

# Anexo I.

## GESTIÓN DEL TRABAJO

**Autor:**

**Raúl Ordax de las Heras**

**Directores:**

**José Ramón Beltrán**

**Sandra Baldassarri**



### 1. Desarrollo temporal (Págs. 3-4)

### 1. Herramientas utilizadas (Págs. 5-7)

Este anexo tiene por objetivo mostrar gráficamente el desarrollo temporal de las distintas fases del trabajo. También se muestran las planificaciones para el desarrollo de los diferentes objetivos. Por último se describen las herramientas utilizadas (software y hardware) durante el proceso.



## 1. DESARROLLO TEMPORAL

Este Trabajo Fin de Grado comienza el 22 de Septiembre de 2014, con el inicio del proyecto de investigación Immertable del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), el cual finaliza el 31 de Diciembre de 2014, pero el TFG acaba con la redacción de la presente memoria a principios de Noviembre de 2015.

El desarrollo de este proyecto se ha dividido en varias fases que pueden observarse en el siguiente diagrama (ver imagen 1). Como se observa a partir de Enero de 2015 el proceso se ve ralentizado debido a que no se tiene una disponibilidad a jornada completa, como sí que se había tenido hasta entonces, sino que se sigue desarrollando el proyecto esporádicamente.

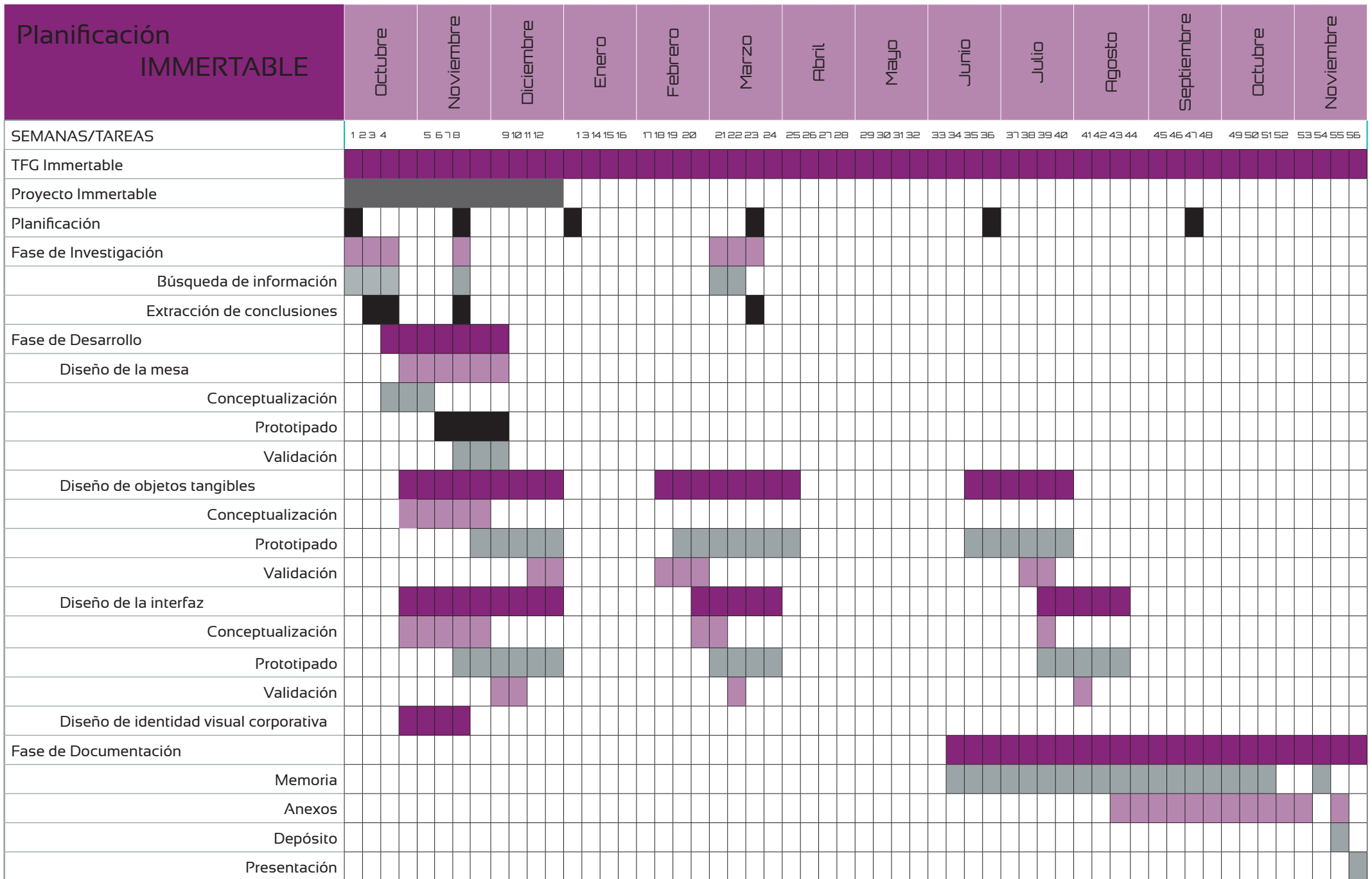


Imagen 1. Desarrollo temporal

## 2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

En este apartado se realiza una breve descripción de los distintos soportes que han sido necesarios para la realización de este trabajo. Dichos soportes se han dividido en dos grupos dependiendo de si han sido necesarios para la creación de la interfaz o de los objetos tangibles.

### Creación de la interfaz

Para la creación de la interfaz se utilizan distintos software de procesamiento de imagen y también de animación y efectos visuales:

- Adobe Illustrator: con este software se han generado elementos gráficos vectorizados que debían de implementarse sin perder calidad. Un ejemplo claro es la imagen corporativa del proyecto, tanto su logotipo como su imago tipo (ver imagen 2).
- Adobe Photoshop: este programa ha servido para la creación de casi todos los elementos implementados en la interfaz. Imágenes de formato .png que permitían una composición por capas con transparencia para así poder animar cada una de ellas independientemente y generar una interfaz dinámica (ver imagen 3).

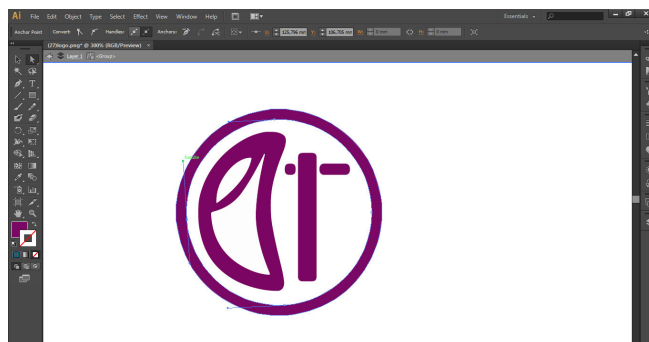


Imagen 2. Adobe Illustrator

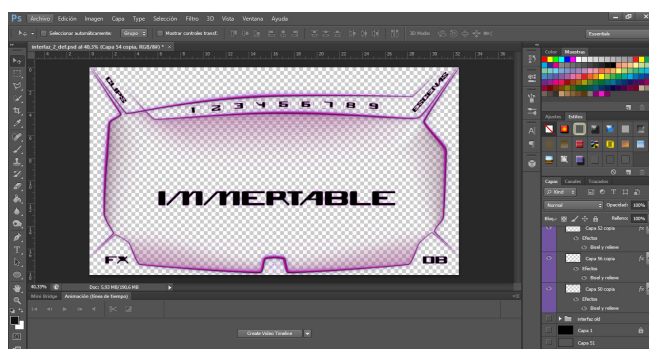


Imagen 3. Adobe Photoshop

## 2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

### Creación de los objetos tangibles

Para diseñar los modelos sobre los objetos tangibles se han utilizado los siguientes software:

- Autodesk Inventor: este software de diseño 3D CAD, ha permitido crear objetos con medidas exactas tanto de espesores como de dimensiones. Ha sido muy útil a la hora de poder modelar prototipos para su posterior impresión, y posteriormente poder modificarlos de manera rápida para ajustarlos al resultado buscado (ver imagen 4).
- Rhinoceros: con este programa de modelado 3D, se ha podido desarrollar elementos de formas más orgánicas que se adaptaban a la mano del usuario. La libertad de edición de malla que ofrece este software hace que sea adecuado para generar modelos volumétricos muy rápidamente, permitiendo poder imprimir y visualizar prototipos para ajustar los objetos al resultado deseado (ver imagen 5).

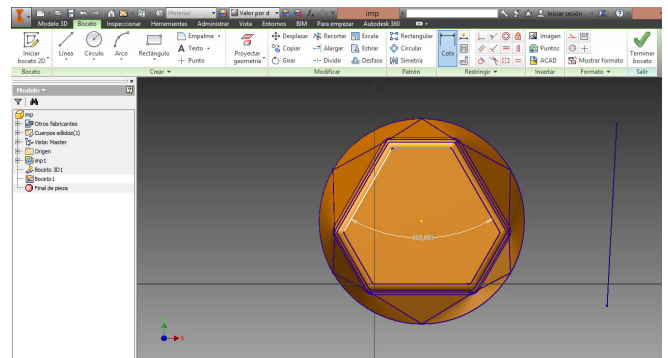


Imagen 4 Autodesk Inventor

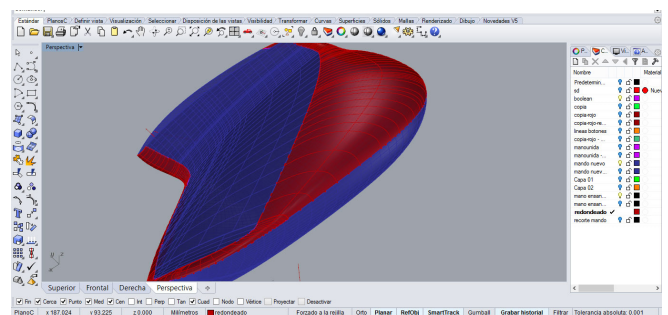


Imagen 5 Rhinoceros

## 2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para la creación de los objetos, se ha dispuesto de una impresora 3D, BCN3D+ Dual Extruder (ver imagen 6) [17], la cual se procede a calibrar y testear para conseguir los resultados deseados (ver Anexo III: Impresión 3D).

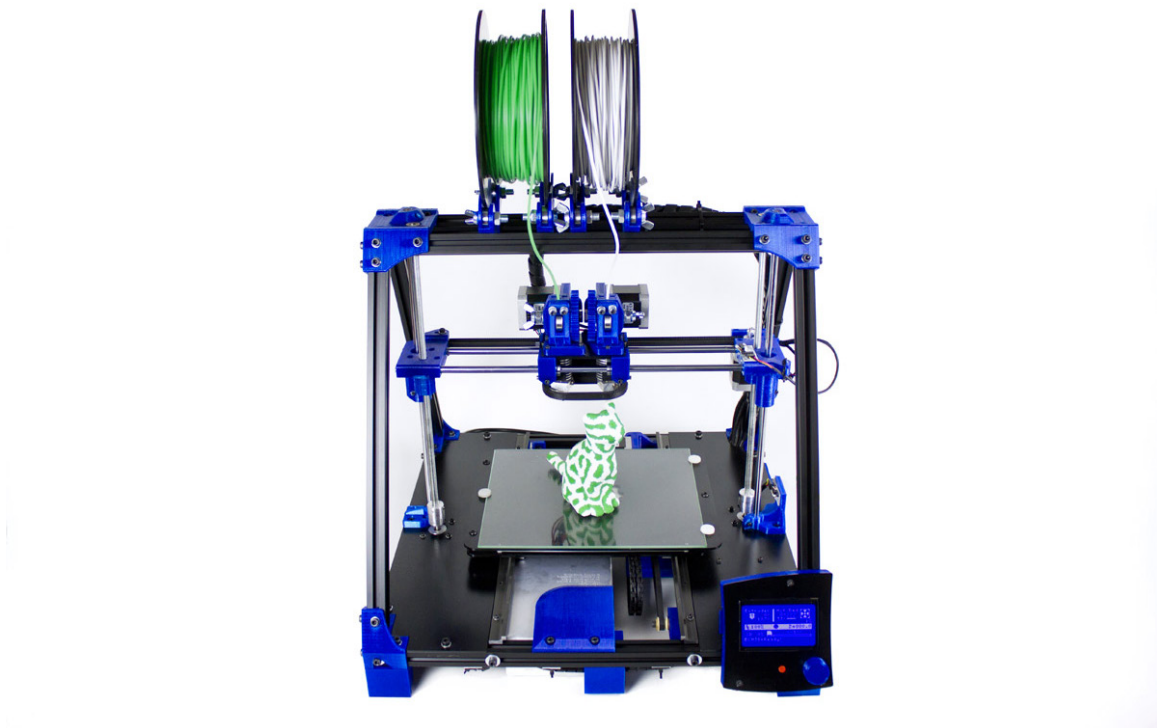


Imagen 6. Impresora 3D, BCN3D+ Dual Extruder

Para ello se ha contado con diferentes materiales (PLA, ABS y PVA), cada uno con unas cualidades explicadas a continuación:

- PLA: Es un material fácil de imprimir, de origen vegetal y por lo tanto, biodegradable y sin olores al derretirse. Las piezas impresas en PLA tienen un buen acabado superficial aunque las capas sean muy visibles. Además con este material no es necesario calentar la superficie de impresión o cama. Es por ello que se ha utilizado para la generación de prototipos volumétricos no funcionales.

## 2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

- ABS: Es un material muy resistente y con mejor acabado superficial, aunque es necesario calentar la cama y aun así existe riesgo de aparición de *warping* (levantamiento por los extremos, debido a una falta de adherencia provocada por las contracciones del material, a causa del cambio de temperatura entre capas). Además se dispone de ABS translúcido, el cual ofrece unas características lumínicas ideales para el resultado buscado, es por ello que será el material con el que se realicen las impresiones finales y los prototipos funcionales.
- PVA: Es un material hidrosoluble ideal para imprimir soportes y luego retirarlos sumergiendo la pieza en agua. Este material fue muy útil a la hora de imprimir piezas huecas debido a la necesidad de alojar cables y electrónica a través de ellas.

También se han tenido que procesar todos los modelos 3D a través del software CURA (ver imagen 7), el cual ha permitido configurar los distintos parámetros de impresión para adaptarlos en cada caso y así poder obtener buenos acabados en los objetos.

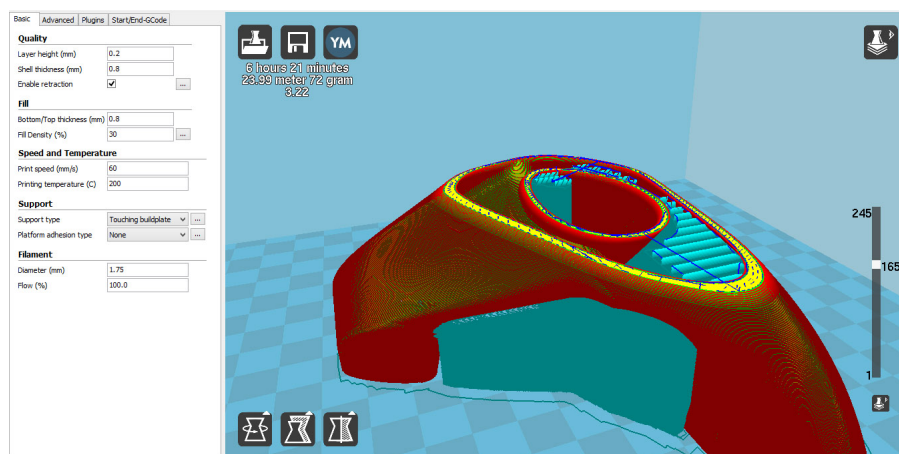


Imagen 7. Software de impresión 3D, CURA

# Anexo II.

## CONSTRUCCIÓN DE LA MESA

**Autor:**

**Raúl Ordax de las Heras**

**Directores:**

**José Ramón Beltrán**

**Sandra Baldassarri**

# ANEXO II. CONSTRUCCIÓN DE LA MESA

## ÍNDICE



### 0. Introducción

(Págs. 3-4)

### 1. Componentes

(Págs. 5-7)

### 2. Necesidades tecnológicas

(Pág. 8)

### 3. Ergonomía

(Págs. 9-11)

### 4. Soluciones tecnológicas

(Págs. 12- 29)

### 5. Diseño Final

( Págs. 20-24)



## 0. INTRODUCCIÓN

El proyecto Immertable, está basado en el concepto de las *tabletops*, que son superficies horizontales aumentadas computacionalmente, también llamadas mesas de interacción tangible.

En general, para abordar la interacción tangible sobre una *tabletop* se utiliza una serie de marcadores o fiduciales que, a través de su reconocimiento, provocan determinados eventos y acciones dentro de la aplicación. Un fiducial es una imagen, que situada en la base de un objeto físico permite identificarlo mediante un sistema de detección visual (cámara infrarroja). Este marcador puede dar información como identidad, posición y orientación.

La interacción se lleva a cabo sobre la superficie horizontal, la cual es el punto de entrada de información, a través de las acciones con los objetos físicos dotados de fiducial, y la salida se puede producir en la propia superficie de la mesa o en otra pantalla (reacción visual), en altavoces (reacción auditiva), mediante vibración de otros objetos físicos (reacción táctil), o en todos ellos a la vez.

En adición a una tabletop convencional, la mesa de interacción tangible Immertable incluye las tecnologías Kinect y Leap. Es por esta razón por la que Immertable se plantea con una interfaz a doble pantalla, permitiendo de esta manera que las interacciones capturadas mediante Kinect puedan mostrarse en la línea de visión del usuario, siendo así más intuitivas.

En este anexo se amplía la información del proceso completo de la construcción de la mesa Immertable. Desde la selección de los distintos materiales, procesos de construcción, diseño de elementos estructurales, etc.

## 0. INTRODUCCIÓN

Para estructurar el anexo (ver imagen 1), primero son descritos los distintos componentes que forman la mesa Immertable, se establecen las necesidades requeridas en relación a la mesa, para posteriormente analizar el entorno y la ergonomía básica que permita establecer las especificaciones de diseño de producto. Una vez establecido el croquis con las dimensiones adecuadas, se procede a analizar las diferentes partes de la mesa, de una en una. Seleccionando la mejor solución técnica en cada caso y los materiales adecuados con los que trabajar.

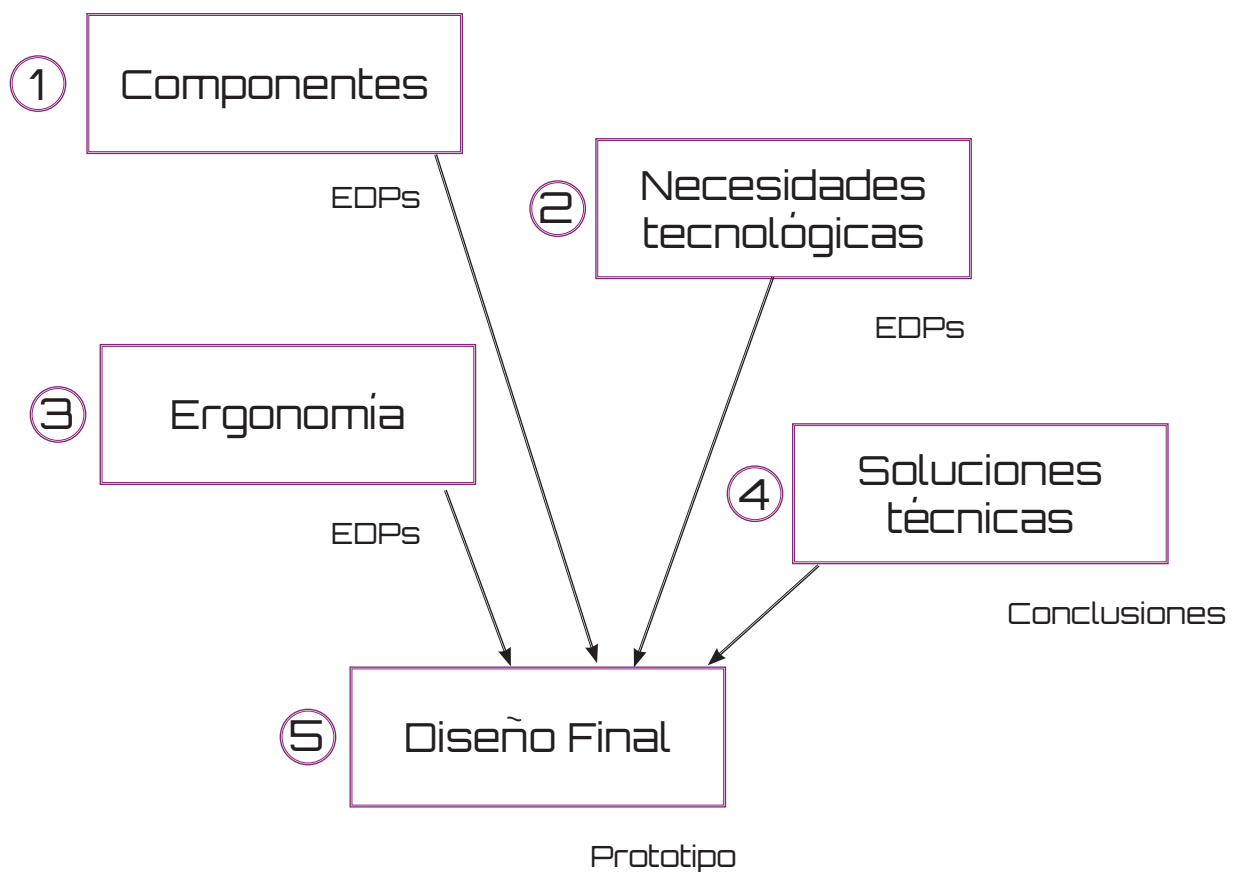


Imagen 1. Estructura Anexo II. Construcción de la mesa

## 1. COMPONENTES

Antes de proceder al análisis funcional de la mesa, se van a especificar los diferentes elementos que componen la mesa interactiva Immertable:

- **Superficie frontal o monitor:** es el elemento que sirve para poder mostrar la parte superior de la interfaz (ver imagen 2). Pueden desarrollarse elementos 3D, para un monitor con estereoscopía.



Imagen 2. Monitor

- **Superficie horizontal o mesa:** es una zona de interacción donde se proyecta el resto de la interfaz, y sobre la que se introducen los diferentes objetos tangibles con fiduciales. Es por esta razón por la que debe de ser translúcida, para que pueda capturar la imagen del proyector y a la vez permita que la cámara visualice y reconozca los distintos fiduciales (ver imagen 3).



Imagen 3. Superficie horizontal o mesa

## 1. COMPONENTES

- **Iluminación difusa:** es necesario que en el interior de la mesa se produzca una iluminación mediante LEDs infrarrojos (ver imagen 4), esta debe ser difusa para no provocar ni brillos ni zonas con intensidad excesiva que cieguen la cámara. Esta iluminación permite que la cámara pueda detectar correctamente los fiduciales y acciones que se produzcan sobre la superficie horizontal.

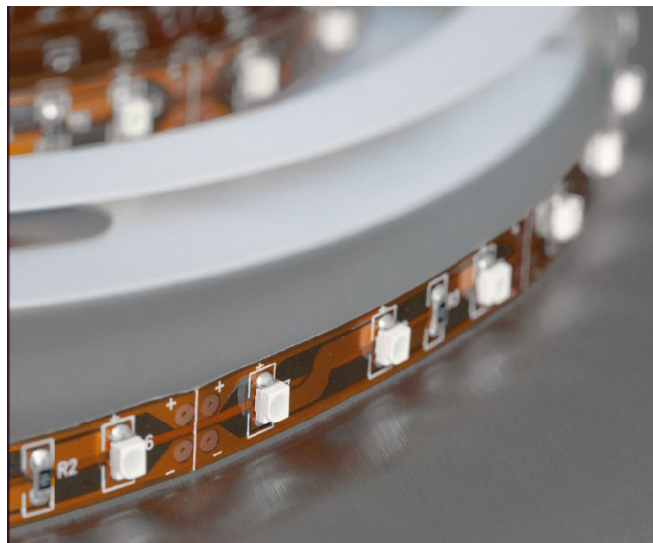


Imagen 4. Tira de LEDs

- **Cámara de video:** es el periférico encargado de recoger las acciones realizadas por los objetos, se encarga de capturar sus fiduciales para enviarlos al ordenador y procesarlos mediante el software específico (ver imagen 5). También detecta cualquier interacción que se haga sobre la superficie horizontal, convirtiendo a ésta en una superficie multitouch.



Imagen 5. Cámara

## 1. COMPONENTES

- **Proyector:** se necesita un mínimo de uno, aunque si la pantalla frontal finalmente no se resuelve mediante un monitor, es necesario otro proyector que emita la imagen a la superficie considerada (ver imagen 6). Gracias a ellos el usuario puede visualizar la interfaz y la información tiene un canal de salida para proporcionar un *feedback* en las interacciones sobre el sistema .



Imagen 6. Proyector

- **Espejo:** elemento indispensable debido a las características de los proyectores, los cuáles como mínimo suelen tener un rango de tiro de 0.8 m para conseguir proyectar una pantalla del tamaño requerido. Es necesario pensar en un sistema de calibrado en ángulo, para que el sistema pueda ser ajustado, y conseguir así neutralizar los posibles efectos de *keystone* o trapezoidales (ver imagen 7), es cuando la imagen proyectada fuga hacia arriba o abajo, provocando que se vea distorsionada.

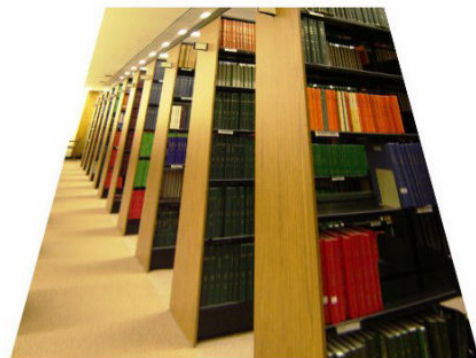


Imagen 7. *Keystone*



## 2. NECESIDADES TECNOLÓGICAS

La mesa de interacción tangible Immertable es un proyecto de interfaz tangible que establece como requisito la cohesión de diferentes tecnologías para crear una comunicación con el usuario única y completamente diferente a lo desarrollado hasta el momento.

Las tecnologías que deben incorporarse e implementar en el sistema son las siguientes:

- Tecnología de fiduciales: reconocimiento de fiduciales
- Tecnología de proyección (tipo holográfica)
- Tecnología Kinect
- Tecnología Leap
- Emisores y cámaras infrarrojas
- Proyector
- CPU controladora

Una vez acotadas las diversas tecnologías que se deben aunar bajo un mismo diseño, se procede a analizar las posibles dificultades técnicas para poder desarrollar un correcto puesto de trabajo con el que el usuario final no encuentre serios problemas de usabilidad. Para ello se establecen unas especificaciones ergonómicas y soluciones tecnológicas posibles para las interacciones deseadas.

## 3. ERGONOMÍA

Según los distintos trabajos a desempeñar en puestos de trabajo que requieren que el usuario se mantenga de pie (como es el caso), se encuentran diferentes alturas aconsejables desde un punto de vista ergonómico [18].

Cada caso depende directamente del tipo de acción a desarrollar sobre la superficie de trabajo, diferenciando entre trabajos de precisión, livianos o pesados, siendo los primeros aquellos en los que no se requieren esfuerzos físicos grandes y si que el objeto manipulable se encuentre dentro del campo

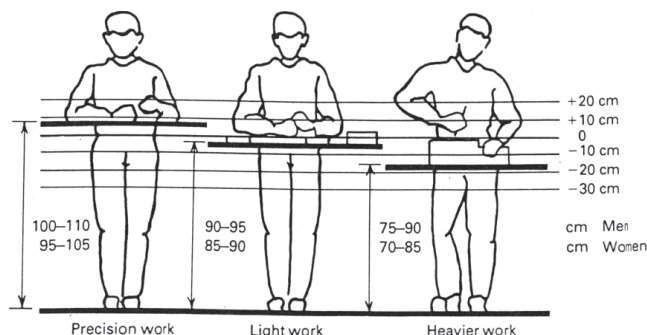


Imagen 8. Altura de plano de trabajo según tipo de tarea

visual del usuario, y los últimos aquellos en los que por el contrario se deben manipular objetos más pesados y conllevan un esfuerzo físico considerable. Por lo tanto el trabajo a desempeñar por el músico se clasifica (usuario de la mesa Immertable) como un trabajo liviano, y la altura recomendada comprendida entre los 85-110 cm (ver imagen 8).

Según las áreas de interacción de trabajo se pueden vislumbrar tres zonas diferentes, las cuales se clasifican según usabilidad en: trabajo usual, ocasional y áreas en la que no se trabaja (ver imagen 9).

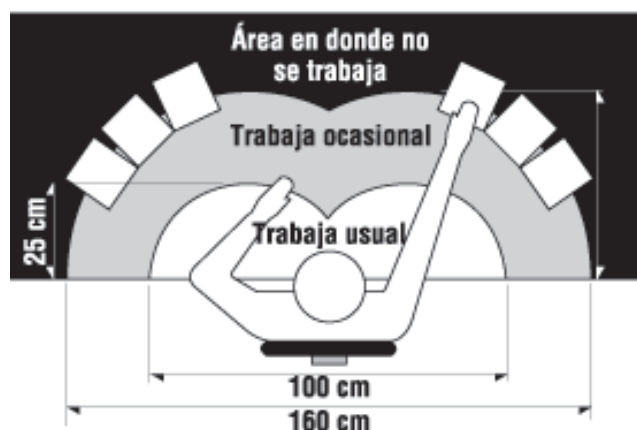


Imagen 9. Áreas de interacción de trabajo

## 3. ERGONOMÍA

La mesa Immertable, dado que es una superficie de interacción tangible y toda su superficie debe ser accesible, se define con un máximo de 160 cm de largo y 50 cm de profundidad, siendo de esta manera ergonómicamente adecuada para el caso del trabajo. Como las interfaces desarrolladas son de resoluciones de pantalla de proyección con relación 16:9, el tamaño de la zona de interacción se acota según dicha relación escogiendo la que mejor encaje y maximice la zona de interacción dentro de los parámetros establecidos.

Una vez analizados los parámetros que ofrecen los proyectores seleccionados y sus características de relación de tiro se puede acotar la resolución del área de trabajo.

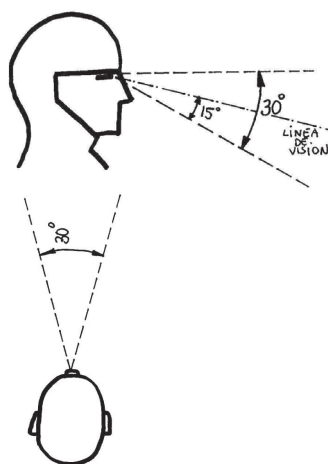


Imagen 10. Ángulos de confort de visión

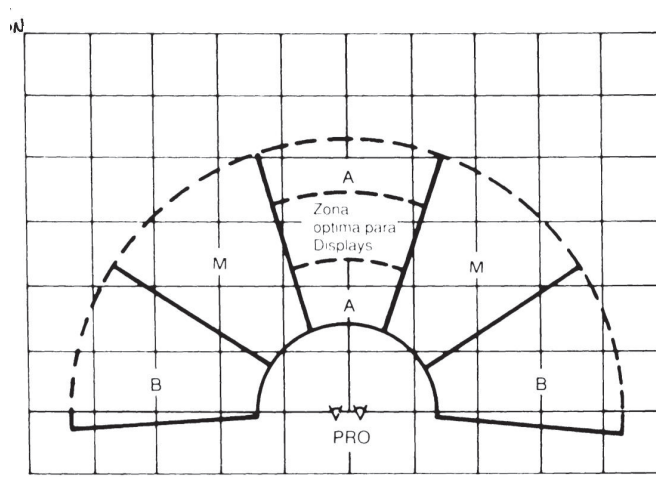


Imagen 11. Campo de visión vista en planta

En las imágenes anteriores, se pueden apreciar los ángulos de visión que no se deben sobrepasar para que el usuario pueda interactuar con la mesa de manera cómoda y sin perder ningún detalle, dado que todo se incluye en su campo de visión establecido dentro del área de confort. Por ello la pantalla frontal se sitúa con una leve inclinación hacia atrás, permitiendo que todo lo proyectado en ella entre en el ángulo visual de 15° marcado desde la línea horizontal de la altura de los ojos hacia abajo (ver imagen 10), y dentro de un ángulo de 80° en vista de planta, tomando como vértice del ángulo al usuario (ver imagen 11).

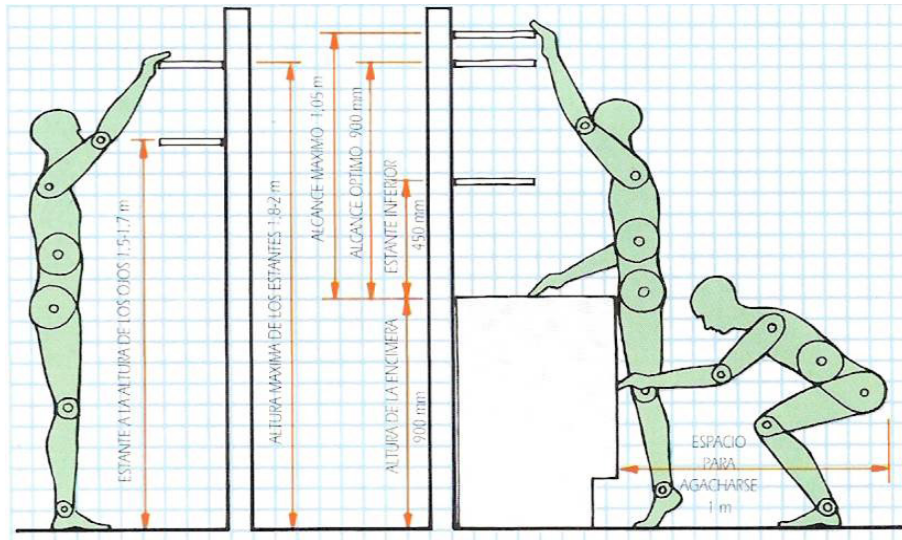


Imagen 12. Alcances

Para el posicionamiento de la pantalla superior y el diseño de las diferentes interacciones que el usuario deba realizar, se debe de tener en cuenta las posiciones máximas a nivel ergonómico que un ser humano puede realizar de manera cómoda, para ello se tiene presente no sobrepasar las medidas que se muestran en la imagen (ver imagen 12).

### Conclusión

Tras el análisis ergonómico se fijan las siguientes especificaciones estructurales sobre la mesa:

- Alto: 900 mm (hasta la superficie horizontal en la que se proyecta la pantalla de reconocimiento de fiduciales e interacción tangible).
- Ancho: 1300 mm (dado que las resoluciones máximas de pantalla que abarcan en los 500 mm de profundidad son alrededor de las 50" con un ancho de pantalla de unos 1000 mm).
- Profundidad: 800-900 mm (tras analizar los tamaños de dispositivos Kinect y LEAP, y de la pantalla, se determinan esas medidas).

## 4. SOLUCIONES TÉCNICAS

### 4.1. PANTALLA FRONTAL

Para esta pantalla se desea una interacción con el usuario que le transmita una sensación holográfica, por lo tanto se analiza el mercado y se estudian las siguientes posibles soluciones técnicas existentes:

- **Pantalla 3D de autoestereoscopia:** las pantallas 3D autoestereoscópicas proporcionan el efecto que se desea, aunque según los artículos el efecto 3D en estas pantallas es muy limitado y no permite al usuario moverse con libertad debido a que debe mantenerse en un limitado campo visual con respecto del centro de dicha pantalla (ver imagen 13). Además al tratarse de una pantalla opaca se crea también el inconveniente añadido de que no se ofrece un espectáculo visual al público asistente, e incluso que el propio músico no puede establecer una comunicación no verbal con ellos [19].



Imagen 13. Pantalla 3D

## 4. SOLUCIONES TÉCNICAS

- **Pantalla LCD transparente:** las pantallas de LCD transparentes consisten en un pequeño habitáculo con luz propia interior. Proporcionan el efecto que se busca aunque como inconveniente se puede destacar que requieren de un mayor espacio de instalación, dado que no es una simple pantalla (ver imagen 14). Para ampliar información se puede consultar la referencia bibliográfica [20].

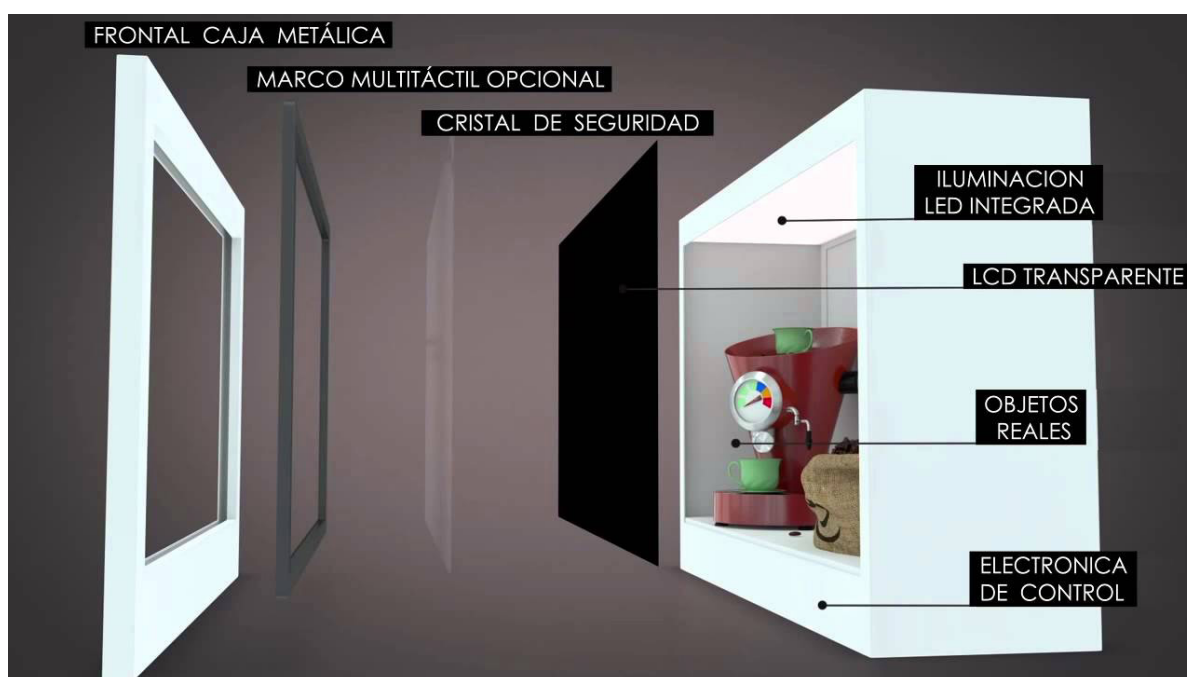


Imagen 14. Pantalla LCD transparente

- **Pantallas de Helio y de emisores de agua:** este tipo de tecnología ofrece pantallas no físicas en las que se puede proyectar imágenes, creando totalmente el efecto holográfico y de 3D que se requiere en este proyecto. Las Heliodyplay reproducen la imagen en aire tratado por la máquina, es una tecnología en procesos de investigación aunque hay dispositivos a la venta (de gran coste, alrededor de los 18.000 dólares), los emisores de agua crean también una superficie no física donde proyectar, este tipo de

## 4. SOLUCIONES TÉCNICAS

tecnología se suele colocar en grandes superficies y no acaba de adecuarse a las especificaciones del proyecto dado que la pantalla debe tener cierta inclinación ergonómica en referencia al campo visual del espectador (ver imagen 15), provocando que la visualización delimite en exceso el posicionamiento del usuario [21].



Imagen 15. Pantalla de Helio

- **Pantallas de humo:** las pantallas de humo (ver imagen 16), están formadas por vapor de agua o cualquier otro tipo de gas no dañino. Crean al igual que las anteriores una superficie no física en la que proyectar y proporcionan las características de interfaz establecidas [22].



Imagen 16. Pantalla de Humo

- **Pantallas de capas:** son pantallas compuestas de una serie de capas donde cada una se encarga de recoger y reflejar ciertos haces de luz, y dejar pasar el resto que se recoge en otra capa (ver imagen 17). De forma que se crea una proyección en profundidad. Este tipo de tecnología se denomina pantallas Transcreen [23].

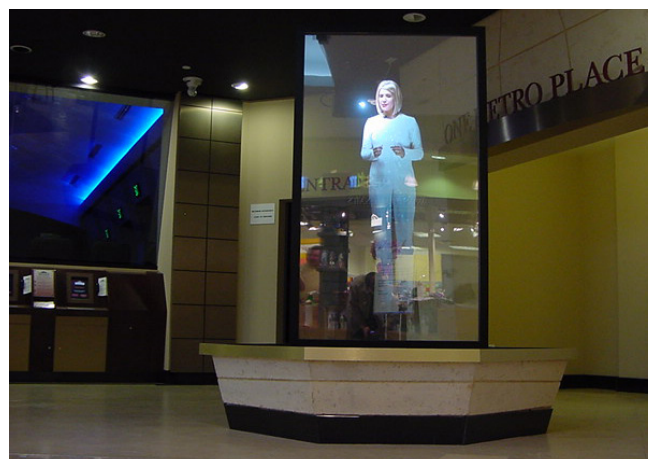


Imagen 17. Pantalla de Capas

## 4. SOLUCIONES TÉCNICAS

- **Pantallas de pirámide invertida:**

consiste en la creación de un espacio delimitado por unas paredes transparentes en posición de pirámide invertida (ver imagen 18). El gran inconveniente es el espacio que requieren, por lo tanto para este proyecto a nivel de usabilidad no es la solución más adecuada [24].

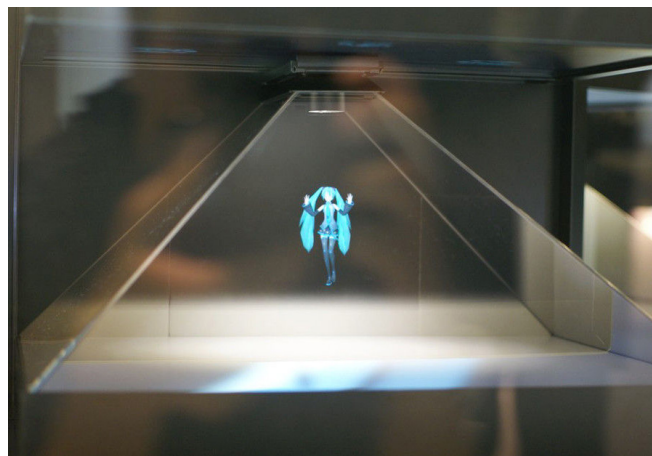


Imagen 18. Pantalla de pirámide invertida

- **Vinilos transparentes de retroproyección:**

Se trata de superficies adheribles las cuales requieren de una superficie rígida y transparente (ver imagen 19). Se encargan de capturar la luz emitida por el proyector y al ser transparentes proporcionan la sensación de que la proyección es holográfica y flota en el aire [25].



Imagen 19. Vinilo transparente de retroproyección



## 4. SOLUCIONES TÉCNICAS

### Conclusión

La tecnología que se adapta mejor a las necesidades requeridas es la proyección sobre una superficie transparente a la que se adhiera un vinilo de retroproyección, siendo además la opción más económica y que se ajusta al presupuesto inicial establecido.

Por motivos estructurales se decide que la superficie transparente sobre la que pegar el vinilo debe de ser un metacrilato o un policarbonato rígido, dado que el cristal pesa demasiado y puede causar difracciones ópticas.

### 4.2. PROYECTORES

Tras determinar una solución de proyección para la interfaz frontal, se requiere la adquisición de dos proyectores independientes para poder emitir ambas interfaces. Para la elección de los proyectores se deben tener en cuenta tres factores determinantes:

- Potencia en lúmenes
- Relación de tiro
- Resolución nativa de 16:9

Los demás aspectos de calidad de imagen, tamaño, ajuste de *keystone*, tipo de lámpara, zoom, etc, también influyen en la elección pero no son críticos, debido a las características del entorno de la instalación y de la superficie sobre la que proyectan.

Tras analizar la funcionalidad de la mesa, se determinan los siguientes parámetros para los factores críticos de elección de cada uno de los dos proyectores.



## 4. SOLUCIONES TÉCNICAS

### Proyector para la pantalla frontal “holográfica”:

- Una potencia de 3000 lúmenes dado que retroilumina la pantalla frontal. Esta pantalla se plantea totalmente transparente a modo holográfico, la necesidad de una gran potencia lumínica viene implícita para poder conseguir una imagen visiblemente adecuada.
- Una relación de tiro media o corta, no es necesaria la relación de tiro corta dado que se dispone de suficiente distancia hasta la pantalla de proyección. Lo que si se descarta son los de tiro largo puesto que no proporcionan una resolución de pantalla adecuada. Se establece entonces como requisito proyectores con un máximo ratio de tiro de 1.5-1.6.
- La resolución nativa del proyector debe ser panorámica (16:9 o 16:10), no se buscan proyectores de 4:3, puesto que estos al cambiar de resolución manualmente deforman el tamaño de la imagen para que se adapte a la resolución panorámica.

### Proyector para la pantalla horizontal “tangible”:

- Una potencia entre 2000-3000 lúmenes, debido a que la distancia a la superficie de proyección es menor que en el caso anterior y que la superficie de esta pantalla es translúcida, no se requiere que este proyector cuente con una gran capacidad lumínica.
- Un proyector de tiro corto, en este caso debido a las cortas distancias de las que se dispone es necesario que el proyector tenga un ratio de tiro entre 0.6-0.8.
- La resolución nativa de este proyector también será de 16:9, dado que como ya se establece anteriormente la interfaz es panorámica permitiendo aportar una interacción objeto/usuario más ergonómica.

## 4. SOLUCIONES TÉCNICAS

### Conclusión

Con los requisitos fijados se analiza el mercado seleccionando los siguientes proyectores:

- Para la pantalla frontal: Benq MH680 (ver imagen 20).
- Para la pantalla horizontal: Benq W1080ST (ver imagen 21).



Imagen 20. Proyector Benq MH680



Imagen 21. Proyector Benq W1080ST

### 4.3. ESPEJOS

Tras recopilar las dificultades técnicas de la anterior mesa de interacción tangible “Nikvision” desarrollada, se resalta un inconveniente a intentar solucionar, el cual se basa en un problema de *Ghosting* o duplicidad de imagen en la proyección (ver imagen 22). Finalmente tras una breve investigación se concluye que dicho problema proviene de los propios espejos que reflejan la proyección. Los espejos al tener recubrimiento provocan una leve difracción en los haces de luz causando este problema de *ghosting*.

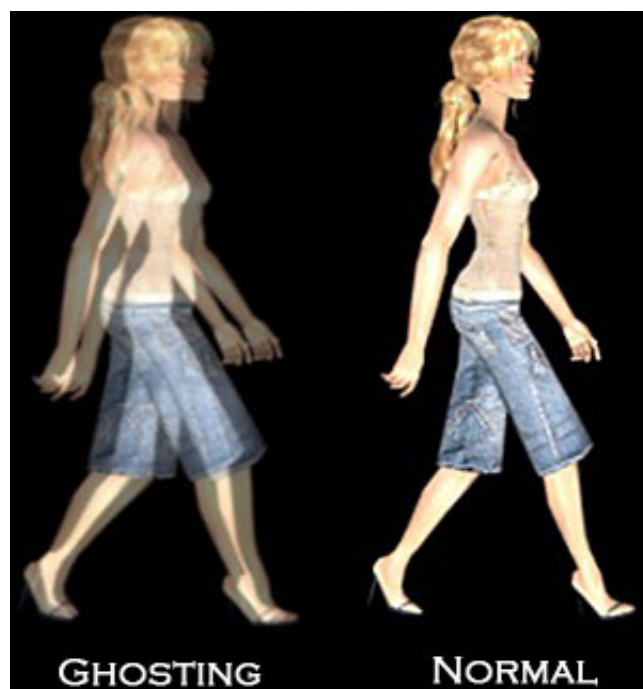


Imagen 22. Problema de *ghosting*

## 4. SOLUCIONES TÉCNICAS

Este tipo de problema, es bastante crítico para la proyección de la pantalla horizontal, dado que la cámara de detección de fiduciales funciona peor debido a él. En la pantalla frontal no es algo determinante dado que la interacción con ella se realiza mediante la detección del cuerpo, y a nivel de visualización no es algo demasiado significativo.

La solución a dicho problema se basa en la utilización de espejos de superficie única, o de primera superficie (ver imagen 23). En otras palabras, espejos que no lleven ningún tipo de recubrimiento por lo tanto la proyección entra en contacto directamente con la superficie reflectante sin pasar por ninguna capa y es reflejada sin distorsión.

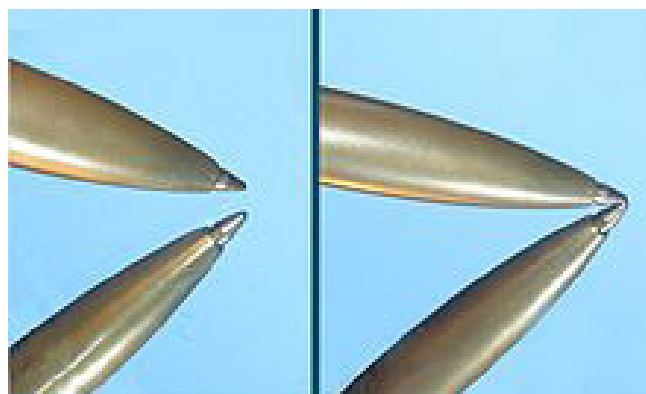


Imagen 23. Espejo de superficie única

Este tipo de espejos se usa sobretudo en el campo de la astronomía, por lo tanto la disponibilidad de ellos en el mercado suele ser escasa y de un tamaño pequeño adecuado a dicho campo, además de conllevar un coste económico elevado en comparación con los espejos tradicionales.

### Conclusión

Se puede solucionar el problema de *ghosting* en la pantalla horizontal, comprando un espejo de tamaño pequeño, dado que el proyector se sitúa muy cerca del propio espejo y por lo tanto no se requiere que este sea de gran tamaño. Por el contrario la distancia entre el proyector y el espejo que refleja hacia la pantalla frontal es considerable, y el espejo requerido tiene que ser de tamaño medio. Al no encontrar espejos de dicho tamaño en esta proyección no se resuelve el problema de *ghosting*, y se utiliza un espejo normal.

## 5. DISEÑO FINAL

Tras ver los componentes, funcionalidades y establecer las diferentes especificaciones técnicas de la mesa, se plantean diversos métodos de construcción: paneles de madera, estructura metálica con recubrimiento en tela, estructura de perfilera metálica con cerramientos de paneles.

Es por ello que se consultan a diversos talleres de las distintas áreas, para poder evaluar y escoger la mejor solución. Se llega a la conclusión final, debido a su practicidad y construcción más sencilla, de crear una estructura mediante perfiles metálicos, la cual pueda ser cerrada con paneles (de chapa, madera o plástico).

### Dificultades técnicas

- La graduación en ángulo de la pantalla frontal. Se especifica que esta pueda tener un cierto margen de ángulo para poder corregir problemas de Keystone y determinar cuál es la posición más ergonómica según usuario y ubicación de espectadores.
- Graduación en distancia y ángulo del espejo trasero, y graduación en ángulo del espejo delantero. Se plantea una solución mediante perfiles correderos el cual es factible y permite mover los espejos a lo largo de todo el carril. En cuanto a la graduación en ángulo se plantea algún ajuste gradual con fijación tipo mariposa, que permita posicionar el espejo a placer (ver imagen 24).

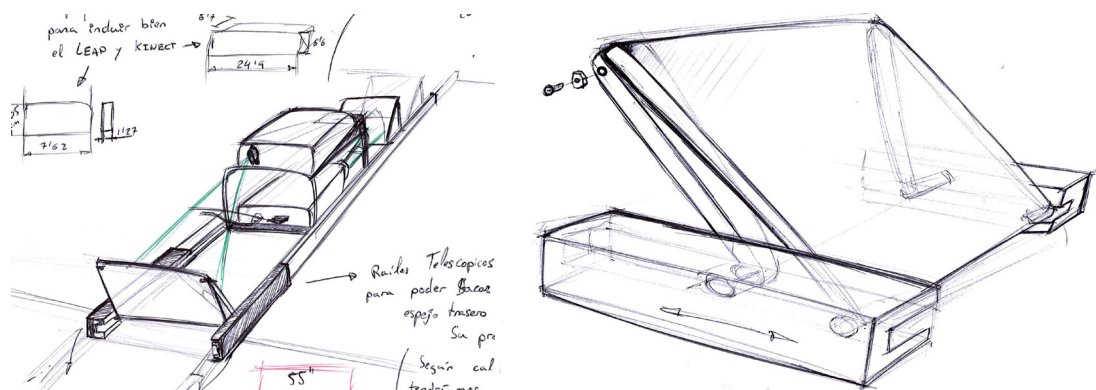


Imagen 24. Bocetos fijación gradual tipo mariposa

## 5. DISEÑO FINAL

- Abertura de acceso a los componentes internos. Se plantea una puerta lateral, frontal o trasera, para poder acceder a proyectores y espejos y realizar la correcta calibración requerida.
- Estructura tipo litera para los proyectores. Para que estos proyecten desde una posición centrada, se desarrolla la idea de la construcción de una especie de estantería o litera, en la cual la balda de arriba, que alberga el proyector trasero, con una leve inclinación que permita la corrección de keystone en la pantalla frontal (ver imagen 25).

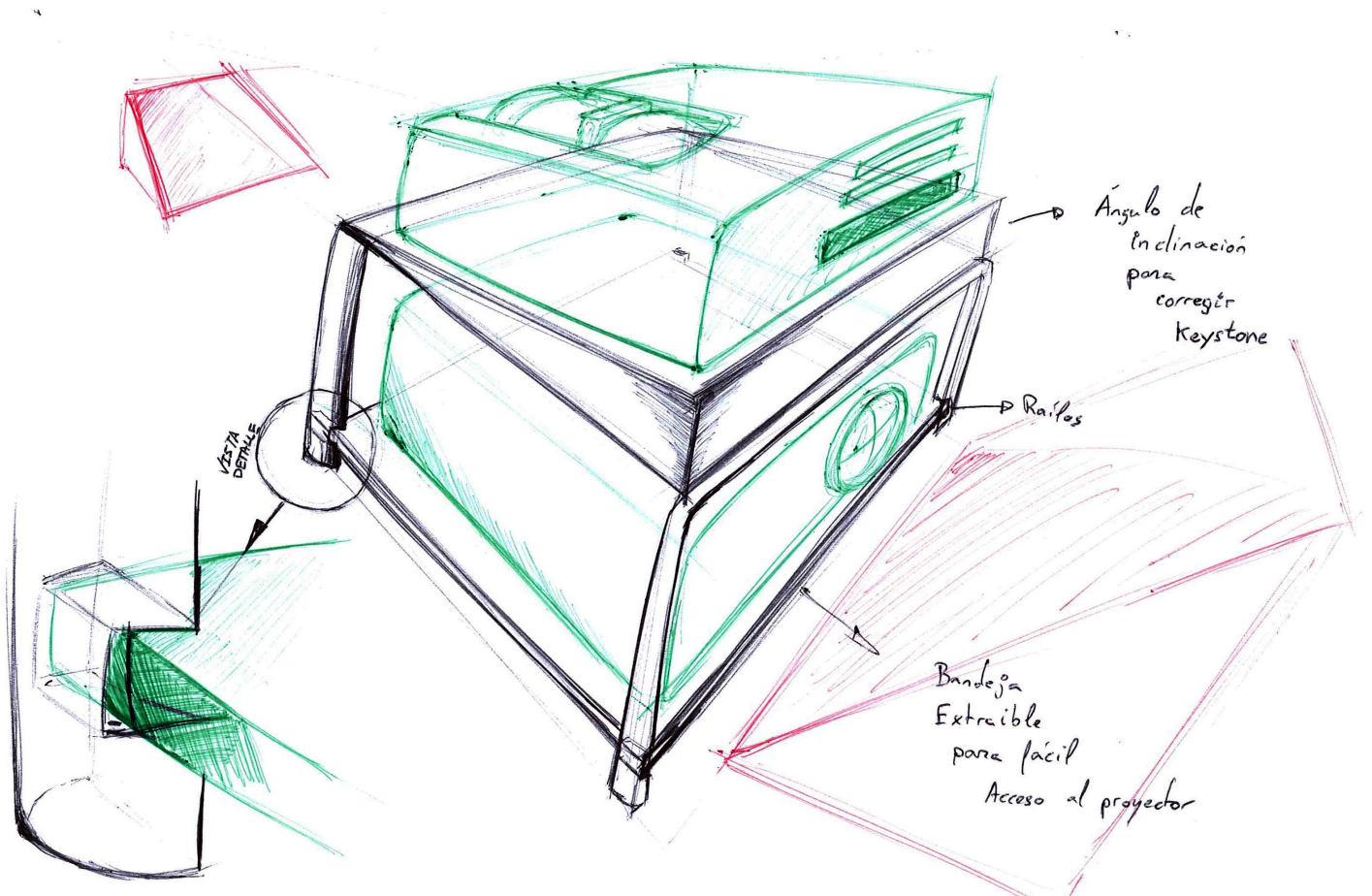


Imagen 25. Boceto solución problema de *keystone*

## 5. DISEÑO FINAL

### Construcción

Con el diseño y las especificaciones en todos los ámbitos fijadas se inicia el proceso de construcción, en el que se permanece activamente para poder evaluar y testear los parámetros de adecuación de los distintos dispositivos fijados de manera teórica.

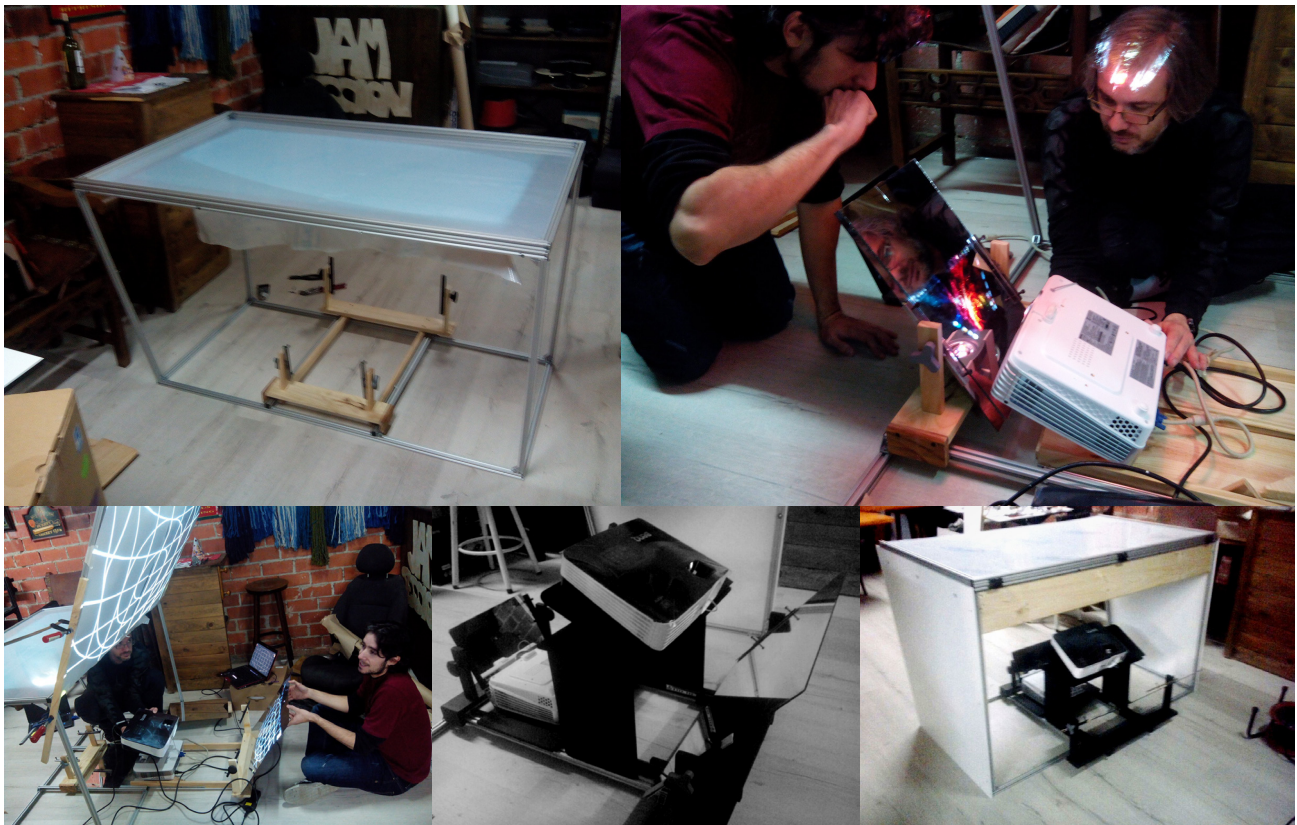


Imagen 25. Proceso de construcción

El montaje anterior muestra el proceso en evolución y como a mitad de este, se va probando la calibración de proyectores, cámaras infrarrojas, emisores LED infrarrojos, etc.



## 5. DISEÑO FINAL

Se encuentran diversas dificultades en distintos dispositivos:

- Para adaptar la proyección sin ausencia de *keystone*, que se solventa gracias a las graduaciones en ángulo que la estructura diseñada permite.
- Para posicionar correctamente los emisores de luz infrarroja, dado que se provocan áreas de exceso lumínico, con la consecuencia de cegamiento en la cámara de captura para los fiduciales.
- Para posicionar la cámara infrarroja, para que ningún objeto (proyectores, estructuras, etc), ocluyese su visión y que además pudiera estar lo más centrada posible para un mejor funcionamiento.
- Para graduar en ángulo de la pantalla frontal, debido a limitaciones materiales y temporales, se desarrolla una sujeción fija en el ángulo óptimo más usual.
- Para la colocación del espejo trasero para la retroproyección de la interfaz frontal, debido a que en ciertos casos provoca un deslumbramiento en el usuario, comúnmente llamado problema de foco caliente, por lo que se ajusta en la posición idónea para que ocupe completamente la superficie de proyección y a su vez no deslumbre al usuario.

Estos y algunos otros problemas se solventan para poder lograr la construcción del prototipo final de la mesa de interacción tangible Immertable (ver imagen 26).



Imagen 26. Prototipo final mesa de interacción tangible Immertable

# Anexo III.

## IMPRESIÓN 3D

**Autor:**

**Raúl Ordax de las Heras**

**Directores:**

**José Ramón Beltrán**

**Sandra Baldassarri**



### 1. Introducción

(Págs. 3-4)

### 2. Recursos Utilizados

(Págs. 5-6)

### 3. Problemas Encontrados

(Págs. 7-11)

## 1. INTRODUCCIÓN

La impresión 3D es una tecnología de fabricación aditiva en la cual un objeto tridimensional es creado mediante la superposición por capas de material. De tal manera que simplemente es necesario diseñar la pieza que se requiera en 3D y proceder a fabricarla, facilitando que se puedan crear prototipos volumétricos y funcionales de manera rápida, económica y sencilla, en comparación a los métodos tradicionales de fabricación industrial los cuales no suelen ser rentables en pequeñas tiradas de producción.

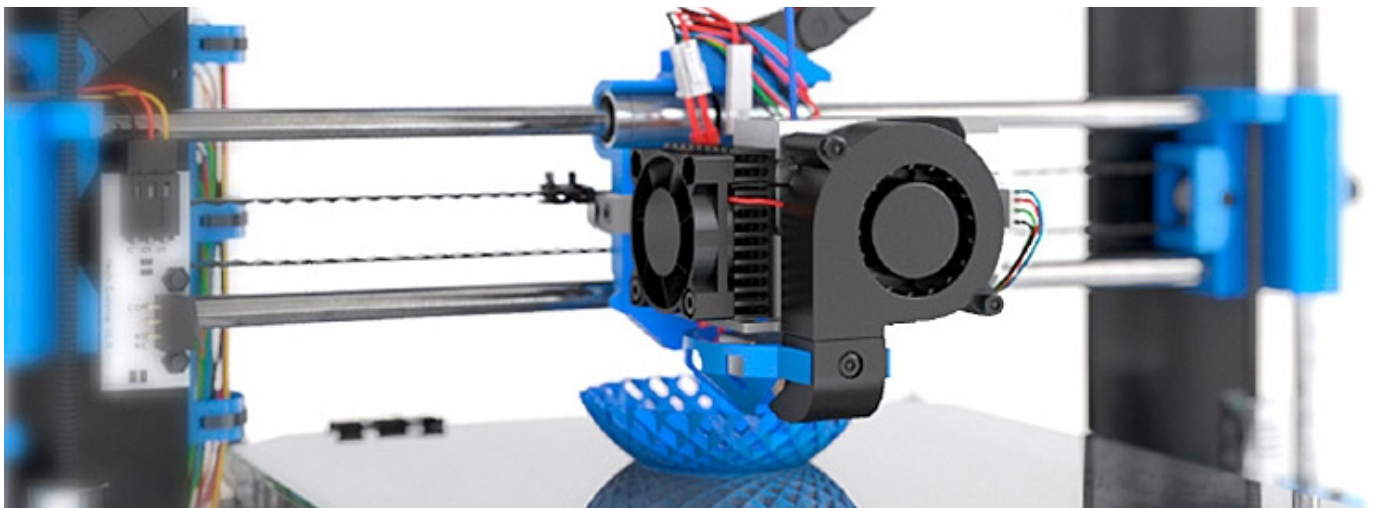


Imagen 1. Impresora 3D

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se puede diferenciar entre tres grandes tipos de impresoras 3D dependiendo de su proceso de fabricación: FDM, SLS y SLA [26].

- FDM (Fused Deposition Modeling): son aquellas en las que un termoplástico con el que se fabrica la pieza, es calentado y fundido por un extrusor, el cual va generando la pieza capa a capa.
- SLS (Selective Laser Sintering): en este caso el material de construcción son polvos termoplásticos, metálicos y cerámicos, los cuales mediante un haz laser son sinterizados capa a capa generando la pieza deseada final.
- SLA (Sterolithography): mediante la fotopolimerización de polímeros mediante su exposición a un haz de luz se van generando las capas de la pieza a fabricar.

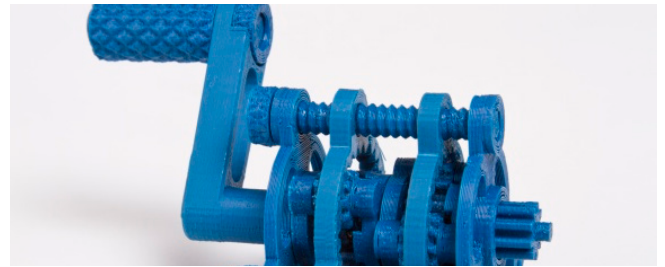


Imagen 2. FDM (Fused Deposition Modeling)



Imagen 3. SLS (Selective Laser Sintering)



Imagen 4. SLA (Sterolithography)

## 2. RECURSOS UTILIZADOS

La impresora adquirida en el laboratorio se corresponde con el modelo BCN3D+ de la compañía BCN Technologies (ver imagen 5), esta impresora pertenece al grupo de las FDM, funciona mediante un extrusor calefactado que va fundiendo el material seleccionado. Particularmente este modelo de impresora cuenta con un doble extrusor, el cual permite combinar dos materiales diferentes en la pieza a producir o incluso dos colores diferentes de un mismo material, y una superficie de impresión calefactada, la cual permite impresiones en materiales que tienen una mayor dilatación térmica como es el caso del ABS.

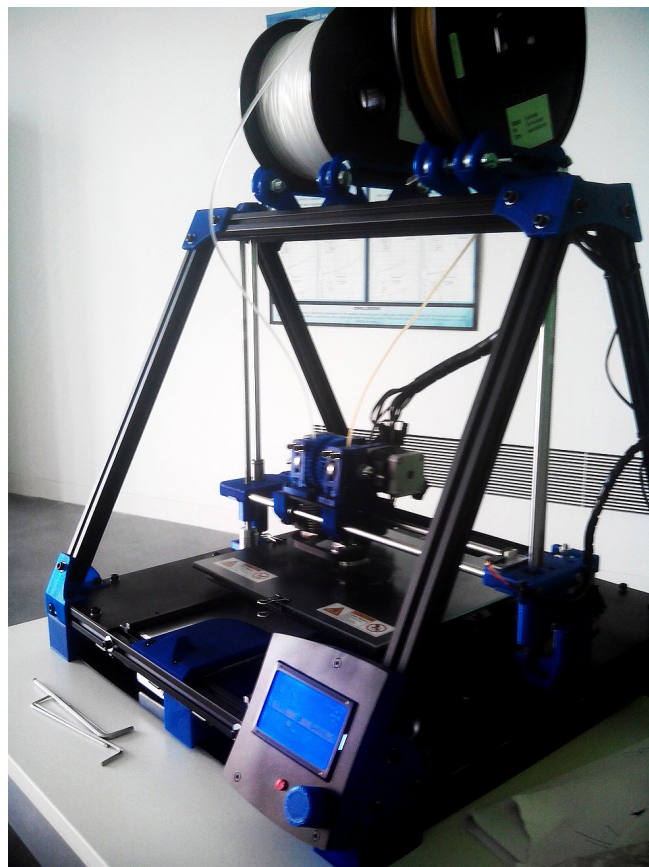


Imagen 5. Impresora 3D modelo BCN3D+

Antes de empezar a imprimir cualquier pieza es necesario que la máquina se calibre correctamente para que las impresiones entren dentro de las tolerancias y la pieza no se cree con deformaciones no deseadas. Para ello se procede, en primer lugar, a nivelar la base o cama térmica, con respecto del extrusor (ver imagen 6). Seguidamente se imprime una pieza de calibración que



Imagen 6. Calibración de impresora



## 2. RECURSOS UTILIZADOS

permite detectar las posibles desviaciones entre los dos extrusores o corregirlos en los parámetros del software. Finalmente se imprimen una serie de pruebas con distintos parámetros de impresión (altura de capa, temperatura, porcentaje de relleno, fluidez, etc.), de esta manera se consigue ajustar los mejores parámetros a tener en cuenta según el material que se desee emplear.

Una vez calibrada la impresora es momento de empezar a imprimir, para ello se cuenta con diferentes materiales a elegir:

- **PLA:** Es un material fácil de imprimir, de origen vegetal y por lo tanto, biodegradable y sin olores al derretirse. Las piezas impresas en PLA tienen un buen acabado superficial aunque las capas sean muy visibles. Además con este material no es necesario calentar la superficie de impresión o cama. Es por ello que se utiliza para la generación de prototipos volumétricos no funcionales.
- **ABS:** Es un material muy resistente y con mejor acabado superficial, aunque es necesario calentar la cama y aun así existe riesgo de aparición de *warping* (levantamiento por los extremos, debido a una falta de adherencia provocada por las contracciones del material, a causa del cambio de temperatura entre capas). Además se dispone de ABS translucido, el cual ofrece unas características lumínicas ideales para el resultado buscado, es por ello que se determina como el material con el que se realizan las impresiones finales y los prototipos funcionales.
- **PVA:** Es un material hidrosoluble ideal para imprimir soportes y luego retirarlos sumergiendo la pieza en agua. Este material es utilizado a la hora de imprimir piezas huecas debido a la necesidad de alojar cables y electrónica a través de ellas.

## 3. PROBLEMAS ENCONTRADOS

En el proceso de impresión de las diferentes piezas se afrontan diversos problemas, a continuación se detallan los más significativos:

- **Espesor de piezas.**

Durante la impresión de los objetos tangibles Immerject T, se reduce el espesor al mínimo posible para conseguir un mayor efecto de transparencia en la pieza, de tal manera que esta permita dejar pasar la luz emitida por el LED alojado en su interior.

Esta reducción provoca problemas de adherencia entre capas impresas en las paredes de la lengüeta de ajuste de cierre (ver imagen 7). Se puede solucionar ensanchando interiormente dicha parte, pero el espacio interior dedicado a la electrónica esta totalmente ajustado y no es posible reducirlo.

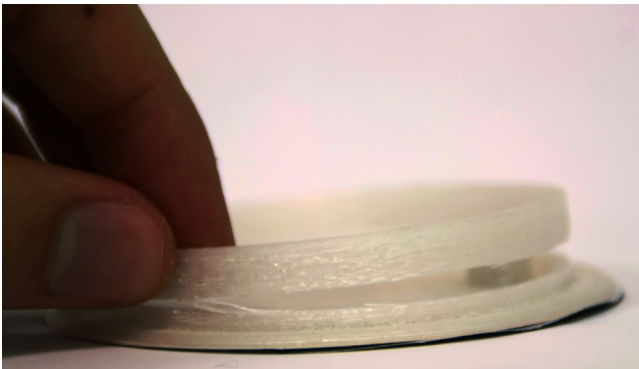


Imagen 7. Fallo de adherencia entre capas

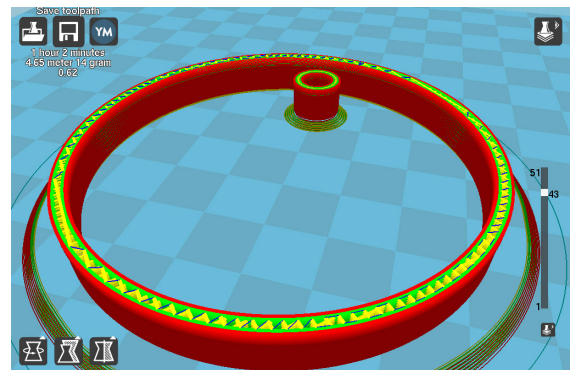


Imagen 8. Corrección espesor de la pared (software CURA)

Finalmente se opta por un rediseño de la pieza, en la que se redimensiona toda ella, puesto que también se modifican ciertos componentes electrónicos y es necesario un mayor espacio interior, aprovechando este cambio, se modifica la lengüeta para que tenga un espesor mínimo que permita a la impresora construir una capa de relleno entre la pared interior y exterior (ver imagen 8). Este redimensionamiento causa que la pieza adquiriera unas dimensiones menos confortables ergonómicamente, pero

## 3. PROBLEMAS ENCONTRADOS

se mantiene dentro de los parámetros ergonómicamente usables. Para trabajo futuro queda pendiente la validación y desarrollo de una electrónica integrada que permita una reducción del tamaño del objeto.

- **Capacitancia**

El objeto Immerject T debe incorporar una interacción tangible capacitiva. Ésta provoca inestabilidades debido al propio espesor de la parte superior de la pieza. Antes de realizar un rediseño total del objeto, se procede a realizar una serie de pruebas de espesores del material para poder testear con la electrónica (ver imagen 9).



Imagen 9. Pruebas de capacitancia

- **Alojamiento LED infrarrojo**

Las impresoras 3D siempre tienen una pequeña tolerancia cuando se realizan agujeros u otros elementos. El Immerject T, incorpora en su parte inferior un alojamiento en el que se debe introducir un LED infrarrojo para interactuar con el sensor capacitivo desarrollado (ver imagen 10). Este alojamiento tiene que ser ajustado dado que el LED no puede salirse ni moverse mientras se interacciona con la pieza. Esta condición hace necesario realizar una serie de pruebas de impresión con las medidas del alojamiento, para conocer que holgura debe aplicarse para contrarrestar las imperfecciones de tolerancia de la impresión.

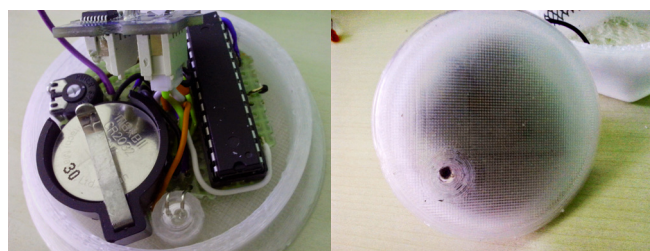


Imagen 10. Alojamiento de LED infrarrojo

## 3. PROBLEMAS ENCONTRADOS

- **PVA y ABS**

En el caso del objeto Immerject P, se necesita que el objeto sea hueco para que la electrónica pueda instalarse adecuadamente en su interior, por ello se requiere que las superficies de apoyo (soportes que son construidos cuando el modelo 3D adquiere un elevado grado de inclinación sobre la horizontal) se puedan remover fácilmente. Así que se emplea el material hidrosoluble PVA.

El problema aparece al realizar impresiones con dicho material y ABS. El PVA tiene una temperatura de impresión de 180° y se recomienda que la temperatura de la superficie de impresión o cama se encuentre a unos 40° - 60°. Mientras que en el caso del ABS se tiene unos valores de 230° y una cama entre los 80° - 90°. Estas diferencias de temperatura provocan la siguiente situación, al preparar la impresora para una correcta impresión en ABS, sucede una ligera degradación en el PVA que provoca una mala adhesión entre capas y a la propia cama calefactada (ver imagen 11). Por el contrario si se prepara la cama a la temperatura del PVA el ABS no se fija a ella, provocando el desprendimiento de la pieza a mitad de la impresión.

Tras probar distintas configuraciones de impresión y de temperaturas de la cama, se logra imprimir un prototipo funcional.



Imagen 11. Fallo de impresión a dos materiales

- **Warping**

Este es el efecto que ocurre en las piezas que no consiguen adherirse correctamente a la superficie de impresión, consiste en el levantamiento de las esquinas o de parte de la pieza, debido al contraste de temperatura entre las capas aun calientes que se están imprimiendo y las que ya se han contraído a causa del enfriamiento (ver imagen 12). Los materiales más problemáticos en los que suele aparecer dicho inconveniente son aquellos que tienen una gran dilatación térmica, como es el caso del ABS. Para poder solventar dicho efecto se prueban distintos parámetros de impresión, y en añadido a la recomendada capa de laca fijadora, se realizaron pruebas ya contrastadas e investigadas con capas iniciales de pegamento de barra.

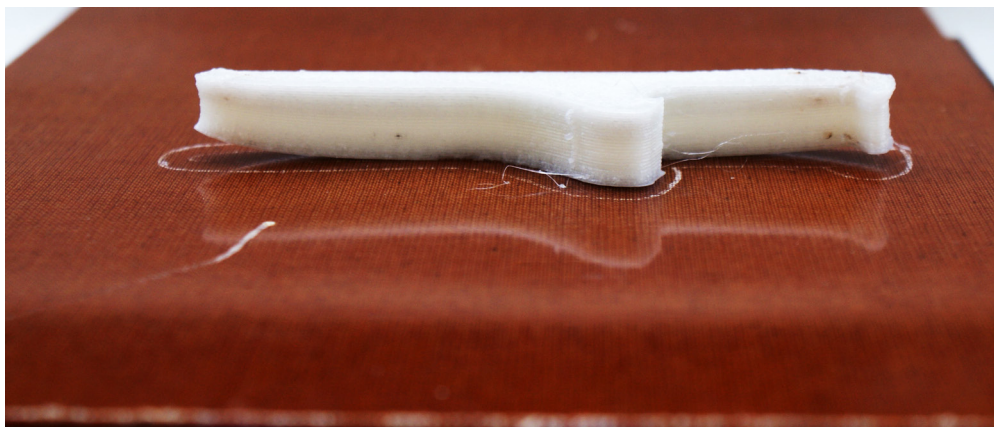


Imagen 12. Efecto *warping* en pieza de ABS

Lo mejor para evitar la aparición de este efecto es tener un ambiente externo controlado térmicamente, debido a la gran amplitud del laboratorio del I3A en el que se desarrolla el proyecto, no es posible contar con dicha ventaja.



### Conclusión

Muchos de estos problemas se pueden solucionar mediante la impresión en otra serie de impresoras 3D, pero la impresora más versátil y que se ajusta al presupuesto establecido inicialmente tiene que ser tipo FDM, dado que el resto de impresoras explicadas anteriormente conllevan un desembolso mayor de dinero, tanto en materiales como en la propia máquina.

Los distintos inconvenientes mencionados también ocasionan un desfase en la planificación del proyecto que causa que ciertas partes deban ser desarrolladas posteriormente, y no se puedan testear en el sistema implementado, como es el caso del objeto Immerject P, el cual no es posible validar en conjunto con el resto del sistema.

# Anexo IV.

## EVALUACIÓN

**Autor:**

**Raúl Ordax de las Heras**

**Directores:**

**José Ramón Beltrán**

**Sandra Baldassarri**

# ANEXO IV. EVALUACIÓN

## ÍNDICE



### 0. Introducción

(Págs. 3-6)

### 1. Entrevistas a usuarios

(Págs. 7-9)

### 2. Evaluación Heurística

(Págs. 10-19)

### 3. Test de Usuarios

(Págs. 20-28)



## 0. INTRODUCCIÓN

En este anexo se detallan las diferentes pruebas que se han llevado a cabo para la evaluación de usabilidad del proyecto. Para ello se explican brevemente los conceptos básicos de usabilidad a tener en cuenta y se exponen los objetivos planteados y los resultados obtenidos, así como los cambios implementados.

“Se define **usabilidad**, como el grado de eficacia y satisfacción con la que usuarios específicos pueden lograr objetivos específicos, en contextos de uso específicos”. ISO 9241-11 (1998).

Para garantizar la usabilidad del producto es preciso llevar a cabo su evaluación. Para ello existen diferentes pruebas establecidas con el propósito de testear la facilidad de aprendizaje, la capacidad de ser recordado, la eficacia, la eficiencia y la satisfacción, es decir, aquellos aspectos que determinan el grado de usabilidad de un producto.

La interfaz de usuario es un componente crítico de cualquier aplicación, ya que a través de ella, el usuario, interactúa con el sistema, envía instrucciones y recibe respuestas. El producto desarrollado se basa en la interacción tangible, debido a ello puede resultar más difícil analizar la usabilidad del sistema en su conjunto, puesto que no sólo consta de una interfaz gráfica con la que interpretar las acciones posibles, sino que se compone de diferentes objetos tangibles que aportan un grado de usabilidad diferente.

## 0. INTRODUCCIÓN

Una interfaz de usuario mal diseñada desencadena una serie de problemas relacionados con la usabilidad del producto, que pueden deberse a cualidades de la interfaz mal desarrolladas como:

- Eficaz: alcanzando unos niveles de errores muy altos en la realización de las tareas incluso impidiendo completar dichas tareas.
- Eficiente: reducción de la productividad, incrementando los tiempos en la realización de las tareas.
- Intuitiva: aumentando el tiempo de aprendizaje necesario para utilizar la aplicación.
- Satisfactoria: si se producen este tipo de errores desencadena en una insatisfacción por parte del usuario que no obtiene los resultados esperados en sus interacciones con el sistema.

A los aspectos anteriores se suma lo atractivo del diseño. Un producto atractivo se vende mejor y se usa más que otro sin atractivo. Un claro ejemplo de ello puede verse en el mundo de la automoción, en el que productos (ver imagen 1) con iguales o parecidos componentes, tienen un mayor grado de aceptación y satisfacción entre el público objetivo del sector.



Imagen 1. Ejemplificación valor añadido del atractivo



## 0. INTRODUCCIÓN

Por tanto, se puede resumir que un producto usable, es aquel que cuenta con las siguientes cualidades [27]:

- Es fácil de entender y de aprender a usar
- Es eficiente en el uso
- Facilita una rápida recuperación de errores
- Es fácil de recordar
- Es fácil de usar y amigable en el uso
- Es visualmente agradable

De cara a evaluar la usabilidad existen diversas técnicas [28], no obstante se han seleccionado las siguientes, con el propósito de comprobar que el sistema Immertable desarrollado cumple las cualidades antes mencionadas, así como para poder detectar posibles mejoras a implementar, se establece aplicar:

1. Entrevistas a Usuarios
2. Evaluación heurística
3. Test de usuarios

## 0. INTRODUCCIÓN

En un inicio, en la fase de definición de EDPs, se realiza una **entrevista** a un usuario experto para ayudar a definir unas directrices sólidas sobre las que seguir desarrollando el proyecto.

Con un propósito similar, en la fase de desarrollo, se procede a realizar una **Evaluación heurística** con profesionales de distintas áreas y una **segunda entrevista** a usuario para poder ir validando los conceptos desarrollados y establecer un proceso de diseño con el que depurar correctamente el producto.

Finalmente se fijan todos los aspectos relativos al **Test de Usuarios**, concebido con una primera versión prototipo del sistema que ayude a determinar si el camino seguido es correcto y cómo se debe seguir desarrollando el concepto, disminuyendo de esta manera la incertidumbre, antes de seguir invirtiendo dinero y tiempo. La realización de éste test definido no se incluye dentro del proyecto, queda definido pero se plantea como trabajo futuro.



Imagen 2. Ejemplo de interacción



## 1. ENTREVISTAS A USUARIOS

La información más valiosa sobre la usabilidad de un diseño se obtiene **observando** el comportamiento de los usuarios, no así preguntándoles. Cuando Nielsen (2001) afirma que la primera regla de usabilidad es no escuchar a los usuarios. Como señala el autor, cuando se le pregunta a un usuario acerca de un diseño, su respuesta está motivada por lo que cree que debería responder. Además, si se pregunta sobre el porqué del comportamiento (en este contexto, usando la aplicación), se tiende a racionalizarlo, a completar, reinventar y reinterpretar nuestros recuerdos, y a buscar una causa, aunque se desconozca, a las acciones pasadas. Esto no significa que no sea posible obtener información valiosa para el diseño preguntando a los usuarios.

Las **entrevistas** con usuarios son una poderosa **herramienta cualitativa**, pero no para evaluar la usabilidad de un diseño, sino **para descubrir** deseos, motivaciones, valores y experiencias de los usuarios (Kuniavsky; 2003).

Durante estas entrevistas, el entrevistador debe mostrarse neutral y no dirigir o condicionar las respuestas del entrevistado. Lo que se pretende es descubrir información que oriente en el diseño, no confirmar creencias propias sobre cómo son los usuarios. Por ésta razón se entrevista a un músico profesional, con el propósito de descubrir inquietudes y aspectos clave que sirven para orientar acerca del camino a seguir. Se escoge a este usuario dado que en addición a sus conocimientos musicales tiene un perfil cercano a las nuevas tecnologías, puesto que realiza sus propias sesiones mediante una tabletop táctil. Este conocimiento sobre la materia contribuye a definir especificaciones de diseño para poder desarrollar un producto: diferenciado de los existentes en el mercado, que se ajuste a las necesidades del público objetivo definido.



## 1. ENTREVISTAS A USUARIOS

Se realizan dos sesiones, la primera al comienzo del proyecto y la segunda una vez se cuenta con un diseño en fase de desarrollo. Estas sesiones se planifican con unos objetivos concretos, **obtener y contrastar información**.

Con la primera entrevista se persigue concretar las diferentes interacciones y funcionalidades básicas a desarrollar. Para ello, y debido a poder contar con un especialista que se ajusta al perfil de usuario requerido, se plantean cuestiones más abiertas que aunque puedan derivar en respuestas más largas para su análisis, también proporcionan una mayor profundidad y detalle. Es, por ésta razón, que la sesión se desarrolla siguiendo los siguientes modelos de pregunta: ¿Cómo se hace ...? y ¿Para qué sirve...?, por ejemplo ¿Cómo se hace para cambiar de escena?. Con lo que se obtiene como resultado un listado de acciones clave que junto al proceso de investigación que se lleva a cabo sobre diferentes interfaces musicales, da como resultado el siguiente listado de especificaciones funcionales a desarrollar:

- *Play*
- *Stop*
- Pausa
- *Mute*
- Crear nuevos *loops* y *samples*
- Hacer grupos de *loops* y *samples* (pudiendo reproducir varios conjuntos a la vez y parando los grupos que se deseen en cualquier momento).
- Secuenciadores de ritmos
- *Faders* (barras de control o *sliders*):
  - Volumen
  - Filtros de paso bajo (*lowpass*, lp) y paso alto (*highpass*, hp)
  - *Resonance*
  - *Reverse*
  - Efectos (coro, distorsiones, reverberaciones, retrasos, etc. )

## 1. ENTREVISTAS A USUARIOS

Para la segunda entrevista ya se cuenta con una primera versión de la interfaz (ver imagen 3) y por lo tanto el propósito es contrastar información, y resolver diferentes dudas generadas en el proceso.

La planificación de esta sesión requiere de una mayor preparación y debido a la extensa cantidad de preguntas a efectuar se opta por dividir la entrevista en distintas fases, para poder sacar conclusiones de cada una de ellas, fases que aluden a cada aspecto destacado a continuación:

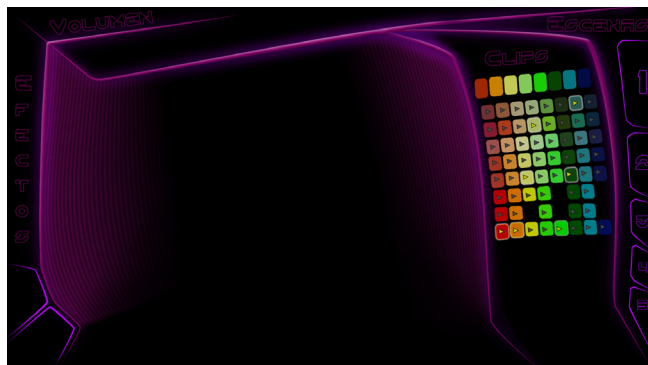


Imagen 3. Interfaz versión utilizada en entrevista

- Interfaz Horizontal
  - Zonas de interacción
  - Acciones específicas
- Objetos Tangibles
  - Immerject T
  - Immerject P
- Interfaz Frontal
  - Zonas de interacción
  - Acciones específicas

Durante esta fase de desarrollo del trabajo se realiza también una Evaluación heurística, en base a los resultados obtenidos mediante ambas técnicas se establecen unas especificaciones de diseño que se muestran más adelante.



## 2. EVALUACIÓN HEURÍSTICA

Esta técnica de evaluación consiste en la inspección y análisis del diseño por medio de expertos. Para ello se establecen los parámetros a analizar en función de los 10 principios de Nielsen, que se detallan a continuación [29]:

- 1.- **Visibilidad del estado del sistema:** La aplicación debe mantener al usuario informado en todo momento del estado del sistema así como de los caminos que puede tomar con un *feedback* visual apropiado en un tiempo razonable.
- 2.- **Control y libertad del usuario:** El interfaz debe estar diseñado de manera que el control de la interacción con el sistema lo tenga el usuario, permitiéndole interactuar directamente con los objetos de la pantalla.
- 3.- **Consistencia y estándares:** Es conveniente implementar las mismas reglas de diseño para mantener la consistencia en la interacción con la aplicación.
- 4.- **Prevención de errores:** El mejor tratamiento de los errores es prevenirlos y minimizar los riesgos de que ocurran con un buen diseño y mediante el empleo de mensajes de error apropiados.
- 5.- **Correspondencia entre el sistema y el mundo real:** La aplicación debe ser lo más parecida posible al objeto del mundo real que representa, usando el lenguaje de los usuarios, con palabras, frases y conceptos familiares en el contexto de la aplicación mostrando la información en el orden lógico y natural.
- 6.- **Reconocer antes de recordar:** Se debe buscar disminuir la carga de memorización del usuario para, de esta forma, reducir la propensión a errores en su interacción con el sistema.



## 2. EVALUACIÓN HEURÍSTICA

- 7.- **Flexibilidad y eficiencia de uso:** El sistema se debe diseñar para que lo puedan manejar diferentes tipos de usuarios, en función de su experiencia con la aplicación.
- 8.- **Estética y diseño minimalista:** En relación a la estética y el diseño minimalista, se señalan aspectos como los siguientes: los diálogos no deben contener información que sea irrelevante para la tarea que está realizando el usuario, la interfaz debe ser simple, fácil de aprender y de usar y con fácil acceso a las funcionalidades que ofrece la aplicación, no debe incluirse información extra no necesaria, ya que disminuye la visibilidad y distrae al usuario en la realización de la tarea.
- 9.- **Reconocer y diagnosticar errores:** Los mensajes de error deben expresarse en un lenguaje que el usuario entienda y no con códigos de error; indicando el problema y sugiriendo la solución.
- 10.- **Ayuda y documentación:** De acuerdo a esta heurística, el mejor sistema es el que no necesita ningún tipo de documentación. De todas formas, hay que proporcionar al usuario ayuda y documentación fácil de encontrar y enfocada a la tarea que el usuario realiza.

Estos principios heurísticos engloban directrices que debe cumplir el diseño con el fin de facilitar su comprensión y uso por el usuario final. Algunas de éstas directrices responden a principios que no se han abordado en profundidad en la consecución del proyecto, es por ello que la evaluación se centra en: la visibilidad, el control y libertad de usuario, la consistencia, prevención de errores, correspondencia con el mundo real, el reconocimiento, la flexibilidad, y la estética minimalista.



## 2. EVALUACIÓN HEURÍSTICA

Esta evaluación es realizada por los cinco expertos, que componen el grupo de investigación y desarrollo del proyecto, que pertenecen a los ámbitos de: electrónica, informática y diseño. Para poder evaluar de manera adecuada de acuerdo a los principios heurísticos antes mencionados, se establecen unos ítems a analizar sobre cada uno de ellos. Cada uno de estos ítems debe ser evaluado calificándolo como "mucho", "poco" o "nada", en base a cómo satisface el sistema cada aspecto definido en forma de ítem. Lo cual permite generar una lista priorizada de especificaciones a implementar, diferenciando las críticas de aquellas que simplemente deben mejorarse.

A continuación puede observarse la lista de los ítems desarrollada, en la que se muestran atenuados aquellos que no se han tenido en cuenta debido al nivel de desarrollo alcanzado por el prototipo evaluado.

### Listado Evaluación Heurística

#### 1.- VISIBILIDAD DEL ESTADO DEL SISTEMA

1. 1.- Hay un esquema de diseño de iconos consistente y un tratamiento estilístico para todo el sistema.
1. 2.- Está un solo icono seleccionado claramente visible cuando está rodeado por iconos no seleccionados, es decir, se ilumina o resalta.
1. 3.- Cambia el identificador del objeto de aspecto en función del lugar sobre el que está posicionado, sugiriendo lo que se puede hacer con el objeto.
1. 4.- Hay alguna forma de realimentación del sistema para cada una de las acciones del usuario.



## 2. EVALUACIÓN HEURÍSTICA

- 1. 5.- Hay realimentación visual en menús o cajas de diálogo sobre qué opciones son seleccionables.
- 1. 6.- Hay realimentación visual cuando los objetos son seleccionados o movidos.
- 1. 7.- El estado actual de un objeto está claramente indicado.
- 1. 8.- Hay realimentación cuando son presionadas teclas de función.
- 1. 9.- La interfaz está dividida en varias áreas, una para cada función.
- 1. 10.- Provee el sistema visibilidad: esto es, mirando, puede el usuario discernir el estado del sistema y las alternativas para actuar.

### 2.- CONTROL Y LIBERTAD DEL USUARIO

- 2. 1.- En la pantalla frontal si ocurre solapamiento de elementos, es fácil para el usuario cambiar entre ellos.
- 2. 2.- Es posible personalizar la interfaz gráfica de usuario que ofrece el sistema.
- 2. 3.- Se avisa al usuario para confirmar órdenes que tienen efectos drásticos, con consecuencias destructivas.
- 2. 4.- El usuario puede reducir el tiempo de modificación de datos copiando datos existentes de otros elementos.
- 2. 5.- Si existe una interacción basada en el incremento de un parámetro se ofrecen distintos medios tangibles que ofrezcan una mayor sensibilidad.



## 2. EVALUACIÓN HEURÍSTICA

- 2. 6.- Son los menús extensos (muchos elementos en un menú) más que profundos (muchos niveles de menú).
- 2. 7.- Los botones de acciones rápidas son totalmente configurables.
- 2. 8.- El sistema es adaptativo, esto es, aparecen en los menús las opciones más usadas por el usuario.
- 2. 9.- En los menús, hay tres o menos de tres niveles de menú.
- 2. 10.- La aplicación se muestra en el idioma del usuario. En caso contrario el usuario puede cambiar el idioma por defecto de los menús, mensajes y etiquetas.
- 2. 11.- Las tareas más complejas están divididas en tareas más simples.
- 2. 12.- Las secuencias largas están divididas en pasos separados.
- 2. 13.- El usuario puede cambiar el tamaño de los botones de las diferentes interfaces.
- 2. 14.- El usuario puede colocar las diferentes barras de herramientas en el lugar que prefiera.

### 3.- CONSISTENCIA Y ESTÁNDARES

- 3. 1.- Ha sido evitado el pesado uso de letras mayúsculas en la pantalla.
- 3. 2.- Existe un menú "Ayuda"
- 3. 3.- Los botones son todos de tamaño y forma similar a lo largo de la aplicación.
- 3. 4.- No hay más de entre doce o veinte tipos de iconos.
- 3. 5.- Hay señales visuales para identificar una zona u objeto activo.



## 2. EVALUACIÓN HEURÍSTICA

- 3. 6.- Los títulos de las zonas (menús) constan exactamente de una palabra.
- 3. 7.- No hay más que cuatro a siete colores, y están separados a lo largo del espectro.
- 3. 8.- Se proporciona una leyenda si los códigos de colores son numerosos o no es obvio su significado.
- 3. 9.- Son evitados colores que provoquen poco contraste para pequeño texto u otros símbolos.

### 4.- PREVENCIÓN DE ERRORES

- 4. 1.- Previene el sistema a los usuarios de cometer errores siempre que es posible.
- 4. 2.- Advierte el sistema a los usuarios sobre la producción de un potencial error serio.
- 4. 3.- Interpreta el sistema inteligentemente variaciones en las órdenes de usuario.
- 4. 4.- Están las teclas principales reservadas para funciones importantes, genéricas de mucha frecuencia.

### 5.- CORRESPONDENCIA ENTRE EL SISTEMA Y EL MUNDO REAL

- 5. 1.- Los iconos son concretos y familiares al usuario.
- 5. 2.- Campos relacionados e interdependientes aparecen en la misma pantalla.
- 5. 3.- Si la forma es usada como una indicación visual, se corresponde con formas convencionales.
- 5. 4.- Se emplea la jerga del usuario en la totalidad de la interfaz.



### 6.- RECONOCER ANTES QUE RECORDAR

- 6. 1.- Tienen las áreas de texto suficiente margen alrededor de ellas, para su correcto entendimiento.
- 6. 2.- Los tracks inactivos se muestran visualmente al usuario para que este los reconozca.
- 6. 3.- Las funciones han sido agrupadas dentro de zonas lógicas y han sido utilizados encabezamientos para distinguir entre zonas.
- 6. 4.- Las zonas han sido separadas por espacios, líneas, colores, títulos, o áreas sombreadas.
- 6. 5.- Ha sido usado el mismo color para los grupos de elementos relacionados.
- 6. 6.- El color está codificado consistentemente a lo largo del sistema.
- 6. 7.- Hay buen color y contraste de brillo entre los elementos y el color de fondo.
- 6. 8.- Hay opciones por defecto en relación a los distintos menús.
- 6. 9.- Hay señales que resalten un objeto u zona cuando se encuentra activa.

### 7.- FLEXIBILIDAD Y EFICIENCIA DE USO

- 7. 1.- Los usuarios pueden definir sus propios títulos para las escenas o clips.
- 7. 2.- Provee el sistema teclas de función para comandos frecuentes.
- 7. 3.- En los menús, tiene el usuario ambas opciones de seleccionar directamente sobre un elemento del menú o usar un atajo mediante otro tipo de interacción.



## 2. EVALUACIÓN HEURÍSTICA

7. 4.- Los menús cambian en función de las tareas que el usuario esté realizando.

7. 5.- Las teclas de función más frecuentemente usadas están en la posición más accesible.

### 8.- ESTÉTICA Y DISEÑO MINIMALISTA

8. 1.- Está sólo la información esencial, y toda la necesaria para la toma de decisión, mostrada sobre la pantalla.

8. 2.- Están todos los iconos visualmente conjuntados y conceptualmente diferentes.

8. 3.- Ha sido evitado el excesivo detalle en el diseño de los iconos.

8. 4.- El color ha sido usado con discreción.

8. 5.- El color ha sido usado para comunicar, organizar e indicar cambios de estado.

8. 6.- Destaca cada icono de su fondo.

8. 7.- Están los grupos más importantes de elementos separados.

8. 8.- Los títulos breves o iconos de los menús son informativos, comunican bastante bien para lo que sirven.

Las respuestas de los expertos en base a estos aspectos permite detectar cambios críticos a implementar y errores que se deben solventar.



Entre las conclusiones obtenidas mediante la evaluación heurística, y la entrevista a Usuario, destacan las siguientes:

- Distancia mínima de interacción con Kinect: el reconocimiento idóneo y correcto es a una distancia de al menos 46-50 cm, por lo tanto la zona superior de la pantalla horizontal no puede albergar interacciones con fichas fiduciales más Kinect, dado que la mano del usuario se encuentra entonces demasiado cerca al dispositivo Kinect.

Obtenida mediante: Entrevista e incumplimiento del ítem: 6.3

- Conexión gráfica entre ambas pantallas: para que el usuario interprete toda la interfaz como una sola es necesario ofrecerle algún tipo de conexión visual entre ambas pantallas. Por lo que se plantea desarrollar conexiones lumínicas entre elementos de la pantalla horizontal y la frontal (ej: objeto *track* asociado a su *fader* o *slider*).

Obtenida mediante: Entrevista e incumplimiento del ítem: 5.2

- Menús de información permanente: hay cierta información que es necesaria que siempre permanezca visible al usuario (como la navegación por las escenas, *track*, y *clips*), para que el usuario sepa en todo momento en qué estado se encuentra. La pantalla frontal debido a su condición de holografía, proporcionara una nitidez menor, y además debe cumplir una misión de entretenimiento para el público asistente por lo que estos menús menos dinámicos y permanentes no tienen cabida en ella. Es por ello que dichos menús se implementarán en la pantalla horizontal.

Obtenida mediante: Entrevista e incumplimiento del ítem: 8.1

## 2. EVALUACIÓN HEURÍSTICA

- Sensación holográfica/3D: La pantalla frontal debe evocar a nuestros usuarios una sensación holográfica, con ello conseguiremos desarrollar un espectáculo visualmente atractivo. Debido a este requisito se plantean varias alternativas pero todas ellas enfocadas bajo la misma idea, la creación de profundidad en la interfaz mediante escalados de las imágenes, disposiciones en perspectiva, desenfoque focal según distancias. *Obtenida mediante: Incumplimiento de los items: 2.1, 8.1, 8.2, 8.3.*
- Zonas de interacción rápida y accesible para las acciones más comunes: se detecta un fallo en la usabilidad de la interfaz, dado que para poder realizar algunas de las acciones más comunes el usuario debe de acceder a ellas tras introducirse en varios subniveles. *Obtenida mediante: Entrevista e incumplimiento de los items: 2.9, 4.4, 7.5.*

Con estas nuevas especificaciones de diseño se desarrollan nuevas alternativas para la interfaz frontal y horizontal (ver imagen 4), las cuales se debaten entre el grupo de expertos. A raíz de las conclusiones se plantean nuevas soluciones que de nuevo se evalúan, con lo que se consigue seleccionar las mejores soluciones técnicas y de usabilidad.

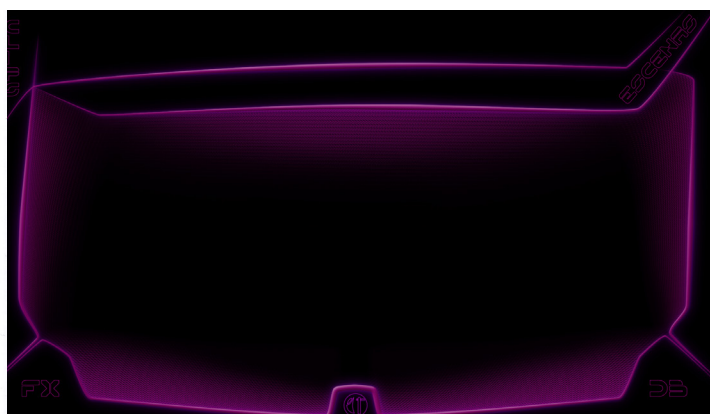
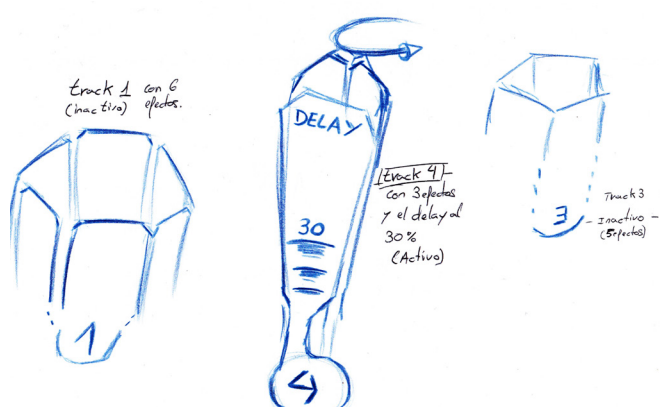


Imagen 4. Interfaz nuevas alternativas

## 2. EVALUACIÓN HEURÍSTICA

Finalmente se diseña la siguiente interfaz (ver imagen 5):

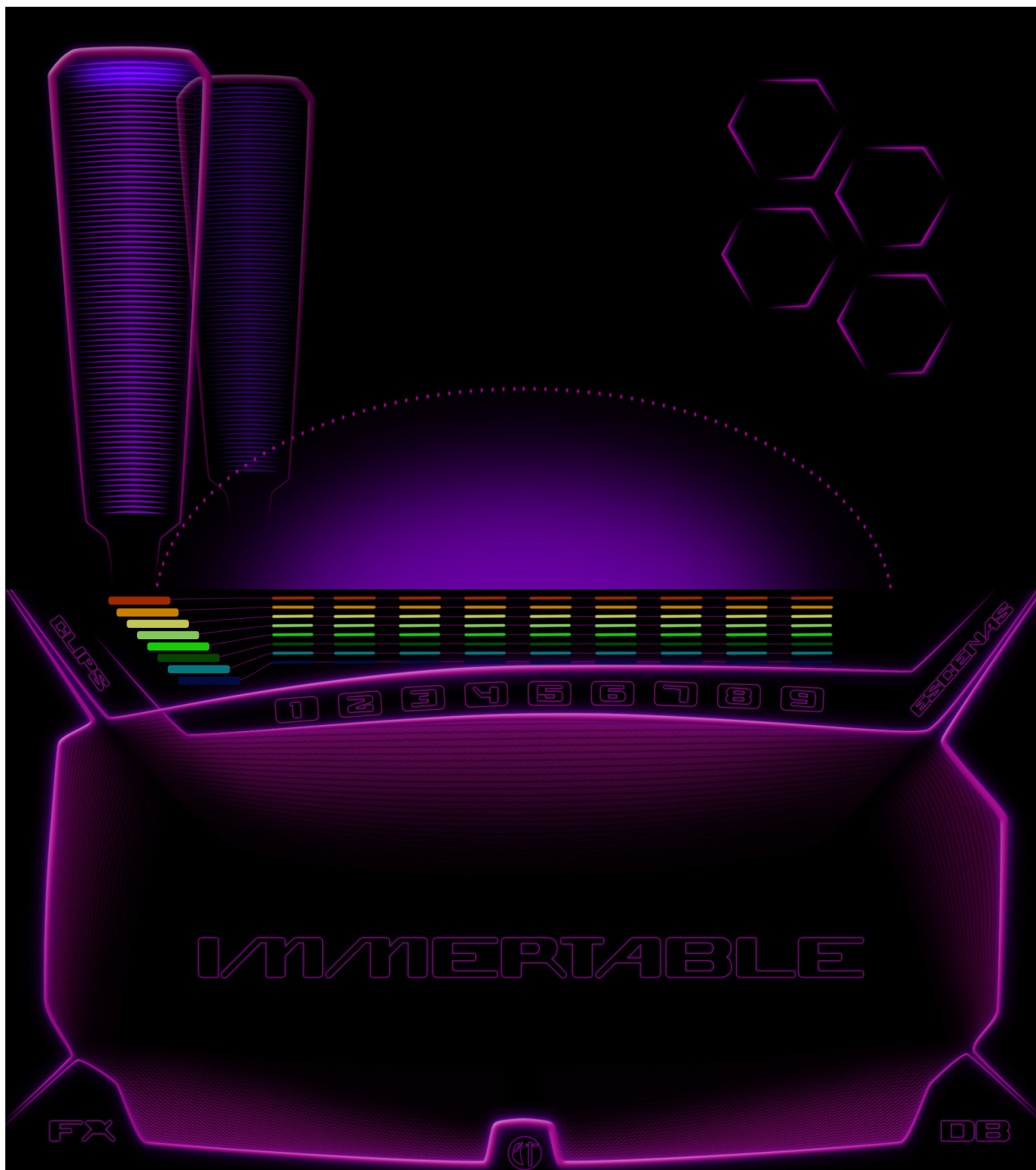


Imagen 5. Interfaz versión final



## 3. TEST DE USUARIOS

Los test de Usuarios son pruebas de usabilidad que se basan en la observación de cómo un número representativo de usuarios lleva a cabo una serie de tareas previamente definidas por el evaluador, para detectar problemas de usabilidad en el uso. Son una herramienta esencial ya que se obtienen de primera mano las sensaciones del usuario.

Aún cuando el diseñador tenga amplios conocimientos sobre usabilidad, resulta recomendable evaluar el diseño con usuarios finales. Esto se debe a que, conforme más tiempo dedica un diseñador a un proyecto, menor es su perspectiva por lo que difícilmente detecta posibles problemas. Se puede decir que gran parte de lo que el diseñador percibe cuando mira su propia obra, es una construcción mental; ve aquello que tiene en mente, no aquello que sus usuarios tienen ante sus ojos.

Para poder plantear esta evaluación se tiene que especificar el usuario objetivo del producto, dado que carece de sentido el consultar a cualquier usuario al azar. En el caso del proyecto Immertable se trata de sujetos familiarizados con la tecnología y con conceptos básicos-medios sobre música, dado que se trata de una interfaz para la creación de sesiones musicales a nivel profesional con opciones específicas y singulares, que pueden confundir a usuarios sin ningún tipo de cercanía al mundo de la música.

Cada usuario realiza la prueba individualmente, y se considera necesario anotar y grabar cada sesión para, posteriormente, poder visualizar todas las reacciones y obtener datos útiles. Para ello se debe cumplimentar y firmar un consentimiento por parte de los usuarios que se presten a realizar la prueba.



## 3. TEST DE USUARIOS

La primera impresión que se lleva el participante al mostrarle el diseño supone una información muy valiosa sobre su usabilidad. Los usuarios, juzgan lo que ven y toman decisiones intuitivas en muy poco tiempo, juicios y decisiones que resultan de gran relevancia para entender la capacidad comunicativa del diseño. Por ello, antes de comenzar formalmente el test se lleva a cabo un “test de 5 segundos”. Este método consiste en mostrar la interfaz durante 5 segundos y preguntar posteriormente por su primera impresión, qué contenidos cree que ofrece o que acciones puede realizar con ese producto, permitiendo de esta forma evaluar la capacidad auto explicativa del diseño visual.

A continuación se realiza la prueba completa, en la que se solicita al participante realizar una serie de tareas, analizando su resolución, el tiempo empleado y si se ha completado o no cada tarea.

Las tareas encomendadas al participante deben ser:

- Ser razonables: Es decir, tareas típicas que un usuario real llevaría a cabo.
- Ser descritas en términos de objetivos finales: La tarea debe contextualizarse bajo un objetivo o motivación mayor.
- Ser específicas: La tarea no puede ser demasiado genérica, sino que debe describir objetivos concretos con el fin de poder comparar los problemas encontrados con los del resto de participantes.
- Ser factibles: Encomendar al usuario tareas irrealizables no aporta información útil sobre los problemas reales de usabilidad del sitio web. En estas pruebas lo que se debe evaluar es el diseño a través de los usuarios, no al contrario.



## 3. TEST DE USUARIOS

- Ser de duración razonable: Si la tarea requiere demasiado tiempo para ser completada, sería recomendable descomponerla en sub-tareas.

Con los test de usuarios no sólo se pretende detectar en qué momentos el usuario se equivoca o se detiene durante la realización de la tarea, sino también el porqué: qué es aquello que no entiende o qué le ha llevado a tomar decisiones equivocadas. Para poder obtener este tipo de información se plantea utilizar la técnica *think-aloud* (pensamiento en voz alta) [30], que consiste en solicitar al participante que exprese verbalmente durante la prueba qué está pensando, qué no entiende, por qué lleva a cabo una acción o duda. Aunque debido a que esta técnica puede alterar las circunstancias normales al tener que pensar y hablar a la vez, se implementa una variante de la misma, el *think-aloud* retrospectivo, en el que el participante primero realiza la tarea y, una vez finalizada, expresa verbalmente cómo recuerda que ha sido su proceso interactivo.

Para no influir en exceso, ni interferir en el proceso, se plantea un sistema de *login*, de tal manera que el usuario pueda acceder al test individualmente. Se tiene así un mayor control sobre los tiempos y unos resultados más exactos.

Una vez definida la prueba, a la hora de comenzar con su realización, el primer paso es entregar al usuario los documentos necesarios para: presentar la prueba y explicar en qué consiste, recabar la firma que otorga consentimiento sobre la grabación de datos y su cesión para el análisis y estudio en busca de resultados, y recabar los datos identificativos del usuario considerados necesarios.



## 3. TEST DE USUARIOS

Una vez informado el usuario y adquirido su consentimiento se entregan las instrucciones de las tareas a realizar, durante la realización del test el responsable de la prueba debe mantener una actitud pasiva, ser paciente con el usuario, evitando cualquier gesto que pueda hacer sentir incómodo al usuario, sin dar pistas sobre lo que ha de hacer, limitándose a realizar anotaciones sobre lo observado. Se plantea recabar estas anotaciones en una tabla recogiendo datos para cada tarea, como el tiempo empleado por cada usuario para su consecución, si ésta fue completada correctamente o no, así como otras observaciones que puedan resultar de interés. Tal y como se muestra en el modelo siguiente.

Usuario\Tarea	Tiempo	Completada (S/N)	Observaciones
Usuario 1			
Usuario 2			
Usuario 3			
Usuario 4			
Usuario 5			

Una vez finalizada la prueba, el responsable pide al usuario que exprese verbalmente cómo recuerda la experiencia (*think-aloud* retrospectivo) y finalmente que responda un cuestionario basado en la escala SUS, *System Usability Scale* [31], con el que se pretende poder recabar datos de opinión sobre la usabilidad del sistema.



## 3. TEST DE USUARIOS

A continuación, se exponen los documentos que el responsable ha de facilitar al usuario de cara a la realización de la prueba, tal y como son vistos por el usuario, siguiendo el orden de entrega mencionado con anterioridad. Estos documentos son:

- Estudio Usabilidad del sistema IMMERTABLE.
- Consentimiento
- Datos del participante
- Tareas
- Cuestionario SUS

# Estudio Usabilidad del sistema IMMERTABLE



Buenos días, .....,

Gracias por acceder a realizar este test para nuestra empresa. Te recuerdo que la participación en este test es voluntaria y que en cualquier momento puedes abandonar.

Mi nombre es XXX XXXX, asesor de usabilidad, y me puedes localizar en la dirección xxx@gmail.com, tel. 6\*\*\*\*\*.

Estamos trabajando en el diseño de una interfaz musical y durante el proceso de desarrollo hacemos intervenir a diversas personas intentando realizar tareas típicas para ver qué elementos del diseño hay que cambiar.

El test va a durar aproximadamente 25 minutos. Tu tiempo de realización va a ser medido. Si deseas beber agua antes o durante el test puedes hacerlo, así como hacer descansos entre tareas, ir al baño... sólo tienes que indicarlo.

Debo subrayar que estamos testeando el producto, no tus habilidades. Si encuentras alguna parte del interfaz difícil de usar, seguro que otras personas también encontrarán dificultades y es nuestra tarea mejorarlo para hacerlo más usable.

En total realizaras x tareas. Deseamos que las realices lo más parecido a una situación real posible, y sólo tras finalizarlas las comentaremos. Tras cada una de ellas se te pasará un pequeño cuestionario para evaluar tu satisfacción general. Durante las tareas yo no podré ayudarte, ni darte ninguna pista, si las ves irrealizables puedes finalizarlas cuando desees.

# Consentimiento



Como voluntario del estudio tu participación es anónima, aunque la prueba es video-grabada y por ello se solicita un consentimiento para que el uso de la grabación sea utilizado para estudiar y analizar el sistema.

Consentimiento de participación en el estudio de usabilidad del proyecto Immertable.

Yo \_\_\_\_\_, acepto participar en este estudio, entendiendo por completo sus términos y condiciones anteriormente descritos. Y acepto que se puedan usar los distintos datos recopilados para el desarrollo del sistema y su documentación. Por ello firmo a continuación:

Fecha \_\_\_\_\_

Firma del participante \_\_\_\_\_

Responsable de la prueba \_\_\_\_\_

Firma del responsable \_\_\_\_\_

# Datos del participante



Por favor a continuación se requiere que cumplimentes una serie de datos para poder conocerte un poco mejor.

Nombre:

Edad:

Sexo:

Profesión, actividad:

Que experiencia tiene en relación al mundo musical:

Se considera a sí mismo una persona familiarizada con las nuevas tecnologías:    SI    NO

De nuevo gracias por participar en este test. Los resultados nos ayudarán a mejorar el diseño. Si tienes alguna duda o comentario previa a la sesión no dudes en preguntar.



## Tarea 1. Inicio de sesión musical.

- Escoge el *track* que desees e inicia sesión.
- Ahora detén la sesión.

## Tarea 2. Variación de volumen

- Reanudar la sesión.
- Subir o bajar el volumen hasta fijarlo a nivel 60.

## Tarea 3. Aplicar efectos

- Continuando con el mismo *track*.
- Modificar la cantidad de efecto *reverb* aplicada hasta que se desee.
- Modificar ahora la cantidad de efecto *delay*.

## Tarea 4. Cambio de escena

- Iniciar sesión con varios *tracks*.
- Ahora cambiar de escena.
- Seleccionar escena "Graves".

## Tarea 5. Silenciar escena

- Silenciar toda la escena
- Volver al estado anterior, recuperar el sonido de la escena.
- A continuación silencie toda la escena a excepción de un track.

# Cuestionario SUS



Selecciona el parámetro que se ajuste mejor en tu opinión para cada una de las siguientes afirmaciones.

Siendo:

1= Totalmente en desacuerdo    2= En desacuerdo    3= Normal    4= De acuerdo    5= Totalmente de acuerdo

1. Creo que me gustará utilizar con frecuencia este sistema.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

2. Encontré el sistema innecesariamente complejo.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

3. Pienso que es fácil utilizar el sistema.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4. Creo que necesitaría del apoyo de un experto para utilizar el sistema.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. Encontré las diversas posibilidades del sistema bastante bien integradas.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6. Pienso que hay demasiada inconsistencia en el sistema.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

7. Creo que la mayoría de las personas aprenderían a utilizar el sistema rápidamente.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

8. He encontrado el sistema incómodo en su uso.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

9. Me he sentido muy seguro haciendo uso del sistema.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

10. Necesito aprender muchas cosas antes de poder utilizar el sistema.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---