección. Esta medida suele ser expresada como una relación entera, por ejemplo 4:3, o como un estándar que engloba la relación de aspecto con la resolución, dos conceptos íntimamente relacionados. XGA (Extended Graphics Array), por ejemplo define una relación de aspecto 4:3 con una resolución de 1024x768.<sup>[9]</sup>

## EDID

EDID (Extended Display Identification Data) es una estructura de datos proporcionada por un dispositivo de proyección digital (pantallas, proyectores o similares) en el que aporta información sobre el tipo de resoluciones, relaciones de aspecto y frecuencias de refresco que este display es capaz de soportar. Es un tipo de estructura compartida a través del bus HDMI de forma digital. Cuando se establece la primera conexión entre un equipo transmisor y otro receptor de contenido audiovisual a través del cable HDMI, hay un periodo previo a la transmisión de contenido en el que el display envía dicha información para que el emisor envíe el contenido con una resolución aceptada por el display. [9]

## Lumen /Lumen ANSI

Un lumen (lm) es la unidad del sistema internacional de medidas para medir el flujo luminoso, la potencia de luz emitida por una fuente.

En el ámbito de los proyectores, se suele hablar de Lumen ANSI (American National Standards Institute), dicho instituto ha creado un procedimiento para fijar un estándar de luminosidad realizando medidas en diferentes posiciones y calculando un valor medio. Los lúmenes se pueden calcular mediante el producto de los luxes (iluminancia de un lugar) por la superficie:  $\text{lum} = \text{lux} * \text{m}^2$ . [10]

## Tamaño de pixel:

Se entiende como tamaño de pixel cuadrado la longitud de uno de los lados expresada en milímetros, es una medida de referencia para comparar la resolución de una proyección o una pantalla y para calcular la distancia mínima con el usuario para que estos pixeles no sean detectados. El tamaño real se obtiene mediante a relación entre la longitud de un lado de la pantalla entre el número de pixeles que esté representando. La distancia mínima a la que es perceptible se puede calcular de forma aproximada a través del test de Snellen cuyo desarrollo concluye en la siguiente ecuación: [11][12]

$$\text{Distancia de visión}(m) = \frac{\text{Tamaño de pixel (mm)}}{2 * \tan(\pi * 5/2/60/180)} \quad [12]$$

Generamos a partir de la ecuación anterior una serie de valores de referencia, mostrados en la tabla 2, y emplearemos a lo largo del desarrollo.

Distancia	Tamaño de pixel(mm)	Distancia	Tamaño de pixel(mm)	Distancia	Tamaño de pixel(mm)
10m	14,54	5m	7,27	1,2m	1,75
9,5m	13,82	4,5m	6,54	1m	1,45
9m	13,09	4m	5,82	90cm	1,31
8,5m	12,36	3,5m	5,09	80cm	1,16
8m	11,64	3m	4,36	70cm	1,02
7,5m	10,91	2,5m	3,64	60cm	0,87
7m	10,18	2m	2,91	50cm	0,73
6,5m	9,45	1,8m	2,62	40cm	0,58
6m	8,73	1,6m	2,33	30cm	0,44
5,5m	8,00	1,4m	2,04	20cm	0,29

Tabla 2. Tamaño de pixel y distancia mínima para la percepción del ojo humano.



### *Pixeles por pulgada*

Los pixeles por pulgada (ppp), en inglés *pixels per inch* (ppi), es una medida que se emplea para describir el número de pixeles que tiene una pantalla o una proyección en el tamaño de una pulgada (2,54 centímetros). Esta medida depende de la resolución y suele emplearse como medida de comparación de proyecciones. Es importante no confundirla con los puntos por pulgada (ppp), en inglés *dots per inch* (dpi). Para evitar la confusión a lo largo de la memoria, haremos referencia a este concepto con las siglas en inglés. Podemos ver en la figura 3 un ejemplo de la diferencia entre estos dos conceptos. A la izquierda pixeles por pulgada, a la derecha puntos por pulgada.

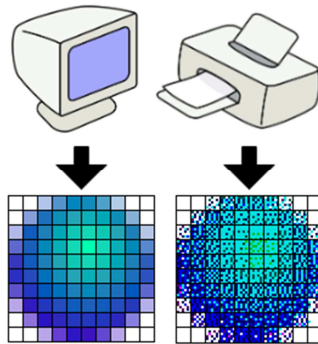


Figura 3. Diferencia entre pixeles por pulgada y puntos por pulgada.[13]

Esta medida se calcula de forma simple con la relación entre el número de pixeles de un lado y la longitud de este en pulgadas:  $ppi = \frac{\text{pixeles de alto de la pantalla}}{\text{altura de la pantalla en pulgadas}}$

### *Puntos por pulgada*

Los puntos por pulgada (ppp), en inglés *dots per inch*(dpi) es una medida de resolución de impresión de imagen que expresa el número de puntos individuales que una impresora puede producir en un espacio lineal de una pulgada. Es importante no confundir este concepto con pixeles por pulgada (ppp), en inglés *pixels per inch* (ppi). [14]

### *Blending*

El *blending* (en español mezcla) hace referencia a una técnica software empleada en el ámbito audiovisual para mostrar una un único contenido mediante la superposición de varias proyecciones de cierta dimensión para lograr una proyección de mayores dimensiones.

Por ejemplo, para cubrir una superficie con una resolución de 3500x1080 se emplearían dos proyectores con una resolución de 1920x1080. En caso de ponerlos de forma consecutiva se obtendría una resolución de 3840x1080, más de lo necesario. Para poder realizar una proyección de forma correcta, en el espacio central (3840-3500 = 340 pixeles) ambos proyectores tendrían que emitir la mitad de potencia lumínica para que la proyección tuviera una emisión de luz uniforme. Podemos observar este efecto en la figura 4.

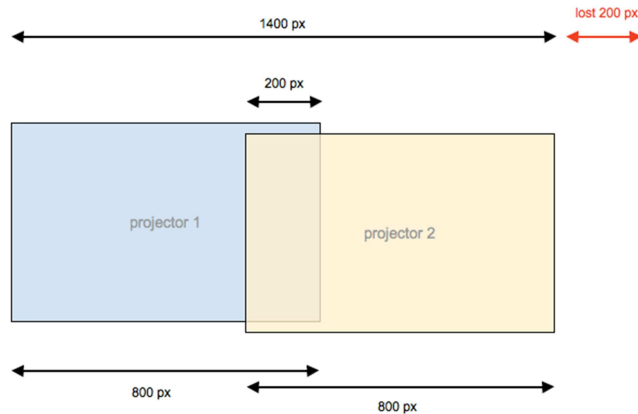


Figura 4. Ejemplo de *blending*. [15]

## 2.2 Vocabulario

En este apartado definiremos de forma breve un vocabulario que emplearemos en formato de siglas a lo largo de la memoria y cuya definición no requiere tanto detalle.

Sistema operativo (SO): Conjunto de programas destinado a administrar y compartir los recursos de un sistema de cómputo. [16]

Video Graphics Array (VGA): estándar de vídeo analógico.

High-Definition Multimedia Interface (HDMI): estándar de vídeo digital.

Application Programming Interface (API): conjunto de procesos, funciones y métodos de una librería de programación. [17]

Software Development Kit (SDK): conjunto de herramientas que permiten crear aplicaciones para un determinado software o hardware. [18]

ARM: arquitectura de procesadores que funciona con 32 bits diseñados generalmente para consumir la menor energía posible. [19]

Display: Equipo hardware cuya funcionalidad es mostrar un contenido visual.

## 2.3 Tecnologías disponibles

En este apartado, enfocado hacia el objetivo del análisis de las tecnologías, definiremos una serie de herramientas, técnicas y equipos que popularmente se emplean en instalaciones audiovisuales. Este conjunto delimitado de software y hardware será el objeto de nuestro estudio para combinarlas con el objetivo de desarrollar el producto en cuestión, el entorno interactivo.

### 2.3.1 Software de desarrollo de contenido

Existe una gran variedad de programas para el desarrollo de contenido audiovisual interactivo, *openFrameworks* y *Unity* son dos de ellos, popularmente conocidos y con una gran variedad de librerías. [20]

*OpenFrameworks* es un conjunto de herramientas que emplea C++ como lenguaje de programación y que emplea Visual Studio como uno de sus entornos de desarrollo. Es un tipo de software multimedia orientado a 2D aunque soporta contenido 3D.

Unity es un entorno de desarrollo que emplea C# o JavaScript como lenguaje de programación y está más orientado al diseño e inclusión de modelos 3D. Tiene además diferentes SDK para adaptar los contenidos desarrollados para diferentes sistemas operativos.

### 2.3.2 Hardware de proyección de contenido audiovisual

Hay un gran abanico de dispositivos para mostrar contenidos audiovisuales, a continuación explicaremos en qué consisten algunos de los más comparables o del mismo tipo que la instalación de partida.

Dado que el objetivo es crear un sistema que simule de la manera más parecida posible una sala de escape real, al igual que en el punto de partida, planteamos la opción de crear o emplear un espacio cerrado en el que incluir en las paredes pantallas o proyecciones de manera que se mantenga la sensación de estar encerrado al igual que en la actividad real.

Para el desarrollo de este planteamiento existen tres variantes a considerar, pantallas de visualización, pantallas interactivas y video proyectores.

Para las dos primeras opciones existiría la opción de adquirir una única pantalla de grandes dimensiones así como la opción de desarrollar un VideoWall, esto consiste, como se aprecia en la figura 5, en cubrir una pared de gran dimensión con pantallas más pequeñas hasta lograr cubrir el espacio total deseado.



Figura 5. Hardware de proyección: VideoWall.

Los vídeo proyectores, como su propio nombre indica, son unos dispositivos de proyección de imagen o vídeo sobre una superficie, plana o no. Para poder desarrollar este sistema sería necesario contar también con la superficie de proyección. Para nuestra aplicación sería necesario un equipo capaz de realizar una proyección invertida o retroproyección y una superficie translúcida pensada para este tipo de proyección.

Para comparar las prestaciones de equipos, tanto entre equipos del mismo tipo como con otras tecnologías, es necesario conocer las dimensiones del espacio a cubrir y fijar unos criterios de comparación adaptables a cada tipo de instalación.

En el caso de nuestra instalación, necesitaremos buscar en las correspondientes hojas de características las siguientes prestaciones: resolución, relación de aspecto, ppi potencia necesaria y por último, pero no menos importante, la inversión económica necesaria.

### **2.3.3 Hardware de gestión de contenido audiovisual**

Además de elegir el hardware de muestra de contenido audiovisual, hay que tener en cuenta qué equipamiento es necesario para gestionar la proyección del contenido audiovisual.

En este aspecto existen muchas variantes profesionales y equipos desarrollados de forma específica para instalaciones audiovisuales de grandes dimensiones que podrían plantearse, la inversión económica necesaria sin embargo es elevada. Plantearemos pues tres posibles soluciones con equipamiento menos específico pero capaz de lograr los objetivos de la instalación.

#### **2.3.3.1 Ordenador especializado para videojuegos (“gaming”)**

La primera de las tres opciones planteadas es la de adquirir un único ordenador dentro de la gama especializada en videojuegos. Este tipo de ordenadores cuenta con un procesador de alta gama además de tarjetas gráficas diseñadas para ejecutar el modelado 3D en tiempo real. Sería necesario, para nuestro proyecto, que dicho ordenador tuviera una salida para una pantalla de control y tres salidas de tarjeta gráfica de gama media-alta para mostrar el contenido en las tres paredes desde este único equipo. Además, este equipo debería encargarse de la gestión de la interacción de los usuarios.

#### **2.3.3.2 Ordenador y matriz de vídeo**

La segunda opción plantea una solución similar a la anterior. En este caso, no sería necesario adquirir un ordenador especializado para videojuegos, en principio podría valer cualquier ordenador de gama media-alta.

Sería necesario también adquirir una matriz de enrutamiento de vídeo, algunos modelos de este tipo de dispositivos permite generar diferentes salidas desde una única entrada. Un sistema equivalente al de un VideoWall pero, en este caso, con menos salidas necesarias.

#### **2.3.3.3 Sistema distribuido**

Como tercera y última opción se plantea la posibilidad de diseñar y desarrollar un sistema distribuido con un equipo de gama media como gestor de la interacción de los usuarios (Maestro o *Master*) y tres dispositivos de gama media-baja o baja (Obreros o *Workers*) que reciban instrucciones o el contenido a través de la red y lo envíen el contenido al equipo de proyección elegido.

Esta solución, como su propio nombre indica, distribuye las diferentes tareas ampliando la gama de equipos que se puedan centrar en una única tarea abaratando los costes innecesarios de un único dispositivo multitarea. Existe una extensa variedad de productos y equipos que podrían realizar la tarea de Workers, sin embargo el objetivo del proyecto no es el estudio de todos y cada uno de ellos. Por ello definimos este equipo de forma previa de entre muchas opciones buscando una buena relación prestaciones-inversión.

El dispositivo es la Raspberry Pi, un pequeño ordenador de unos 9x6 cm con una placa base simple y una serie de periféricos como puertos USB, salida de audio MJack 3.4mm y HDMI alimentado a 5V. Este pequeño equipo admite diferentes OS y está pensado para el desarrollo de software libre además de tener una gran comunidad y aportes. Uno de los modelos actuales y recientes, Raspberry Pi 3, tiene un coste aproximado de unos 40€. [21]

Una de las diferencias de este modelo con respecto a los anteriores, la cual nos es más relevante, es un avance en cuanto al procesador. Además de aumentar la velocidad de éste, contiene un procesador ARM capaz de soportar modelos 3D y contenido audiovisual de mejor calidad que las anteriores versiones. Podemos ver un ejemplo de este dispositivo en la figura 6.

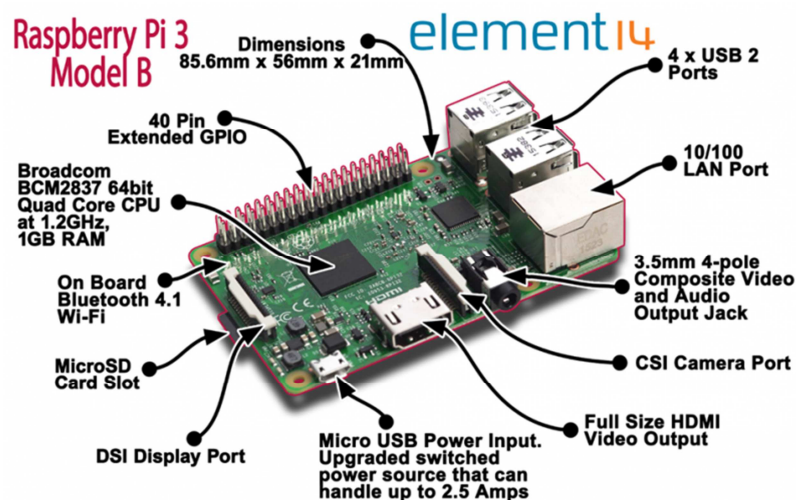


Figura 6. Hardware de gestión: Raspberry Pi. [22]

Existen otros dispositivos similares a Raspberry Pi dentro de la misma gama, sin embargo, dada la comunidad existente, soportes en la red, y prestaciones relativas al ámbito audiovisual este sería el más recomendable.

### 2.3.4 Hardware de interacción audiovisual

Una vez cubierto el apartado de muestra de contenido, es necesario analizar herramientas, equipos y metodologías de interacción entre los usuarios y el entorno audiovisual.

De forma equivalente a otros apartados, existe también un gran abanico de alternativas con diferentes combinaciones de sensores en una carcasa que podríamos emplear como método de interacción. Con una variedad de usuarios indefinida, se han escogido opciones con las que estén familiarizados y les sea sencillo e intuitivo el manejo con el fin de que no centren su atención en el manejo y sí en el contenido. Por ejemplo, mandos de consolas o pantallas táctiles.

#### 2.3.4.1 Detector de cuerpo y voz (Kinect de Microsoft)

La Kinect de Microsoft es un controlador de software libre que contiene una serie de sensores con los cuales es capaz de detectar diferentes objetos y sonidos. Como podemos ver en

la parte derecha de la figura 7, dispone de una cámara RGB, un sensor de profundidad, una matriz de micrófonos, un software propio patentado capaz de detectar cuerpos, caras y un software de reconocimiento de voz.

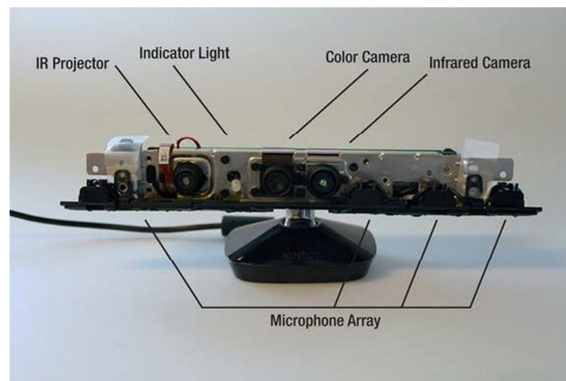


Figura 7. Hardware interactivo: controlador Kinect de Microsoft.[23]

Este controlador tiene una gran ventaja frente a otros, pues en caso de realizar una programación eficiente, no sería necesario dar al usuario ningún objeto, con un software de procesado de imagen sería casi suficiente para interactuar con el sistema sin necesidad de enseñar muchos movimientos especiales. Esta solución se acerca bastante al símil de una sala de escape real.

#### 2.3.4.2 Mando inalámbrico con sensores de movimiento (Wii Motion)

Existen en el mercado una serie de mandos bluetooth con diferentes sensores. Uno de ellos es el mando de la Nintendo Wii. Este mando tiene un receptor infrarrojo, un acelerómetro y una serie de botones. Envía la información acerca de los botones y sensores a través del protocolo bluetooth. Este controlador es sencillo de añadir e incluir en un ordenador pues existen diferentes softwares puente, APIs para diferentes plataformas y el protocolo que emplea es de uso público. Podemos ver algunos ejemplos en la figura 8.

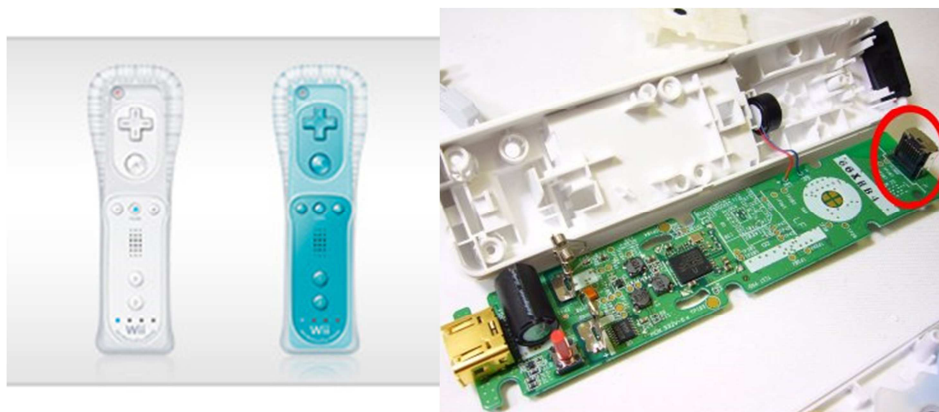


Figura 8. Hardware interactivo: mando Wii de Nintendo. [24]

Algunas de las ventajas de este tipo de mandos es el precio, suelen ser bastante asequibles además de existir una amplia gama de mandos de diferentes marcas y con diferentes sensores y botones. Además el hardware necesario para la integración es básico y de bajo coste.

## 2.4 Situación actual

En este apartado resumiremos los detalles y prestaciones de la sala interactiva que se realizó en la asignatura. Haremos referencia a lo largo del documento a esta instalación como “sala 1”.

La sala 1 disponía de una estructura de tres telas de dos metros de alto y dos metros y medio de ancho ancladas a una estructura de aluminio como se ha mencionado en el apartado de motivación.

Para mostrar sobre estas superficies el contenido audiovisual se emplearon proyectores con retroproyección situados a 1.5m como los de la figura 9. Las características son las siguientes: [25]



Figura 9. Proyector Optoma X350ST.

- Modelo y marca: Optoma X350ST
- Precio aproximado: 500€
- 3000 ANSI Lumens de brillo.
- Relación de aspecto nativa 4:3, compatible también con 16:9.
- Resolución nativa XGA de 1024x768.
- Tamaño Pantalla de Proyección 1.00-5.00m
- Distancia de Proyección 0.5-2.5m
- 1.3x zoom
- Factor de alcance 0.49:1

Dado que se trataba de un prototipo, se emplearon unos equipos pensados para el ámbito personal o semi-profesional, se obtienen prestaciones y resultados considerables pero mejorables con respecto a la calidad de imagen o tamaño de pixel. Podemos observar en la figura 10 las dimensiones en longitud y píxeles de una pared de la sala 1. Esta solución nos permite obtener una resolución final de 1024x768 con una calidad de 10 ppi y un tamaño de pixel de 2.6mm. Por tanto, según la tabla 1, la distancia mínima de visualización sería de 2,5m. lo cual está lejos de ser adecuado para el tamaño de la instalación.

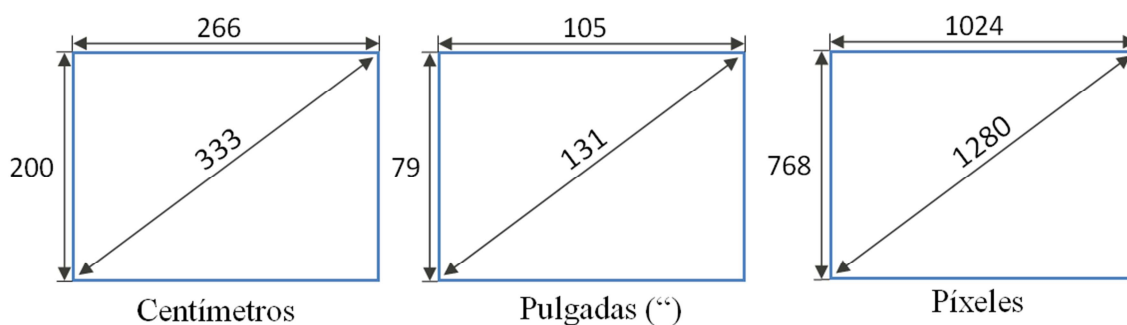


Figura 10. Dimensiones de una pantalla de la sala 1.





## 3 Desarrollo hardware

Retomando el objetivo de desarrollar una solución, en este capítulo detallaremos las prestaciones de las soluciones hardware y requisitos mínimos de algunas de ellas. Buscaremos también información sobre la inversión necesaria retomando la meta de diseñar una sala de dimensiones equivalentes a la sala 1 mejorando sus prestaciones.

### 3.1 Hardware de proyección audiovisual

En este apartado analizaremos y elegiremos el hardware encargado de la proyección o muestra del contenido, recordamos que las opciones planteadas son gafas de realidad virtual, pantallas o proyecciones. Como criterio de comparación recordamos que se busca un método de visualización con un tamaño de pixel igual o menor de 2.6mm.

En el caso en el que la relación de aspecto de los equipos en el mercado no sea adaptable a la de partida, se buscará un ajuste de la dimensión vertical pues, en esta instalación es más crítica pues está dimensionada en función de la altura de los usuarios. Además diseñar una superficie de mayor anchura ampliaría el espacio de juego.

#### 3.1.1 Requisitos, prestaciones e inversión necesaria

A priori, se consideró la opción de emplear gafas de realidad virtual, una herramienta en desarrollo diseñada especialmente para mostrar contenido de realidad virtual. Como principal ventaja, al tener la pantalla más cerca de los ojos estos equipos crean una gran experiencia visual. Además la superficie audiovisual a cubrir es menor por lo que con la misma resolución de contenido se obtienen ppi y tamaños de pixel mucho mejores que en la sala 1.

Con respecto a la idea de las pantallas, comercialmente existen pantallas de hasta 90” que, a pesar de contar con un tamaño de pixel reducido, no alcanzan la superficie de la sala 1. La solución del VideoWall sí que es capaz de alcanzar ambos dos objetivos, tamaño de pixel menor y superficie igual o mayor.

Con respecto a la idea de emplear proyectores como método de visualización, la principal ventaja es que se puede abarcar toda la superficie con un único equipo y con una inversión considerablemente menor. Por contra, dado que estos equipos abarcan más área con la misma resolución, las prestaciones de la configuración son peores con respecto al tamaño de pixel y, por lo tanto la distancia mínima para que el usuario no aprecie la diferencia de pixeles es mayor.

Podemos ver en la tabla 3 un resumen de las tecnologías, las prestaciones y los recursos necesarios. Para ello consideramos la instalación de las tres paredes y estimando un número de usuarios simultáneo de 8 jugadores. Una explicación más detallada la podemos encontrar en los anexos 4 y 9.

<b>Solución</b>	<b>Inversión</b>	<b>Tamaño de Pixel</b>	<b>Distancia mínima</b>	<b>Hardware extra</b>
<b>Gafas VR</b>	6.000€	0.06 mm	4 cm	
<b>Pantalla</b>	36.000€	0.48 mm	33 cm	
<b>VideoWall</b>	30.000€	0.86 mm	59 cm	Gestor del VideoWall
<b>Proyector</b>	3.500€	1.60 mm	1.10 m	Telas de retroproyección

Tabla 3. Resumen de recursos y prestaciones del hardware de proyección.

Dados los resultados observables en la tabla 2, descartaremos las pantallas como solución hardware debido a la inversión económica necesaria. Es cierto que presentan mejores prestaciones que los proyectores, sin embargo con estos también se puede conseguir unas prestaciones similares con diferentes modelos empleando técnicas de *blending* de forma más económica que con las pantallas.

Para poder valorar las gafas VR realizamos una encuesta para valorar la opinión de los posibles usuarios acerca de emplear gafas de realidad virtual a la hora de desarrollar este producto. Como resultados generales, la mayoría de las respuestas concuerdan en la opinión de que esta solución da un paso atrás en el acercamiento de la realidad en el modo multijugador debido a la falta de realimentación física conjunta.

*“Esa solución tecnológica parece buena idea, pero pierdes la sensación de realidad al no poder interactuar directamente con tus amigos”.*

### 3.1.2 Desarrollo de la solución

Una vez decidido el método hardware a emplear, proyectores, desarrollamos la solución hardware para lograr los requisitos propuestos. En lugar de desarrollar una solución con equipamiento profesional de gran inversión, desarrollaremos dos soluciones intermedias para demostrar que, con poca mejora en el equipamiento con respecto a la sala 1, se pueden obtener prestaciones mucho mejores. Llamaremos proyector 1 al empleado en la sala 1 y descrito en apartados anteriores.

Con este análisis pretendemos también dejar detallado un breve procedimiento para poder comparar de forma simple dos modelos de la misma gama para definir las propiedades más relevantes de un equipo de este tipo.

Buscando proyectores de la misma marca para poder descartar diferencias entre fabricantes encontramos estas dos opciones, ambas con un precio aproximado de mil euros:

El proyector 2 sería el siguiente Optoma EH200ST[26] con las siguientes especificaciones:

- Relación de aspecto nativa 16:9, compatible con 4:3.
- Resolución 1920x1080.
- 3000 ANSI Lumens de brillo.
- Tamaño Pantalla de Proyección 1,15-7,67m (diagonal)
- Distancia de Proyección 0,5-3,35m.
- Zoom fijo
- Factor de alcance 0.52:1

El proyector 3 sería el siguiente Optoma WU416[27] con las siguientes especificaciones:

- Relación de aspecto nativa 16:10, compatible con 4:3.
- Resolución 1920x1200.
- 4200 ANSI Lumens de brillo.
- Tamaño Pantalla de Proyección 0,68-7,75m (diagonal).
- Distancia de Proyección 1,3-9,2m.
- 1.6x zoom
- Factor de alcance 1.412.4:1

De toda la información que aporta el fabricante sobre un proyector en su hoja de características, las más relevantes son las descritas anteriormente. Explicaremos su relevancia y en qué aspectos influyen.

Las dos primeras características son la relación de aspecto, tanto nativa como compatible y la resolución. Estas dos características íntimamente ligadas influyen de forma directa en la dimensión de la pantalla y en la calidad de la imagen que se va a poder mostrar. Podemos ver en las figuras 11 y 12, proyector 2 y 3 respectivamente, la diferencia entre las dimensiones de la pantalla con la resolución nativa y con la resolución adaptada para emplear las mismas dimensiones que en la sala 1.

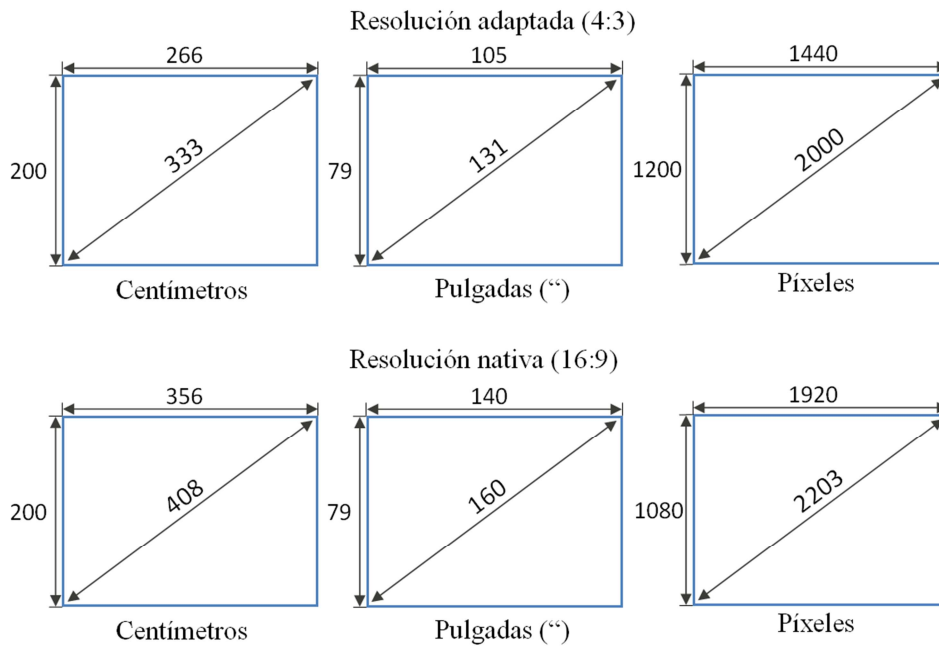


Figura 11. Dimensiones de una pantalla de la sala con proyector del tipo 2.

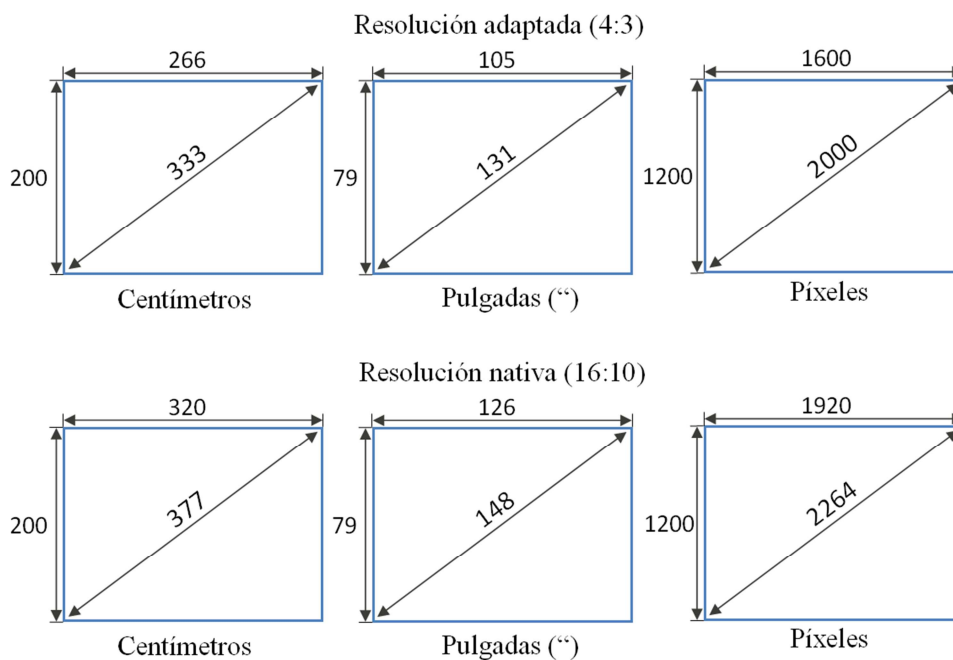


Figura 12. Dimensiones de una pantalla de la sala con proyector del tipo 3.

Para poder obtener información comparable con el resto de soluciones seguiremos el siguiente procedimiento.

- Calcularemos el tamaño de pixel como la relación de la dimensión real de la pantalla en milímetros (altura, anchura o diagonal), y el número de pixeles que tenga dicha dimensión.
- Calcularemos la densidad de pixeles como la relación entre el número de pixeles de una dimensión real de la pantalla (altura, anchura o diagonal), y la longitud de dicha dimensión en pulgadas.
- Podemos comprobar que hemos realizado bien dichos cálculos comprobando que su producto da 25,4 como resultado, manteniendo las dimensiones estándar.

$$ppi(\text{pixeles por pulgada}) * \text{tamaño de pixel}(\text{milímetros}) = 25,4.$$

- Para el cálculo de la distancia mínima empleamos la referencia de la tabla 1.

Aplicando dicho procedimiento a nuestros proyectores obtenemos los resultados que mostramos en la tabla 4 junto a la comparativa del resto de prestaciones.

	Proyector 1	Proyector 2		Proyector 3	
Característica		Nativa	Adaptada	Nativa	Adaptada
Marca	Optoma	Optoma		Optoma	
Modelo	X350ST	EH200ST		WU416	
Lúmenes ANSI	3000	3000		4200	
Área de proyección (m <sup>2</sup> )	5	7	5	6,4	5
Luxes en pantalla	600	429	600	656	840
Zoom	1.3x	Fixed		1.6x	
Factor de alcance	0.49:1	0.52:1		1.4-2.4:1	
Relación de aspecto	4:3	16:9	4:3	16:10	4:3
Resolución	1024x768	1920x1080	1440x1080	1920x1200	1600x1200
Distancia de proyección (m)	1,5	1,75		4,5	
Densidad de pixeles (ppi)	10	13.7		15.3	
Tamaño de pixel (mm)	2,6	1.85		1.6	
Distancia óptima del usuario (m)	1,8	1,27		1,1	
Superficie necesaria (m <sup>2</sup> )	42	60	46	128	116
Precio aproximado (€)	500	1.000		1.000	

Tabla 4. Resumen de características y prestaciones de los proyectores 1, 2 y 3.

En caso de necesitar una adaptación de resolución, no todos los cambios son posibles pero sí se pueden estimar con un procedimiento similar. Es necesario tener en cuenta que no es posible obtener nuevos pixeles ni conseguir una pantalla de dimensiones mayores, por lo que con los cambios de resoluciones siempre obtendremos una pantalla de menor dimensión.

La tercera característica es la potencia luminosa del proyector, es necesario que la potencia luminosa de mayor potencia que incida sobre la superficie de proyección sea la del proyector y no la de otras fuentes. Como referencia podemos emplear la cantidad de luz que podría haber en una pizarra de un aula bien iluminada (entre 400 y 600 luxes) [28]. En nuestro caso, tenemos un proyector con una fuente de 3000 o 4200 luxes sobre una superficie de entre 5 y 7m<sup>2</sup> (dependiendo de la anchura de la pared). En el peor caso tenemos un proyector de 3000

lúmenes sobre una superficie de 7 metros cuadrados tendríamos una cantidad de luz 428 luxes. En esta situación la potencia luminosa del proyector podría no ser suficiente, sin embargo la referencia de luz tomada es una referencia luminosa media-alta, por lo que podría ser suficiente.

La mayoría de las marcas de proyectores, ésta entre ellas, habilita un software para calcular la distancia de proyección de un modelo con respecto a las dimensiones de la pantalla que se pretenda conseguir.

Para el cálculo de esta distancia es importante el factor de alcance o ratio de proyección, parámetro que relaciona directamente el ancho de la pantalla con la distancia de proyección:

$$\textit{Distancia de proyección} = \textit{Factor de alcance} \times \textit{Anchura de la pantalla deseada}.$$

En nuestro caso, los proyectores 1 y 2 tienen un ratio de proyección menor de 1:1, por lo que para una anchura de 2,6m. aproximadamente necesitaremos una distancia de proyección de menos de dos metros, sin embargo, el proyector 3 tiene un factor de alcance elevado, de ahí que se necesite una mayor distancia entre el proyector y la pantalla.

Por último los otros tres parámetros especifican el rango de distancias en las que el proyector es capaz de enfocar así como el rango de tamaños de pantalla que es capaz de generar, basados en el factor de alcance.

## 3.2 Hardware de gestión audiovisual

En este apartado, una vez elegido el hardware de proyección del contenido, definiremos las ventajas e inconvenientes de las opciones propuestas para el hardware de gestión de proyección para que el contenido sea mostrado de forma síncrona. Recordamos dichas opciones:

- primera opción: un ordenador *gaming* con diferentes salidas gráficas.
- segunda opción: un ordenador no específico y una matriz de vídeo.
- tercera opción: un sistema distribuido con elementos simples.

### 3.2.1 Requisitos, prestaciones e inversión necesaria

Podemos ver en la tabla 5 un resumen de las diferentes prestaciones y requisitos de cada una de las soluciones propuestas.

<b>Solución</b>	<b>Ordenador <i>gaming</i></b>	<b>Matriz de vídeo</b>	<b>Sistema distribuido</b>
<b>Inversión</b>	> 1.500€	> 1.000€	>750€
<b>Nº equipos</b>	1	2	4
<b>Ventajas principales</b>	Favorece la instalación	No es necesario software especializado en el ordenador de control.	Fiabilidad y fácil sustitución de equipos.
<b>Desventajas principales</b>	Alto coste de sustitución y mantenimiento	Poca fiabilidad, dependiente de las características del ordenador de control.	Software de comunicación y control entre los equipos.

Tabla 5. Resumen de prestaciones del hardware de gestión. [28]

Teniendo en cuenta las prestaciones y requisitos de las opciones planteadas que observamos en la tabla 5, descartamos la primera opción debido al coste que supone tanto inicial, como en caso de fallo en un equipo. La segunda opción se desarrolló para la instalación de la sala 1, sin embargo los resultados con hardware de este equipo eran poco fiables, dependían de las características del ordenador y presentaban poca fiabilidad.

La opción de un sistema distribuido, a pesar de requerir un desarrollo software extra, da opción a una gran variedad de hardware para cada tarea, lo que reduce el coste y permite también, desarrollando un software genérico, el uso de cualquier ordenador de control.

### 3.2.2 Desarrollo de la solución

En este apartado definiremos las fases seguidas para la puesta a punto del hardware de gestión del contenido, explicaremos las pruebas realizadas y detallaremos la solución final implementada. Todo esto teniendo en cuenta la decisión tomada en el apartado anterior.

Llegados a este punto del proyecto, tenemos fijados los siguientes parámetros: tres proyectores como hardware de muestra de contenido, un ordenador como hardware de control (Master), dispositivos Raspberry Pi 3 como hardware de gestión de contenido (Worker) y Unity como software de desarrollo del contenido.

Sabemos que la Raspberry Pi admite diferentes sistemas operativos. Tras investigar en diferentes foros y en las páginas oficiales tanto del software Unity como del hardware Raspberry Pi, llegamos a la conclusión de que el mejor SO a instalar es a pesar de que ninguno de los dos aspectos, hardware y software, estén especialmente desarrollados para él, es Android.

Ya que Android no es uno de los SO más aceptados y populares para este dispositivo, instalamos previamente un SO que permitiera algo más de versatilidad (Raspbian) para

comprobar que los periféricos del dispositivo funcionaban correctamente con el resto del hardware. Comprobamos que tanto los puertos USB, como la tarjeta de red, la salida de audio analógico y el cable HDMI funcionaban correctamente.

Este último es uno de los más importantes y variables por lo que realizamos diferentes fases de pruebas con diferentes displays de destino puesto que el EDID de cada display es distinto. Podemos observar en la tabla 6 un resumen de las pruebas realizadas y los resultados obtenidos y posteriormente una breve explicación de los resultados.

Fase	SO	HDMI-HDMI			HDMI-VGA		
		Proyector	TV1	TV2	Proyector	Monitor 1	Monitor 2
1	Raspbian	SI	SI	SI	SI	SI	SI
2	Android 6.0	SI	SI	SI	NO	NO	NO
3	Raspbian	SI	SI	SI	SI	SI	SI
4	Android 5.1	SI	SI	SI	NO	NO	NO
5	Android 7.0	SI	SI	SI	NO	NO	NO

Tabla 6. Funcionamiento de la conexión multimedia en función del display y el SO.

Debido a las diferencias entre los conectores VGA y HDMI, estándares analógico y digital respectivamente, en ocasiones es necesario emplear un adaptador con alimentación externa. Dado que disponíamos de un adaptador de este tipo, realizamos las pruebas con ambos. Los resultados fueron los mismos por lo que no los hemos caracterizado por separado.

Fase 1. Empleando Raspbian [30] (basado en Debian) como SO, conectamos el dispositivo a diferentes display y obtenemos resultados favorables en todos los casos. Podemos comprobar que, además de visualizar el escritorio del SO, este es capaz de reproducir videos en el display correspondiente.

Fase 2. Instalamos el SO Android en su versión 6.0 [31] y realizamos las mismas pruebas. En este caso el conector HDMI no funciona en todos los casos. No tenemos la certeza de saber si se trataba del SO o de la versión de este. También existía la posibilidad de que la última instalación no se hubiera realizado de forma correcta y se hubiera dañado el hardware. Como primera medida, repetimos la fase 1, obteniendo los mismos resultados.

Fases 4 y 5. Instalamos el SO Android pero con una versión anterior y posterior respectivamente. Obtenemos los mismos resultados que en la fase 2.

De este modo confirmamos que no es posible emplear una conexión de vídeo analógico empleando Android. Para poder confirmar que es un inconveniente único de este SO sería necesario instalar diferentes SO en la Raspberry Pi y realizar un estudio más profundo sobre las el control de los periféricos, sin embargo este estudio se aleja de este proyecto.

Retomando el concepto EDID, explicado al principio de la memoria y relevante en este contexto, la conclusión más inmediata es que la gestión de esta estructura en el SO de Android no esté implementada de forma correcta. Este hecho puede ser un inconveniente posteriormente pues la comunicación de las resoluciones aceptadas tanto por emisor como por receptor, así como la del contenido es una necesidad fundamental.

Con el hardware caracterizado, descargamos e instalamos en el ordenador encargado del desarrollo del contenido una serie de componentes, SDKs entre otros, acordes con el SO al que

va destinado el contenido. Posteriormente adaptamos y probamos el contenido de Unity acorde con el SO de la Raspberry.

A pesar de que el hardware de Raspberry Pi cumple con las especificaciones mínimas necesarias para correr aplicaciones desarrolladas con Unity, obtenemos resultados algo confusos.

Primeramente empleando como display un televisor o un monitor con entrada HDMI, somos capaces de interactuar con el SO y algunas aplicaciones, pero no somos capaces de visualizar el contenido de Unity ni interactuar con él. Probamos con distintas pantallas (20", 30", 35" y 50") y diferentes resoluciones de pantallas (1600x1200, 1024x768, 800x600, 1920x1200, 1920x1080, 1366x768) y en todas las combinaciones el contenido no es visible. Además, al realizar pruebas con un proyector como display, obtenemos los mismos resultados.

Dado que el problema reside en nuestro contenido, procedemos a modificar la resolución del contenido dentro de las propiedades que el software de desarrollo permite configurar. Realizamos diferentes pruebas con diversas relaciones de aspecto y resoluciones, empezando por las más simples (peor calidad de imagen), y también trasladando el contenido a simulación 2D con el fin de reducir el procesamiento de imagen necesario. A pesar de ello en ninguno de los casos, el hardware es capaz de mostrar el contenido audiovisual en el proyector.

Tras esta serie de pruebas realizadas llegamos a la conclusión de que, la Raspberry pi, a pesar de ser un hardware considerablemente potente y manejable, no está desarrollado con este tipo de objetivos o no incluye un hardware capaz de procesar contenido audiovisual pesado.

Como alternativa para el desarrollo hardware, emplearemos tres miniPCs en lugar de las Raspberry Pi. Como primera medida comprobamos el correcto funcionamiento de los periféricos relevantes. En este caso todos ellos (tarjeta de red, puertos USB y conexión HDMI) funcionan correctamente con todos los displays probados anteriormente. Escogimos un equipo ya a nuestro alcance para realizar pruebas con respecto a los requisitos mínimos y la velocidad de respuesta de estos. En la figura 13 podemos observar una foto del equipo en comparación con la Raspberry Pi junto a las especificaciones del miniPC empleado.

Las características del equipo empleado son las siguientes: [32]



- Procesador de 64 bit
- 2Gb de memoria RAM
- 32Gb de almacenamiento
- Frecuencia del procesador: 1.84GHz
- Conexión Wifi 100M
- Conector de cable de red
- Salida HDMI
- 3 puertos USB 3.1 y un puerto USB-C 3.1

Figura 13. Comparación de tamaño de Raspberry Pi 3 y el Mini PC empleados.



## 3.3 Hardware de interacción

En este apartado analizaremos las ventajas y desventajas de las soluciones hardware de interacción además de requisitos mínimos necesarios relevantes.

### 3.3.1 Requisitos, prestaciones e inversión necesaria

A priori se consideró también emplear pantallas interactivas o las gafas de realidad virtual, sin embargo fueron descartadas por la inversión de ambas soluciones es elevada y alejaría la solución del concepto de espacio cerrado de interacción con paredes.

La Kinect de Microsoft posee una ventaja frente a otros métodos planteados puesto que no requiere que el usuario necesite aprender el manejo de un mando o similar, es decir, la forma de interactuar es a través del movimiento del cuerpo, la posición de estos y comandos de voz. Tiene un coste aproximado de 150€ cada unidad y, empleando una para cada pared podría cubrirse toda la superficie de la sala y sería necesario únicamente desarrollar el software. Como principal desventaja, es que este controlador necesita, entre sus requisitos mínimos un bus USB dedicado para cada controlador. Para la solución propuesta sería necesaria una inversión extra en el hardware del PC de control para poder cubrir todas las necesidades de controladores USB. [33]

Los mandos bluetooth tienen una ventaja frente a la solución anterior, como único requisito hardware relevante solo necesitan un conector USB, sin necesidad de un bus dedicado. De este tipo de controladores existen muchas variantes y replicas que se puedan conectar al ordenador, por lo que la inversión necesaria sería menor que en el caso anterior. En la tabla 7 vemos un pequeño resumen del coste de alguno de ellos. De entre los modelos propuestos, el de la Nintendo Wii o similar, necesitarían también un hardware de emisión infrarroja como referencia para su uso similar al de la consola, sin embargo este hardware es sencillo y barato de diseñar.

<u>Marca / Consola</u>	<u>Sony</u>	<u>Microsoft</u>	<u>Nintendo</u>	<u>Nintendo</u>
<b>Consola</b>	PlayStation 2	XBOX	Wii	NES
<b>Coste de la réplica (1ud)</b>	<10€	<10€	25€	<10€
<b>Coste hardware extra</b>			20€	

Tabla 7. Coste de réplicas de mandos bluetooth de consolas. [34]

Como podemos observar en la tabla 7, el coste de los diferentes mandos es similar, a pesar de que el mando bluetooth requiere un pequeño hardware extra no lo descartaremos puesto que también aporta más funcionalidades debido a sensores extra que incluye.

Dado que la relación prestaciones-inversión, tanto de la Kinect como de los mandos, es similar, desarrollaremos un prototipo tanto del hardware como del software para ambas soluciones y, tras varias pruebas de usabilidad explicadas a lo largo de este documento, escogeremos el mando de la Wii como solución final para este apartado hardware.

### 3.3.2 Desarrollo de la solución

Como trabajo futuro al desarrollo de la sala 1 y de forma previa al planteamiento de este proyecto se desarrolló un hardware de control de los emisores infrarrojos para poder incluir el mando de la Wii como método de interacción. Este hardware consta de una serie de transistores, resistencias y emisores infrarrojos led que, empleando un Arduino como control y conexión con un ordenador, permite gestionar el encendido y apagado de dichos leds. La figura 14 muestra una imagen de dicho hardware. Durante el desarrollo de este proyecto diseñamos una placa de circuito impreso para poder englobar dichos componentes como una extensión del hardware de Arduino (“*shield*” de Arduino) empleando los mismos componentes.

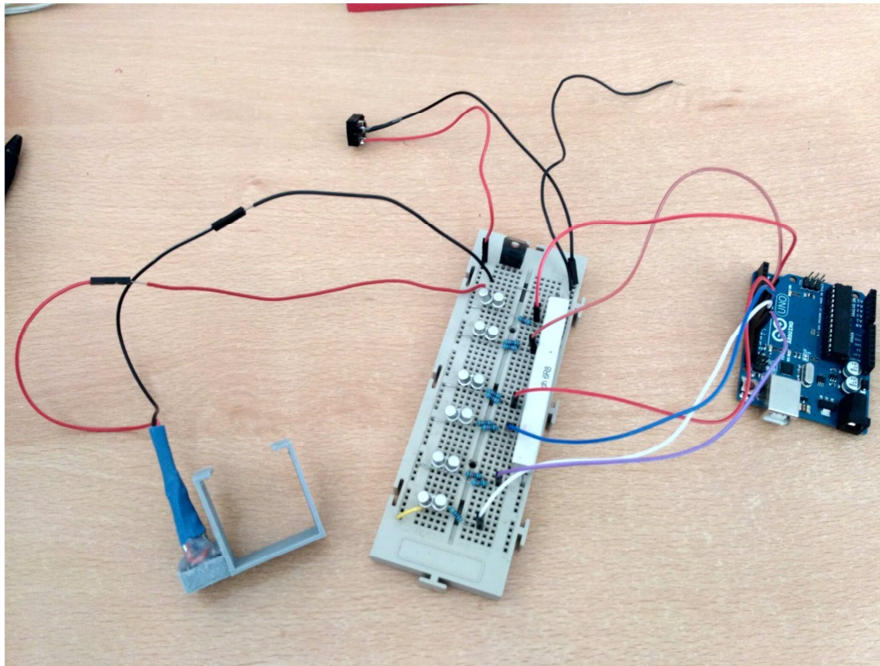


Figura 14. Hardware de control de emisión infrarroja.

Tenemos en la tabla 8 la lista de componentes de dicha placa sin contar con los emisores led y el Arduino UNO. Este circuito emplea los transistores como interruptores para controlar el paso de corriente a los emisores led. Dada la limitación de corriente del hardware Arduino es necesario suministrar corriente desde una fuente de alimentación externa. A su vez, para evitar que esta corriente entre al hardware de Arduino se añade una resistencia de potencia como elemento para el cierre de circuito de corriente de la fuente externa.

<u>Elemento</u>	<u>Modelo/Valor</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Descripción</u>
<b>Transistor</b>	2N2222	6	Transistor para dar potencia a los emisores LED
<b>Resistencia</b>	680 $\Omega$	6	Resistencia de base de transistor
<b>Resistencia</b>	6,8 $\Omega$	1	Resistencia de potencia para la corriente de los emisores.
<b>Pines</b>		38	Pines de conexión con la placa de Arduino y los emisores led.
<b>Pines</b>	MOLEX 2x	2	Pin de alimentación externa.

Tabla 8. Lista de componentes de la placa de la placa de circuito impreso.

En la figuras 15 y 16 muestran el esquemático de la placa de circuito impreso y el diseño de esta respectivamente. Para ello empleamos el software EAGLE. [35]

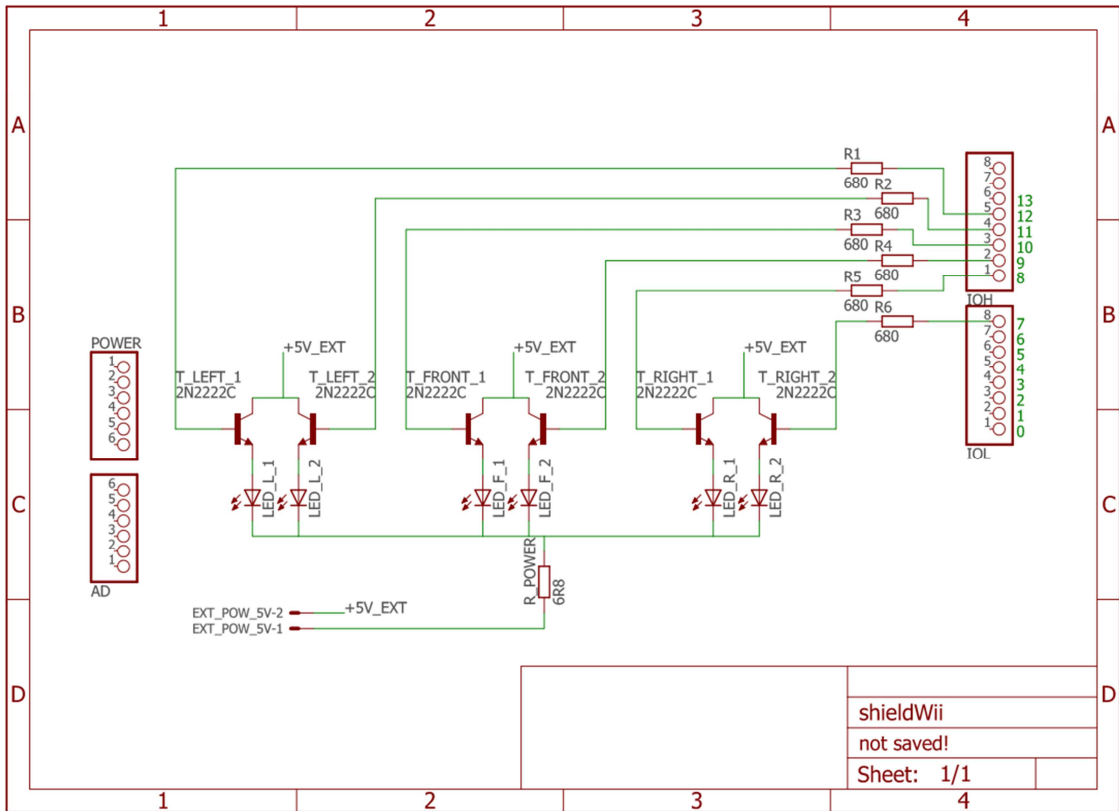


Figura 15. Esquemático del circuito del *shield*.

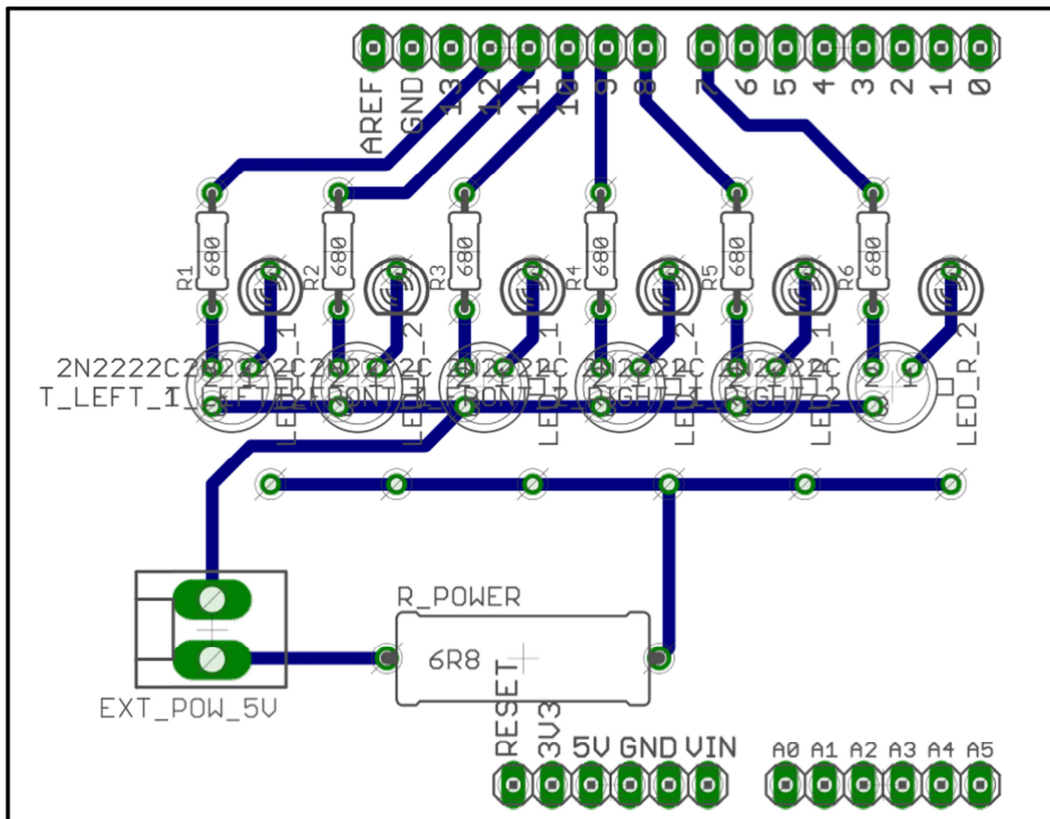


Figura 16. Distribución de componentes en la placa de circuito impreso del *shield*

### 3.4 Solución hardware

En este apartado mostraremos los detalles de la solución desarrollada. Tenemos en la tabla 8 el presupuesto detallado con unos equipos fijados en apartados anteriores y otros variables dentro de unas prestaciones tal y como se especifica en las notas del presupuesto.

Mostramos también el plano de conexionado de la instalación diferenciando el tipo de cable necesario para el material seleccionado. Como método de interacción se ha considerado el mando de la Wii con 4 jugadores simultáneos. [36]

Para el desarrollo del plano se ha empleado el software de diseño AutoCAD de Autodesk. Para la realización de este plano se ha diseñado cada elemento como un bloque con los siguientes parámetros:

- Tipo de equipo
- Localización y nombre dentro de la instalación
- Modelo y marca
- Puertos de entrada y de salida

Diferenciamos también el tipo de cable que une los distintos equipos mediante un código de colores que mostramos en la leyenda y con una numeración para facilitar el seguimiento de la instalación.

### 3.4.1 Presupuesto

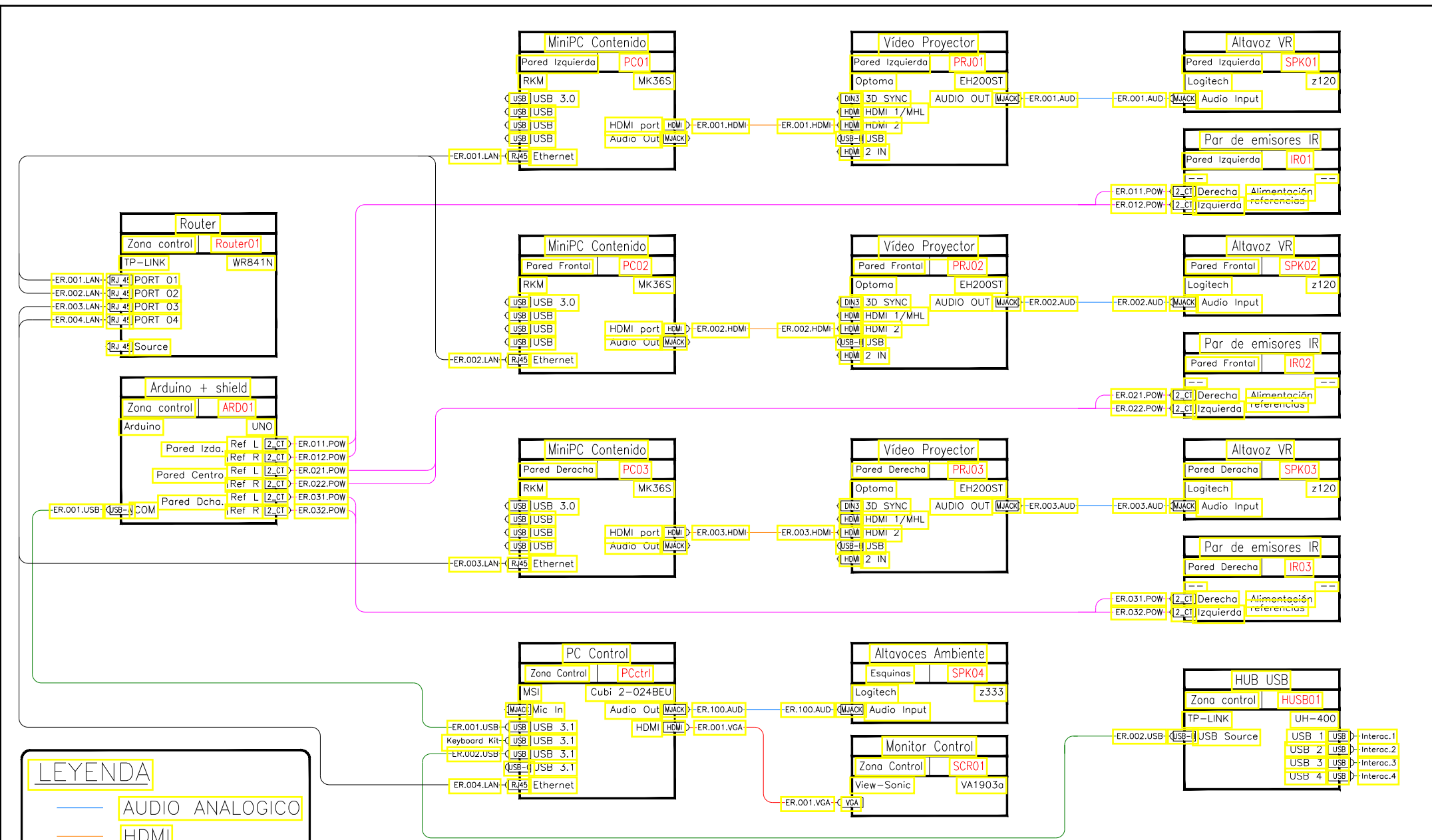
Categoría		Elemento	Marca	Modelo	Precio (1 Ud)	Cantidad	Coste	Breve descripción
Proyección	**	Proyector de contenido audiovisual	Optoma	EH200ST	1.000 €	3	3.000 €	Proyector de 3000 Lumens. Relación de aspecto nativa 16:9 compatible con 4:3. Resolución 1920x1080 1,6x zoom
Proyección	*	Telas de retroproyección	Celexon	Mobil	399 €	3	1.197 €	Celexon Mobil Expert - 305 x 229 Retroproyección
Control	*	PC de control	MSI	Cubi 2-024 BEU	317 €	1	317 €	Intel Core 4415U/4GB/120GB SSD 3 puertos USB, Mjack 3.5mm, tarjeta de red, bluetooth, salida HDMI
Control	*	Monitor Control	View Sonic	VA1903a	70 €	1	70 €	Monitor de 16:9 LED 18,5" 1366x768 conectividad VGA
Control	*	Hub USB	TP-LINK	UH400	14 €	1	14 €	Hub USB 4 puertos de salida USB 3.0
Control	*	Teclado + raton inalámbricos	NGS	EPSILONKIT	14 €	1	14 €	Kit de teclado y raton inalámbricos. Un puerto USB
Red	*	Router inalámbrico	TP-LINK	TL-WR841N	20 €	1	20 €	Router lan de 4 puertos con punto de acceso Wifi
Hardware proyección	**	Mini PC	RKM	MK36s	102 €	3	306 €	Mini PC 64 bit 2Gb Ram, 32GB Rom 1,84GHz Wifi 100Mlan Salida HDMI
Métodos de interacción	**	Mando Bluetooth con sensores	Nintendo	Wii Motion Plus	15 €	6	90 €	Mando de Nintendo Wii o similar + USB Bluetooth + Hardware de control de emision infrarroja, incluye arduino + shield+cables
Métodos de interacción	**	Hardware extra			20 €	1	20 €	
Métodos de interacción	*	Transceptor Bluetooth USB	OEM	micro-usb-bluetooth	5 €	6	30 €	Transceptor Bluetooth USB 2.0 3MPB/s
Conexionado	*	Adaptador HDMI-VGA	Owlotech	OT-AD-HVCA	9 €	1	9 €	Adaptador HDMI-VGA para el monitor de control
Conexionado	*	Cable VGA-VGA	OEM	IC-8120-SC	6 €	1	6 €	Cable VGA-VGA >2m para el monitor de control
Conexionado	**	Cable HDMI	Cablematic	HDMI 2.0	7 €	3	21 €	Cable HDMI-HDMI de conexión entre Mini-PC y Proyector (1m aproximadamente)
Conexionado	***	Cables de red	efectoLED	CAT6	8 €	4	32 €	Cable de red de categoría 6 para la conexión de los ordenadores con el router 10M (mínimo)
Audio ****	*	Altavoces ambientales	Logitech	Z333	55 €	1	55 €	Altavoces 2.1 para la música general o de ambiente del contenido audiovisual
Audio ****	*	Altavoces localización	Logitech	z120	13 €	3	39 €	Altavoces puntuales para mejorar la experiencia del contenido
							<b>TOTAL</b>	<b>5.239 €</b>

\* Equipamiento seleccionado con respecto a un fabricante, es posible cambiar este equipamiento por otro equivalente o mejor mientras se mantengan las prestaciones

\*\* Equipamiento elegido y ajustado con respecto a las prestaciones, en caso de cambiarlo sería necesario revisar de nuevo las prestaciones del proyecto

\*\*\* La distancia de los cables se ha escogido para que sirvan para ambas soluciones de proyectores

\*\*\*\* Se han incluido en la instalacion unos equipos sencillos transmisores de audio no detallados en la memoria



**LEYENDA**

- AUDIO ANALOGICO
- HDMI
- VGA
- USB
- LAN
- Alimentación

<b>PROYECTO AUDIOVISUAL</b>		<b>Nº PLANO:</b> Plano_conexión 01	<b>VERSIÓN:</b> 02	<b>ESCALA:</b> S/E	<b>NOTAS ÚLTIMA MODIFICACIÓN:</b> ---
Sala de escape Esquema de Audio, Vídeo y Control					
<b>AUTOR:</b> Adrián López	<b>FECHA:</b> 14/11/2017	<b>SUSTITUYE A PLANO:</b> ---	<b>REVISIÓN:</b> --		
<b>COMPROBADO:</b> José Ramón Beltrán	<b>FECHA:</b> 18/11/2017	---	<b>FECHA:</b> ---		

## 4 Desarrollo software

En este capítulo, permaneciendo en el objetivo del desarrollo, definiremos la metodología, algoritmos, estructuras de datos relevantes y herramientas software empleadas en el desarrollo de las distintas partes. Todo ello teniendo en cuenta el equipamiento hardware de la solución final.

### 4.1 Gestión de la proyección audiovisual

En este apartado definiremos el software de gestión de la proyección del contenido audiovisual. Plantearemos dos opciones y detallaremos la opción seleccionada.

Se plantearon dos posibles metodologías a implementar en el sistema distribuido. La primera de ellas consiste en realizar una transmisión constante del vídeo que se pretende mostrar en cada una de las pantallas, en este caso el Master generaría y reproduciría el contenido enviando el contenido visual correspondiente a cada uno de los Workers, esta técnica es comúnmente conocida como “*Streaming*”. La segunda plantea la opción de que los Workers dispongan del contenido y mediante la recepción y envío de comandos gestionen el punto de reproducción del contenido.

Aunque ambas dos opciones, a priori, son viables como solución para nuestro sistema distribuido, solo desarrollaremos la segunda de ellas.

#### 4.1.1 Desarrollo

Para el desarrollo del protocolo de comunicación entre el Master y el Worker empleamos el propio software de Unity integrando la comunicación en el contenido audiovisual. Como información a enviar se ha planteado el envío continuo de una trama de datos, cuyo mensaje contiene los campos descritos en la tabla 9 y con la estructura que podemos ver en el ejemplo la figura 18. [37]

Pos	Formato	Descripción	Ejemplo
1	Carácter	Pared de posición del usuario	'F'
2	Vector de enteros	Coordenadas del controlador	(32.2, 550.2, 0.0 )
3	Carácter/Entero	Botón empleado (clic derecho, clic izquierdo)	'L' 1
4	Carácter/Entero	Estado del botón (Pulsar, Soltar, Mantener)	'U' 1

Tabla 9. Campos de la trama de comunicación.

F	;	(	3	2	.	2	,	5	5	0	.	2	,	0	.	0	)	;	L	;	U
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Figura 18. Ejemplo de la estructura de la trama de datos.

En esta trama se envían los campos que se han definido como importantes teniendo en cuenta los diferentes métodos de interacción y la realimentación hacia el usuario. De forma genérica, es importante que el usuario sepa con qué parte de la pantalla tiene que interactuar, la posición de dicha interacción y de qué tipo se trata, diferentes botones y diferentes estados de cada botón.

Dado que se pretende realizar un envío continuo de datos, se empleará como protocolo de transporte UDP[38]. Se trata de un protocolo no orientado a conexión cuyos paquetes envían información del equipo origen y destino (dirección IP y puerto), longitud del mensaje, checksum de control y datos en ese orden.

A pesar de que este protocolo no orientado a conexión no tiene control de errores ni respuesta de verificación de recepción de paquetes, es comúnmente empleado en sistemas de transmisión de información en tiempo real puesto que prevalece la velocidad de transmisión frente a la calidad de esta.

En nuestro sistema, durante las tramas en las que no se envíe información sobre cambios de estado de botones, es decir, simplemente se envíe información sobre las coordenadas, basta con que el puntero del usuario avance en la dirección correcta. Por otro lado, los paquetes que envíen información relevante sobre los cambios de estado de los botones podrían perderse. Sin embargo, dado que la comunicación se realizará en una red privada con poco tráfico, la probabilidad de que esto pase es muy reducida.

Aunque el protocolo empleado para la comunicación entre los equipos sea no orientado a conexión, se ha generado una etapa en la comunicación a nivel de sesión orientada a conexión. Esto se ha desarrollado considerando que el tiempo de carga del juego en cada uno de los equipos puede ser diferente, de esta forma, estableciendo una primera comunicación entre los equipos marcamos ciertos puntos de sincronización, de vital importancia en el inicio del sistema.

Para diferenciar el tipo de mensaje, control o datos, los datos enviados a través del socket UDP tendrá el formato que vemos en la tabla 10.

<b>Información</b>	<b>Carácter de control</b>	<b>Contenido (control o datos)</b>
<b>Bytes</b>	1	3-32
<b>Ejemplo</b>	'C' 'P'	"ACK"

Tabla 10. Formato del mensaje UDP.



Podemos ver un ejemplo de esta comunicación en la figura 19, por simplicidad se ha mostrado la comunicación entre el Master y un Worker mostrando únicamente el contenido, sería necesario añadirle la cabecera.

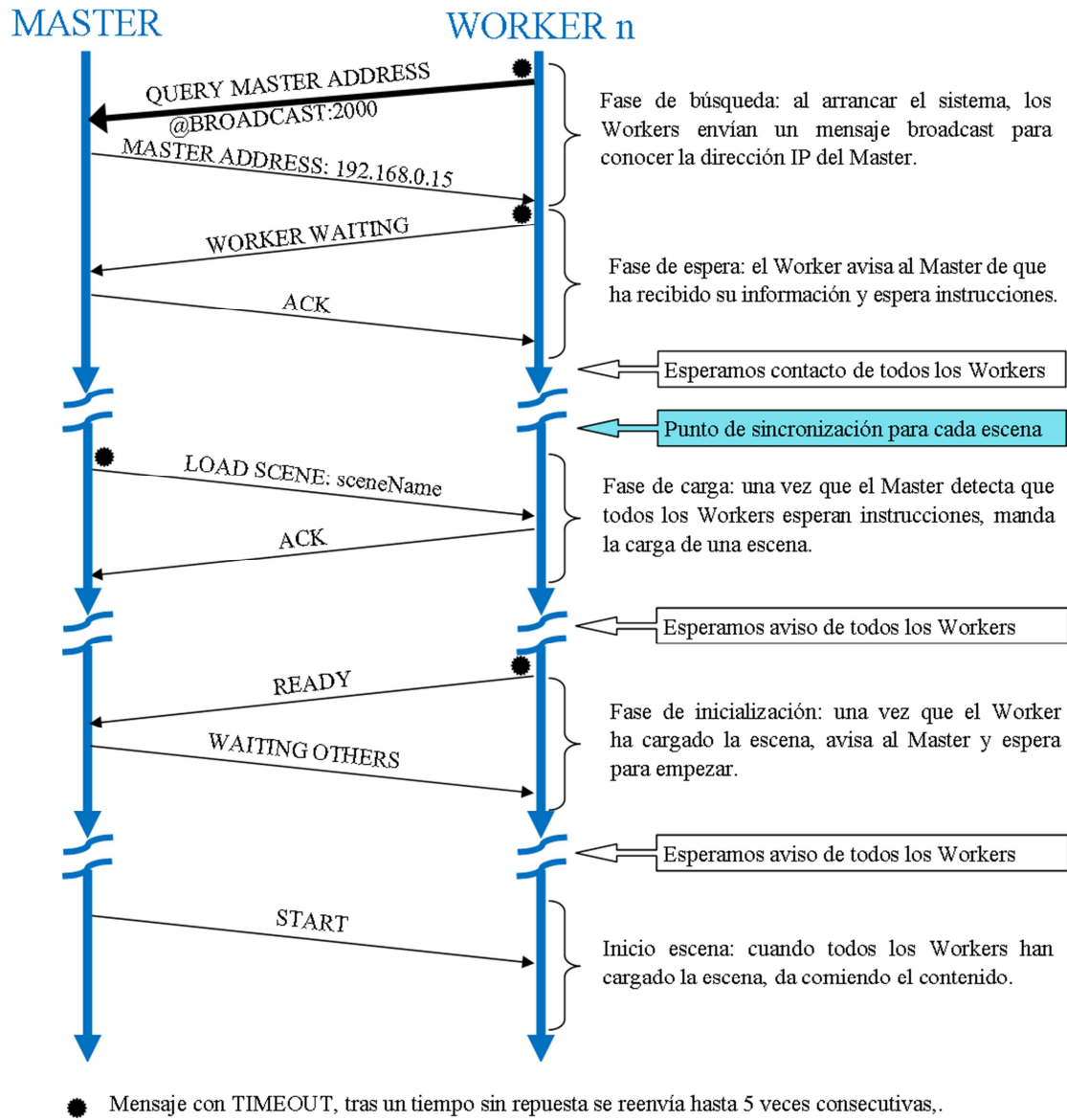


Figura 19. Diagrama de flujo de la fase de establecimiento de la conexión.

## 4.2 Software de interacción (prototipos)

En este apartado describiremos de forma breve el algoritmo y el tipo de estructuras empleado para la integración de los distintos softwares de interacción en la sala 1 y las modificaciones pertinentes para poder adaptarlo a nuestra instalación. Para todos los prototipos de software de interacción se buscó un método para simular el comportamiento del ratón.

### 4.2.1 Kinect

Microsoft aporta un SDK [38] y una API para el desarrollo de aplicaciones empleando su sensor. Este software emplea una estructura de datos propia que permite al usuario configurar los sensores y obtener la información estos para después trabajar con ellos. Como trabajo previo desarrollado en la sala 1 se implementó una *Windows Presentation Foundation (WPF)* como software puente entre la Kinect y el contenido. [39]

Para nuestra aplicación, basándonos en el algoritmo desarrollado cuyo comportamiento podemos observar en la figura 20, detectando las coordenadas de la mano derecha gestionamos la posición del ratón y para interactuar con el contenido, la mano izquierda deberá estar entre los dos hombros. Puesto que el sensor lo permite, empleamos los comandos de voz para poder activar y desactivar el comportamiento descrito.

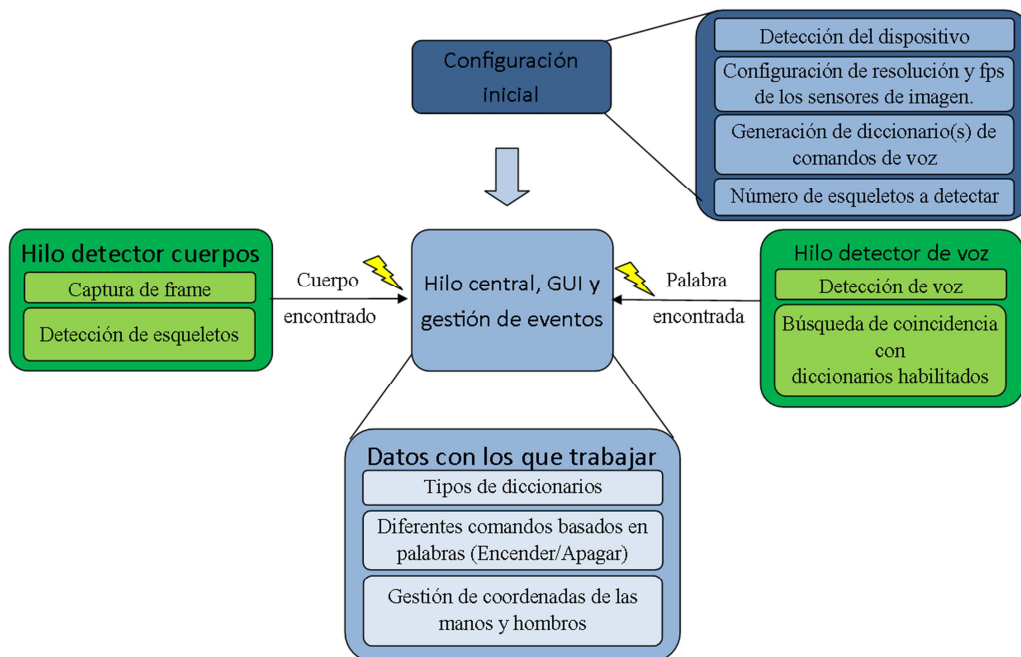


Figura 20. Algoritmo de interacción con Kinect.

## 4.2.2 Mando wii

Para la implementación del mando de la Wii como prototipo de método de interacción empleamos las mismas técnicas que se desarrollaron en la instalación de la sala 1 posterior a la asignatura y previas a este proyecto. Podemos ver la tabla 11, una lista de programas empleados y una breve descripción de su función; en la figura 21 mostramos un diagrama de bloques del funcionamiento conjunto de todos los softwares.

Software	Tareas a realizar
<b>BlueSoleil [40]</b>	Gestionar la comunicación bluetooth entre el controlador y el PC
<b>WiinRemote [41]</b>	Procesar los datos bluetooth para emplear el mando como ratón y asignar teclas a los botones del mando.
<b>Arduino [42]</b>	Gestionar la conmutación de emisores IR de las diferentes pantallas.
<b>MultimonitorTool[43]</b>	Conmutación de la pantalla principal del PC acorde con los emisores IR

Tabla 11. Programas empleados para la integración del mando de la Wii.

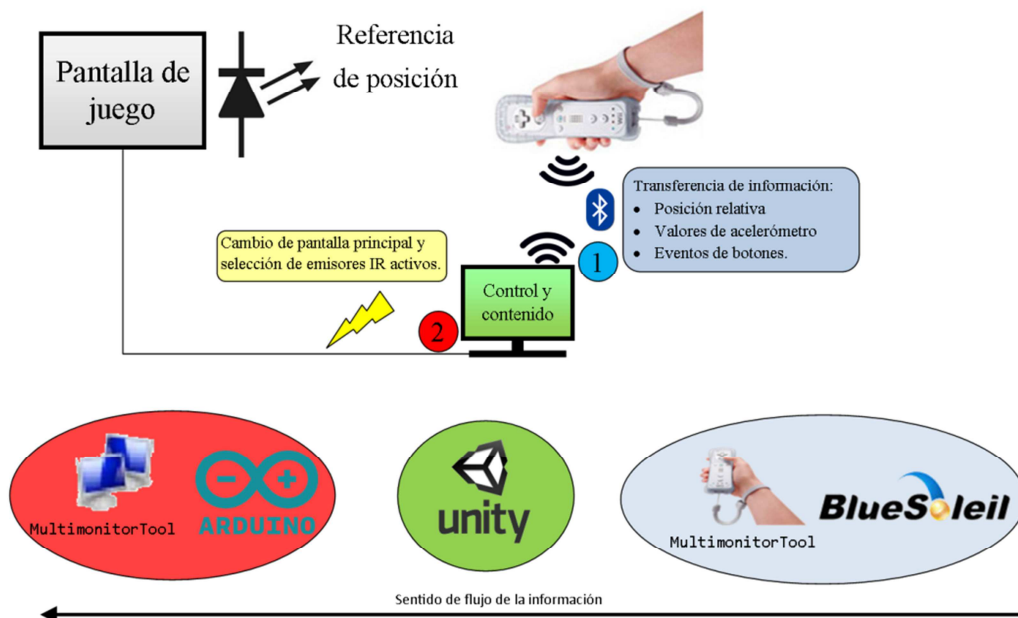


Figura 21. Diagrama de bloques de la interacción con el mando Wii.

## 4.3 Prueba de usabilidad

En este apartado definiremos las pruebas de usabilidad realizadas, mostraremos los resultados y explicaremos las conclusiones alcanzadas. Este apartado favorece el progreso en el alcance de ambos objetivos, análisis y desarrollo, pues todo proyecto de desarrollo requiere una fase de pruebas de usabilidad y, en nuestro caso, dichas pruebas nos permiten analizar las diferentes combinaciones de hardware.

### 4.3.1 Objetivo y público

Dado que los métodos de interacción tienen prestaciones diferentes, la decisión a priori sería poco objetiva. Mediante estas pruebas con prototipos se pretende poder fijar el método de interacción final a desarrollar.

Al igual que una sala de escape real, el público está restringido únicamente por el contenido de la actividad, por lo que no pondremos restricciones con respecto al público. Intentaremos a su vez, realizar tantas pruebas como nos sea posible en un breve periodo de 3 días.

### 4.3.2 Pruebas

Dado que entre el equipo de pruebas solo se disponía de una Kinect y un ordenador con un único bus USB disponible, se desarrolló un contenido de corta duración en el que únicamente se interactuaba directamente con la pared frontal para que los dos prototipos estuvieran en igualdad de condiciones.

Se les pedía a los usuarios interactuar con el contenido, resolver el enigma empleando los métodos de interacción y posteriormente se les realizaron una serie de preguntas. Podemos observar en la figura 22 una imagen del contenido a visualizar en la prueba.



Figura 22. Contenido interactivo para las pruebas de usabilidad.

### 4.3.3 Preguntas posteriores y resultados

Al final del periodo de pruebas se lograron realizar encuestas a 94 usuarios, mostramos en la figura 23 un gráfico estadístico sobre edad y sexo para caracterizarlos. Esta caracterización no es del todo ilustrativa puesto que se realizaron las pruebas en las instalaciones de la universidad, de manera que las estadísticas de edad se ven fuertemente afectadas por la locación del experimento.

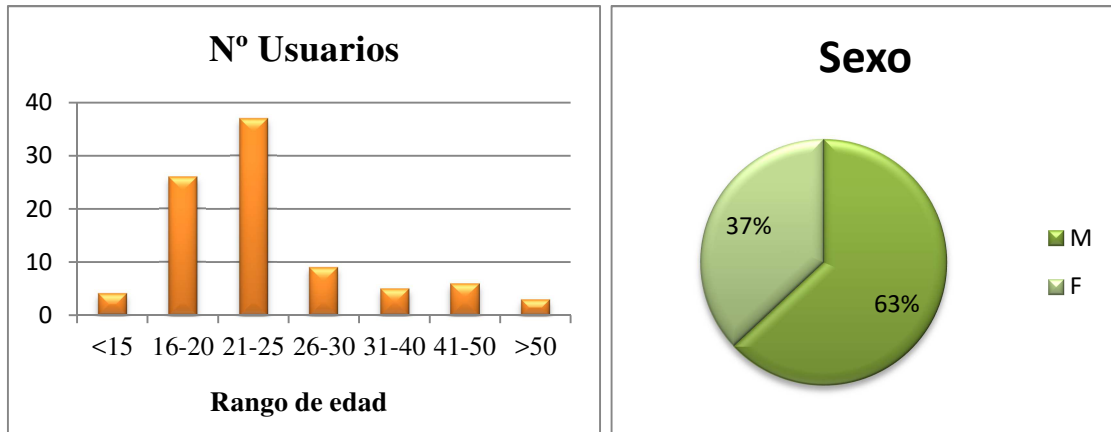


Figura 23. Estadísticas del de usuario

Podemos observar en la figura 24 los resultados sobre el método de interacción mejor valorado en función de si el usuario había estado en una sala de escape o no.

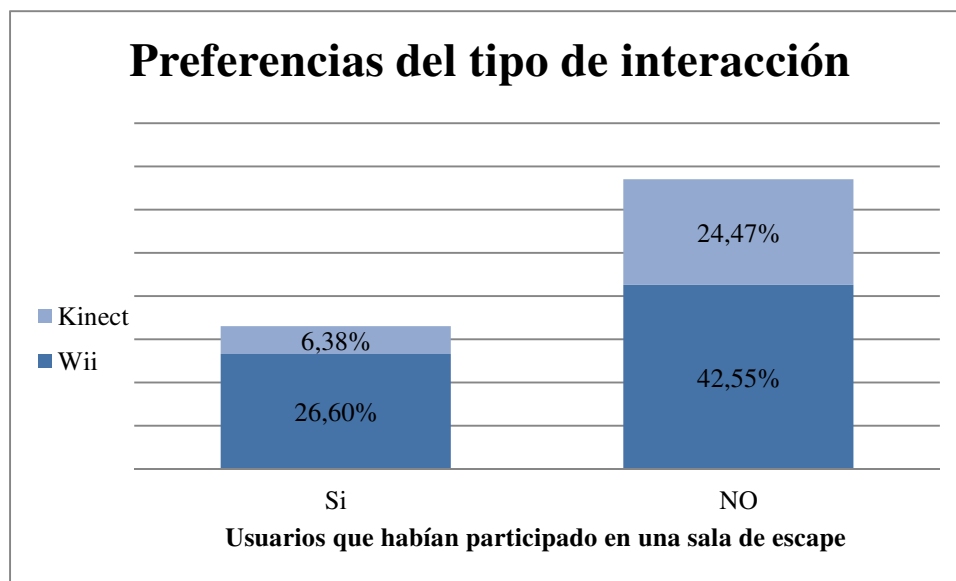


Figura 24. Resumen de resultados de la prueba de usabilidad.

### 4.3.4 Conclusiones

Dados los resultados observables en la figura 24 podemos sacar dos conclusiones principales de esta prueba.

La primera conclusión, relativa a la opinión de la actividad general, es que a pesar de ser un tipo de entrenamiento cuya popularidad se creía en alza, aproximadamente dos de cada tres usuarios no había participado en este tipo de actividad, bien por desconocimiento del concepto, por falta de interés o debido al alto precio de entrada.

Por otro lado, entre los veteranos de este tipo de actividades, esta prueba causó buena sensación puesto que el abanico de opciones y temas a resolver en el mismo entorno es mucho mayor y de menor coste que en una sala real, además de inspirar a algunos usuarios a investigar dentro del mundo audiovisual.

La segunda conclusión, relativa al desarrollo del proyecto, es que el mando de la Wii tiene una mayor aceptación que la Kinect a pesar de involucrar el uso de un mando físico. Como desarrolladores es una conclusión favorable puesto que los requisitos mínimos y la inversión eran menores para este método de interacción.

## **4.4 Software de interacción (desarrollo avanzado)**

Para el desarrollo final de la instalación, empleando como método de interacción el mando de la Wii, empleamos la API generada por un desarrollador software cuyo código podemos encontrar en <https://github.com/FlafLa2/Unity-Wiimote>. Empleando dicha API disponemos de la información de los botones y de los sensores del mando directamente en el software del contenido.

## 5 Conclusiones

En este capítulo de la memoria enunciaremos y definiremos una serie de conclusiones que se han alcanzado a lo largo del desarrollo del proyecto en diferentes aspectos.

### 5.1 Hardware de proyección

El método de proyección de este tipo de instalaciones es uno de los factores más importantes y el que, por lo general, requiere de mayor inversión económica. Debido a esto, en muchas instalaciones audiovisuales de esta índole o similar, se suele buscar y presupuestar material que genere un contenido visual de una calidad superior a la mínima. Sin embargo, a la hora de diseñar el contenido, la resolución de este no se tiene en cuenta. Y es tan importante la resolución de salida del display como la resolución del contenido, en caso de que estas no sean compatibles no se obtendrán resultados.

Por otro lado, el nivel de exigencia del usuario medio con respecto a la resolución de una proyección es, en media, menor de la esperada. Por lo que diseñar una instalación de uso semi-profesional, plantear proyectores de menor resolución, o reducir el número de proyectores a emplear, únicamente aumenta el tamaño de pixel obtenido en unas décimas de milímetro, diferencia perceptible en caso de que el usuario se acerque demasiado a la pantalla.

Este empeoramiento de la calidad que parece tener poca importancia, puede suponer una diferencia en la inversión muy relevante. Por incluir un ejemplo, una diferencia de 0.2mm de pixel, 14 cm entre el usuario y la pantalla, para que no sea perceptible el tamaño de pixel, puede requerir un proyector menos en cada pared y un ahorro de un 20-25% en la parte de equipamiento de proyección y desarrollo software.

### 5.2 Hardware de gestión

La Raspberry Pi 3, es una herramienta de desarrollo útil para el procesamiento de datos y, empleado en el desarrollo de muchos prototipos junto con Arduino. Sin embargo es un hardware de bajo coste en desarrollo cuyas prestaciones en cuanto al procesamiento de imagen y tarjeta gráfica no ha alcanzado todavía los requisitos necesarios que el contenido audiovisual necesita.

### 5.3 Métodos de interacción

Después de haber desarrollado diferentes métodos de interacción inspirados en mandos de consolas y de haber realizado pruebas con usuarios, se han obtenidos diferentes conclusiones.

La primera de ellas es que, acorde con uno de los planteamientos del proyecto, los usuarios esperan de la realidad virtual una aproximación lo más verosímil posible de la realidad. Estos valoran de forma crítica la experiencia esperando emplear herramientas con las que ya estén familiarizados o cuyo aprendizaje no requiera más de unos pocos minutos.

Por otro lado, esperan de la realidad virtual un feedback no solamente visual, es decir, además de incluirlo en el contenido, al realizar según qué acciones como tocar en algún punto de la pantalla, alguna realimentación sonora o táctil como vibraciones a través de los mandos o sonidos que no dependan solo del contenido audiovisual, sino de las herramientas de control.

Por ello se ha decidido que, a falta de un dispositivo específico para este entretenimiento, los mandos bluetooth como los de Nintendo Wii son los más adecuados para este proyecto en cuanto a manejo, aceptación por el usuario y requisitos.

Por otro lado, se han probado diferentes métodos de integración software de los métodos de interacción que se pueden englobar en dos categorías, integración en el software de desarrollo de contenido y desarrollo de software independiente con pasarela de datos al contenido.

La integración de la interacción en el software del contenido, por un lado alarga la fase de depuración del código y desarrollo de la solución final puesto que implementa todo el software en un único programa y, en caso de que este se bloquee por errores de programación, todo lo haría. Por otro lado, de cara al usuario final, tener un único programa desarrollado simplifica la ejecución del contenido.

El uso de diferentes softwares comunicados entre sí, facilita la depuración del código puesto que permite centrar el desarrollo software en cada una de las partes y, con una simple herramienta de comunicación entre softwares se puede integrar fácilmente los datos del método de interacción en el contenido. Por otro lado, para el usuario es necesario ejecutar diferentes softwares cada vez que quiera interactuar con el contenido, lo cual puede desfavorecer su opinión hacia el producto.

Unity permite desarrollar un híbrido entre las dos metodologías puesto que, permite el desarrollo de diferentes ficheros de código, scripts, encargados de diferentes tareas e incluir dichas tareas posteriormente en el contenido audiovisual, de esta forma ofrece una fácil depuración y un único producto software de cara al usuario.



## 6 Trabajo futuro

En este apartado enunciaremos y plantearemos una serie de tareas futuras. Algunas de ellas son soluciones hardware y/o software que se podrían llevar a cabo para poder ampliar las opciones posibles a la hora de llevar a cabo una instalación audiovisual. Otras consisten en profundizar y mejorar las metodologías software que se han desarrollado en el proyecto.

### 6.1 Software de gestión

Como software de gestión de la proyección se podría desarrollar el segundo método propuesto, un sistema para realizar un “Streaming” de las tres paredes (Workers) desde el ordenador central (Master) para que no sea necesaria la transmisión de los archivos del juego ni su almacenamiento en el equipo.

### 6.2 Estudio de sistemas operativos

Durante la fase de pruebas que se realizó con la Raspberry Pi surgieron una serie de cuestiones que no se llegaron a resolver debido a la incompatibilidad del hardware, sin embargo son cuestiones tecnológicas cuyo estudio puede ser interesante. La situación es la siguiente: a la hora de realizar una comunicación entre un equipo Android y un equipo Windows, ambos conectados en la misma red, la forma más simple de comunicación es enviar un ping mediante comandos, como sistema para comprobar si el equipo se encuentra en la misma red o si se tiene acceso a él. Teniendo en la red un equipo Windows (PC) y dos equipos Android (Smartphone y Raspberry Pi) procedemos a comprobar que comunicaciones son posibles. Podemos ver un resumen en la tabla 12. Además del ping se empleó una herramienta de transmisión de ficheros recomendada para uso personal por desarrolladores de aplicaciones Android, Transmisión de ficheros con software FTP (Amazon TFV).

			Equipo de origen			
			PC1	PC2	Smartphone	Raspberry Pi
Equipo de destino y tipo de comunicación	ping	PC1(Windows)	Correcto	Correcto	Erróneo	Erróneo
	ping	PC2(Windows)	Correcto	Correcto	Erróneo	Erróneo
	ping	Smartphone (Android)	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
	ping	Raspberry Pi (Android)	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
	ping	Puerta de enlace	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
	ping	DNS Google (8.8.8.8)	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
	FTP	Smartphone (Android)	Correcto	Correcto		
	FTP	Raspberry Pi (Android)	Correcto	Correcto		

Tabla 12. Resultados de envío de mensajes y ficheros entre equipos en una misma LAN

Dados los resultados y, dado que no era el objetivo del proyecto, podría ser interesante investigar el por qué. Se realizó un breve sondeo y como principales posibilidades se encontraron las siguientes: la capa del modelo OSI [40] sobre la cual envía Android el mensaje no sea compatible con la de Windows. El propio comando “ping” enviado desde aplicaciones que simulan la ventana de terminal el Android no funciona correctamente.

### **6.3 Hardware de gestión**

Como trabajo futuro a desarrollar con respecto al hardware de gestión del contenido, se propone la eliminación del PC de control (Master), mejorando las prestaciones de los otros tres equipos para que estos gestionen la interacción del usuario hacia una pared, comunicándose con el resto para mantener la sincronización del contenido global.

### **6.4 Hardware de interacción**

Como trabajo futuro se propone el diseño un método de interacción dedicado que, con una serie de sensores para captar los movimientos naturales del cuerpo, bien mediante cámaras, mediante “*wereables*” o con la combinación de ambas, se puedan detectar de manera precisa los movimientos de los usuarios.

# Referencias

- [1] <http://openmindroomescape.es/historia-room-escape/> a 17-nov-17
- [2] <http://titulaciones.unizar.es/guias16/index.php?asignatura=30331> a 15-nov-17
- [3] <http://openframeworks.cc> a 15-nov-17
- [4] <https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect/hardware> a 13-nov-16
- [5] <https://www.definicionabc.com/tecnologia/pixel.php> a 17-jul-17
- [6] <http://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/realitatvirtual.html> a 17-jul-17
- [7] [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Realidad\\_mixta&oldid=102954287](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Realidad_mixta&oldid=102954287) a 17-jul-17
- [8] [https://es.wikipedia.org/wiki/Resoluci3n\\_de\\_imagen](https://es.wikipedia.org/wiki/Resoluci3n_de_imagen)  
<http://www.masadelante.com/faqs/resolucion> a 17-jul-17
- [9] <https://www.extron.com/company/article.aspx?id=uedid> a 22-sep-17
- [10] [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Resoluci3n\\_de\\_imagen&oldid=103231955](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Resoluci3n_de_imagen&oldid=103231955) a 17-jul-17
- [11] [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Test\\_de\\_Snellen&oldid=100095183](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Test_de_Snellen&oldid=100095183) a 17-jul-17
- [12] <http://media.axon.es/pdf/80824.pdf> a 17-jul-17
- [13] [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Puntos\\_por\\_pulgada&oldid=96356731](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Puntos_por_pulgada&oldid=96356731) a 19-jul-17
- [14] [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Puntos\\_por\\_pulgada&oldid=96356731](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Puntos_por_pulgada&oldid=96356731) a 19-jul-17
- [15] [http://help.millumin.com/?page=01\\_tutorials\\_basics/screen\\_soft\\_edge](http://help.millumin.com/?page=01_tutorials_basics/screen_soft_edge) a 19-jul-17
- [16] <http://www.reinmedical.com/es/tecnologia/resoluciones-de-monitores.html> a 19-jul-17
- [17] <https://definicion.de/api/> a 10-nov-17
- [18] [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Kit\\_de\\_desarrollo\\_de\\_software&oldid=103025486](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Kit_de_desarrollo_de_software&oldid=103025486) a 10-nov-17
- [19] [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Arquitectura\\_ARM&oldid=102960594](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Arquitectura_ARM&oldid=102960594) a 22-jul-17
- [20] <https://unity3d.com/es>
- [21] Hoja de características de Raspberry Pi 3
- [22] <http://www.eleduino.com/Raspberry-Pi-3-Model-B-DevBoard-p10569.html>
- [23] <https://maythecodebewithu.wordpress.com/tag/kinect/>

- [24] <https://www.nintendo.es/Noticias/2010/Mando-de-Wii-Wii-MotionPlus-El-mando-de-Wii-Plus--252654.html>
- [25] Hoja de características del proyector Optoma X350ST
- [26] Hoja de características del proyector Optoma EH200ST
- [27] Hoja de características del proyector Optoma WU416
- [28] [https://www.ecured.cu/Lux\\_\(unidad\\_de\\_medida\)](https://www.ecured.cu/Lux_(unidad_de_medida))
- [29] <https://www.pccomponentes.com>
- [30] <https://www.raspbian.org/RaspbianImages>
- [31] <http://www.instructables.com/id/Raspberry-Pi-Running-Unity/>
- [32] Hoja de características del mini PC RKM MK36s
- [33] Hoja de características del sensor KINECT
- [34] <https://www.amazon.es>
- [35] <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>
- [36] <https://www.autodesk.es/products/autocad/overview>
- [37] <https://stackoverflow.com> <https://msdn.microsoft.com/es-es/>
- [38] <http://titulaciones.unizar.es/guias16/index.php?asignatura=30316>
- [39] <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=44561>
- [40] <https://www.visualstudio.com/es/>
- [41] <https://support.microsoft.com/es-es/help/103884/the-osi-model-s-seven-layers-defined-and-functions-explained>

# Anexos

## I. Lenguajes de programación empleados

Mostramos en la tabla 13 un resumen de los lenguajes de programación empleados y cuyas APIs hemos consultado a la hora de desarrollar el código de las diferentes partes del proyecto.

Elemento de programación	Lenguajes empleados				
	C#	Batch	Arduino (~C++)	Comandos Linux	XAML
Desarrollo de contenido	x	x		x	
Software conectividad Wii	x	x	x		
Software conectividad Kinect	x				x
Control del sistema Windows	x	x			

Tabla 13. Resumen de lenguajes empleados.

## II. Softwares empleados

Incluimos una lista de softwares empleados cuyos manuales GUI, SDKs, y APIs, han sido consultados:

- Unity 5.6.1
- MonoDevelop 5.9.6
- win32 disk imager
- Amazon FTV
- Bluesoleil
- Wiimote,
- Arduino
- MultimonitorTool
- EAGLE AutoDesk
- AutoCAD AutoDesk
- Microsoft Excel 2010
- Visual Studio 2017
- Termux 0.52 (Android)
- File-manager 2.6.5

### III. Conceptos y vocabulario

#### Resolución

La resolución es el detalle que tiene una imagen en su formato original o el detalle con el que es capaz de mostrarla un determinado dispositivo. Este concepto va generalmente expresado en número de píxeles de ancho y alto.

Podemos hablar de dos tipos de resoluciones:

*La resolución de un contenido se refiere a la agudeza y claridad de este, el número de píxeles que muestran información. Cuanto mayor es el número, mejor es la definición y el detalle con el que se ve una imagen.*

*La resolución de pantalla es el número de píxeles que puede ser mostrado en la pantalla. Viene dada por el producto del ancho por el alto, medidos ambos en píxeles.* Podemos hablar de dos tipos de resoluciones de pantalla:

Resolución absoluta: la anchura y altura de la ventana del monitor, medido generalmente en pulgadas. Depende del monitor.

Resolución o tamaño relativo: viene determinada por el número de píxeles que se muestran en la ventana del monitor. Depende de la tarjeta gráfica y el contenido.

## IV. Hardware de muestra de contenido audiovisual

### Gafas de realidad virtual

Como podemos ver en la figura 25, un casco o unas gafas de realidad virtual (HMD), es un dispositivo que una persona se coloca en la cabeza y que permite mostrar contenido audiovisual en una pantalla muy cerca de los ojos o proyectando directamente el contenido en la retina. El tipo de gafas que tiene una pantalla, puede ser bien una pantalla integrada en el propio dispositivo o bien un soporte en el que poner un teléfono inteligente (*Smartphone*) y ser esta la pantalla que ve el usuario.



Figura 25. Hardware de proyección: Casco o gafas de realidad virtual.

Este dispositivo, dependiendo de la marca y modelo, cuenta con una serie de sensores y periféricos integrados. Uno de los más comunes es el giroscopio el cual se emplea para mostrarle al usuario un espacio de visualización de 360° siguiendo los movimientos de la cabeza, simulando la realidad. Además, en función de la tecnología empleada, permite incluir en el sistema diferentes mandos y accesorios adaptados al contenido para emplear las gafas como sistema de realidad mixta.

Podemos encontrar modelos que consisten en soportes de *Smartphone* que cuestan entre 5 y 200€ y que algunos incluyen periféricos como altavoces; por otro lado las gafas con pantalla incluida oscilan entre cientos de euros hasta varios miles dependiendo de las prestaciones y periféricos.

Como desventaja principal estos equipos presentan menos realimentación física, es decir, un usuario puede emplear mandos para moverse a través del espacio del contenido y ver a otros posibles usuarios, modelos que los representen, dentro del espacio audiovisual e interactuar con ellos, sin embargo no los podrían ver y tocar de forma real. No olvidemos que el objetivo es crear un sistema de virtualización sin perder la sensación de realidad.

## **Pantallas**

Se planteó la opción de emplear pantallas en lugar que superficies de proyección, como ventaja principal, están diseñadas como un dispositivo que el usuario pueda ver desde una distancia cercana, por ejemplo, un monitor de ordenador suele estar a unos cuarenta centímetros, por lo que cubrir la necesidad de conseguir un tamaño de pixel mejor que en el de la sala 1 sería una tarea más sencilla.

Como principal desventaja es que no se comercializan pantallas de tales dimensiones, actualmente se comercializan pantallas de hasta 90", y nuestra referencia parte de 131, por lo que una única pantalla de esas dimensiones no cubre nuestras necesidades además de requerir una inversión de varias decenas de miles de euros.

En caso de diseñar un VideoWall para cubrir las dimensiones de partida, no se han encontrado pantallas de gran tamaño con la relación de aspecto acorde puesto que el mercado ha evolucionado hacia un estilo de pantallas más panorámico centrándose en relaciones de aspecto 16:9 o 16:10. Sin embargo se puede generar una superficie de la misma altura y con una anchura mayor empleando, por ejemplo, cuatro pantallas de 75" con una resolución 16:9 generando una superficie de casi dos metros de alto y más de tres metros y medio de ancho con un tamaño de pixel de 0.8mm. Cada una de estas unidades costaría entre dos y tres mil euros.



## V. Detalles de hardware de interacción

### Mesas o torres interactivas

Las mesas interactivas son unos dispositivos audiovisuales interactivos que tienen un sensor táctil sobre una pantalla en la que muestran un contenido y con el que se puede interactuar. Los sensores de estos equipos pueden ser pantallas táctiles o marcos infrarrojos. Podemos ver algunos ejemplos en la figura 26.

Las características y precio de estos dispositivos dependen de su tamaño y las prestaciones que tengan los sensores. En este caso en concreto es relevante tener en cuenta el número simultáneo de usuarios que podrían interactuar.



Figura 26. Hardware interactivo: torres o mesas interactivas.

Las mesas interactivas tienen la gran ventaja de ser una herramienta con la que muchos usuarios están familiarizados, al fin y al cabo es una pantalla táctil de gran escala. Para nuestra aplicación se podría adquirir una mesa interactiva de pequeñas dimensiones con un coste aproximado de 500€.

La gran desventaja de esta interacción en este proyecto es que las propias pantallas están pensadas tanto para muestra del contenido como para interacción, por lo que el hardware de proyección recibiría menor importancia la instalación se alejaría del símil real que se intenta desarrollar.

### Requisitos mínimos del hardware de Kinect

Mostramos en la tabla 14 los requisitos hardware y software mínimos especificados por el fabricante.

<u>Requisitos hardware mínimos</u>	<u>Requisitos software mínimos</u>
Procesador de 32 bits (x86) o 64bits (x64)	Windows 7 o superior
Procesador de doble núcleo a 2.66GHz o superior	Microsoft Visual Studio 2010 Express o superior
Bus USB 2.0 dedicado	.NET Framework 4.0
2GB de memoria RAM	Microsoft Speech Platform SDK v11
Alimentación de 120.220V a 50-60Hz	

Tabla 14. Requisitos mínimos hardware y software de la Kinect

## VI. Detalles del software de interacción

En este anexo detallamos las herramientas software empleadas para integrar el mando de la Wii como método de interacción. El desarrollo de este sistema se realizó después de la asignatura de la titulación pero antes del desarrollo del proyecto. Las herramientas software empleadas son las siguientes:

- Bluesoleil. Herramienta software encargada de gestionar la comunicación bluetooth entre el mando de la Wii y el ordenador.
- WiinRemote. Herramienta software encargada de gestionar los eventos de los botones del mando asignables a teclas y el control del ratón del PC mediante tres distintos métodos, referencia IR, acelerómetro del mando y joystick acoplable.
- Arduino. Hardware y software encargado de gestionar los emisores infrarrojos de referencia para el mando, mantenía encendidos aquellos relativos a la pantalla donde interactuaban los usuarios.
- MultimonitorTool. Herramienta software que permite, mediante comandos y programas en lenguaje batch configurar las propiedades de las pantallas de un ordenador así como la localización de las ventanas de los programas en ejecución.

El software WiinRemote permite el manejo del ratón empleando referencias IR, sin embargo establece como punto central el centro de la pantalla que el PC tenga establecida como principal. Al interactuar con otras pantallas conmutando los emisores IR, la referencia podría no estar en la pantalla principal, sin embargo siempre se interactuaba con esta. Para solucionar este problema mediante automatismos que el usuario no detectara, empleamos el software de control de pantallas (MultimonitorTool) para configurar como pantalla principal la correspondiente a los emisores IR activos en cada momento del juego.

## VII. Resoluciones estándar

La tabla 15 muestra definiciones de relaciones de aspecto y resoluciones estándar.

Resoluciones/ Relaciones de aspecto	4:3	16:9	16:10	3:2	5:3	5:4
CGA			320x200			
QVGA	320x240					
VGA	640x480					
NTSC				720x480		
WVGA		854x450				
WVGA					800x480	
PAL	768x576					
SVGA	800x600					
XGA	1024x768					
N/A				1152x768		
HD 720		1280x720				
WXGA			1280x800			
WXGA					1280x768	
SXGA						1280x1024
N/A		1366x768				
N/A				1440x960		
SXGA+	1400x1050					
WSXGA			1680x1050			
UXGA (2MP)	1600x1200					
HD1080		1920x1080				
WUXGA			1920x1200			
QXGA (3MP)	2048x1536					
WQXGA			2560x1600			
QSXGA (5MP)						2560x2048
UHD		3840x2160				

Tabla 15. Resoluciones y relaciones de aspecto estándar. [16]

## VIII. Herramientas de cálculo

Se han desarrollado en Excel una serie de herramientas para facilitar el cálculo y la rapidez de este a la hora de manejar las características de los proyectores. Mostramos en las tablas 16 un ejemplo de las diferentes herramientas desarrolladas.

### Cálculo de distancia de visión y tamaño de pixel

En la tabla NNNNN mostramos una captura de la herramienta empleada para el cálculo de distancias mínima de visión y tamaño de pixel apreciable a dicha distancia.

Distancia (m)	Tamaño de pixel (mm)	cte
8,00	11,64	1,454E-03
Distancia (m)	Tamaño de pixel (mm)	cte
1,27	1,85	6,875E+02

Tabla 16. Herramienta para el cálculo de distancias de visión y tamaño de pixel.

### Cálculo de características de una pantalla

En la tabla 17, mostramos una captura de la herramienta empleada para el cálculo y manejo de las relaciones de aspecto, resoluciones y prestaciones de un proyector y la superficie de proyección deseada.

	Relación Nativa				ppi/ppp	Tamaño de pixel (mm)	Cambio a 16:10			Cambio a 16:9		
	Horizontal	Vertical	Diagonal				Horizontal	Vertical	Diagonal	Horizontal	Vertical	Diagonal
<b>4/3</b>												
resolucion(pixeles)	1600	1200	2000			1600	1000	1887	1600	900	1836	
Longitud (cm)	266,00	199,50	332,50	15,3	1,66	266	166	313,68	266	150	305,19	
Longitud(")	104,72	78,54	130,91			105	65	123,50	105	59	120,16	
resolucion(pixeles)	1440	1080	1800			1440	900	1698	1440	810	1652	
Longitud (cm)	266,67	200,00	333,33	13,7	1,85	267	167	314,47	267	150	305,96	
Longitud(")	104,99	78,74	131,23			105	66	123,81	105	59	120,46	
resolucion(pixeles)	1024	768,00	1280			1024	640	1208	1024	576	1175	
Longitud (cm)	266,40	199,80	333	9,8	2,60	266	167	314,15	266	150	305,65	
Longitud(")	104,88	78,66	131,10			105	66	123,68	105	59	120,34	
resolucion(pixeles)	1024	768	1280			1024	640	1208	1024	576	1175	
Longitud (cm)	266,70	200,03	333,38	9,8	2,60	267	167	314,51	267	150	306,00	
Longitud(")	105,00	78,75	131,25			105	66	123,82	105	59	120,47	
resolucion(pixeles)	1024	768	1280			1024	640	1208	1024	576	1175	
Longitud (cm)	265,85	199,39	332,32	9,8	2,60	266	166	313,51	266	150	305,03	
Longitud(")	104,67	78,50	130,83			105	65	123,43	105	59	120,09	
resolucion(pixeles)	1024	768,00	1280			1024	640	1208	1024	576	1175	
Longitud (cm)	10,16	7,62	12,70	256,0	0,10	10	6	11,98	10	6	11,66	
Longitud(")	4,00	3,00	5			4	3	4,72	4	2	4,59	

Tabla 17. Herramienta de manejo de resoluciones con relación de aspecto 4:3.

## IX. Comparación de presupuestos de equipamiento.

Categoría	Elemento	Coste (1 Ud)	Cantidad	Precio	Breve descripción
Métodos de proyección	MP Gafas VR	500 €	8	4.000 €	Gafas de Realidad virtual con pantalla propia
	MP Soporte Gafas VR	50 €	8	400 €	Gafas de realidad virtual, soporte para Smartphone
	MP Pantallas (solución 1)	2.500 €	12	30.000 €	VideoWall de visualización, pantallas que cubran toda la superficie de la pared, 4 pantallas de 65" (un total de 130") por pared <sup>1</sup>
	MP Pantallas (solución 2)	1.000 €	27	27.000 €	VideoWall de visualización, pantallas de led que cubran toda la superficie de la pared (un total de 130") <sup>1</sup>
	MP Pantallas (solución 3)	12.000 €	3	36.000 €	Una única pantalla en cada pared de dimensiones máximas permisibles por la tecnología actual
	MP Pantallas interactivas (65")	1.800 €	12	21.600 €	VideoWall de pantallas interactivas que cubran toda la superficie de la pared (un total de 130") <sup>1</sup>
	MP Pantallas interactivas (86")	5.000 €	3	15.000 €	Una única pantalla interactiva en cada pared de dimensiones máximas permisibles por la tecnología actual
	MP Soporte telas retroproyección	0 €	1	0 €	--
	MP Tela retroproyección (solución prototipo)	0 €	3	0 €	--
	MP Proyectoros (solución prototipo)	500 €	3	1.500 €	Optoma X305ST
	MP Tela retroproyección (solución profesional)	350 €	3	1.050 €	Diferentes proveedores
	MP Proyectoros (solución Propuesta 2)	1.000 €	3	3.000 €	Optoma WU416
MP Proyectoros (solución Propuesta 3)	1.000 €	3	3.000 €	Optoma EH200ST	
Hardware de gestión	HG PC mínimo	400 €	1	400 €	Ordenador con requisitos mínimos para ejecutar el software de interacción del usuario con el entorno audiovisual.
	HG Procesador y Trajetas Gráficas	1.000 €	1	1.000 €	Mejoras en los componentes del ordenador mínimo para que sea capaz de gestionar y proyectar el contenido en las 3 paredes además de gestionar el software de interacción.
	HG Raspberry Pi 3 o similar	50 €	3	150 €	Hardware de procesado con características similares a un mini PC
	HG Mini PC	150 €	3	450 €	Mini PC de pocos requisitos en cuanto al procesado de imagen y almacenamiento. Necesidad de salida HDMI y tarjeta de red.
Métodos de interacción	MI Mesas interactivas	500 €	1	500 €	Pequeña mesa interactiva situada en el centro de la sala
	MI Kinect Microsoft	150 €	3	650 €	Controlador Kinect de Microsoft + Coste de integración de 3 Kinect en el PC de control
	MI Mando Bluetooth con sensores	25 €	4	120 €	Mando de Nintendo Wii o similar + USB Bluetooth + hardware de gestión de emisión infrarroja
	MI Mando Bluetooth o cable (solo botones)	8 €	8	64 €	Mando conectado mediante bluetooth o cable. Diferentes botones pero sin otros sensores. Modelos de consolas conocidas.
	MI Mando Bluetooth o cable (solo botones)	60 €	8	480 €	Mando conectado mediante bluetooth o cable. Diferentes botones pero sin otros sensores. Modelos de consolas conocidas.
	MI Otros	--	--	--	Sistema de interacción propio