

Sistemas de Visualización Inmersiva, Interactivos y de bajo coste en Museos y Espacios Públicos

Julián Flores, Antonio Otero, Eduardo Mallo y Rubén Arenas.

Grupo MAR, Laboratorio de Sistemas, Instituto de Investigaciones Tecnológicas,
Universidad de Santiago de Compostela. España.

Resumen

Durante la pasada década los sistemas inmersivos de realidad virtual han visto crecer su popularidad. Este tipo de sistemas y sus aplicaciones han salido del ámbito de los laboratorios y las universidades para ser ampliamente usados en museos, escuelas y otros espacios de exposición. Esta tendencia se ha desarrollado principalmente debido a las grandes mejoras en el rendimiento de proyectores, microprocesadores y tarjetas de vídeo y a su coste progresivamente menor. En este artículo presentamos dos ejemplos significativos dentro de la trayectoria del grupo MAR de la Universidad de Santiago de Compostela, dedicados al diseño y desarrollo de sistemas inmersivos de realidad virtual de bajo coste orientados a su uso dentro de museos y espacios públicos.

Palabras Clave: MUSEOS, REALIDAD VIRTUAL, INTERACCIÓN

Abstract

Over the past decade, projection based immersive virtual reality systems have increased in popularity. These kinds of systems and their applications left the laboratories and universities and became widely used in museums, schools, and other exhibition spaces. This trend has taken place largely due to vast improvements in the performance of projectors, CPU's, and PC graphics cards at progressively lower costs. In this paper we present two of the most significant projects from the MAR group of University Santiago de Compostela in the design and development of low cost immersive virtual reality systems, in use at museums and public spaces.

Key words: MUSEUMS, VIRTUAL REALITY, INTERACTION

1. Introducción

La introducción de nuevas tecnologías y procedimientos de trabajo en diferentes áreas como la ciencia, las artes, o la educación va en relación con la inercia en la metodología utilizada en su desarrollo y la relación entre coste y beneficios. Esto es especialmente notable cuando se trata de tecnologías como la Realidad Virtual, donde hasta hace pocos años los altos precios del equipamiento necesario para unos gráficos realistas básicos y los costosos dispositivos de interacción, causaban que únicamente las universidades, centros de investigación y las grandes empresas poseyeran este tipo de equipos. De la misma manera las posibles aplicaciones de esta tecnología han sido escasas y sólo tenían aplicación real en casos como la simulación o la ingeniería.

Sin embargo esto ha cambiado sustancialmente en los últimos años debido a la dramática reducción de los costes de la infraestructura y el equipo necesarios para el desarrollo de una aplicación de Realidad Virtual. A las costosas estaciones de trabajo y sistemas de tracking se han añadido sistemas PC más asequibles con tarjetas gráficas de gran potencia, nuevos sistemas de seguimiento, así como una nueva generación de proyectores de vídeo de alto rendimiento. En la actualidad la aplicación de esta tecnología a áreas en las que antes solo era una posibilidad distante, como en museos o centros educativos, es una posibilidad real. En este artículo presentamos dos ejemplos de

experiencias en el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual de bajo coste para museos y exposiciones centradas en el patrimonio histórico y cultural.

La realidad virtual es el área de la informática que se dedica a generar entornos virtuales en los que el usuario tiene la sensación de estar inmerso, en otras palabras, con un alto grado de presencia. Esto se produce por excitación de los sentidos, sobre todo vista y oído, y por la retroalimentación y la interacción con el entorno.

En general el proceso de visualización se desarrolla mediante computación gráfica para la generación de imágenes y por dispositivos inmersivos de visualización para la "proyección". Cuando hablamos de este tipo de dispositivos se presentan dos tendencias claras, el uso individual o colectivo. En el uso individual los elementos principales son los monitores de vídeo o el Head Mounted Display (HMD). Por otra parte, en cuanto a entornos colectivos, los sistemas de visualización basados en proyecciones, tipo CAVE (CRUZ-NEIRA 1993), son más habituales. El alto precio de estos sistemas de visualización usando proyectores es el mayor obstáculo para el desarrollo de un proyecto basado en esta tecnología. Por este motivo los sistemas CAVE solo pueden ser comprados por grandes compañías o instituciones lo que restringe su aplicación a áreas muy específicas como el diseño industrial, la ingeniería o la química. Como claro ejemplo de esta limitación podemos ver que en 2002 solo existían cinco sistemas CAVE dedicados a museos o espacios públicos en todo el mundo (PAPE 2002). Por

tanto, es evidente que existe la necesidad de abordar el desarrollo de este tipo de sistemas desde una perspectiva más económica, ya que la tecnología permite ampliar el alcance en la aplicación de los sistemas de visualización inmersiva basados en proyección.

En la última década, debido a la gran evolución tecnológica sufrida tanto por las tarjetas gráficas, y por los ordenadores personales nos permiten obtener beneficios similares a las estaciones de trabajo a un precio mucho menor. Estos desarrollos se ven impulsados, en muchos casos, por la industria del vídeo-juego.

Otros elementos a considerar en el desarrollo de aplicaciones VR son las nuevas APIs, toolkits gráficos y nuevos motores libres (OGRE3D, OSG, etc) que facilitan desarrollos complejos en un corto período de tiempo.

2. Realidad Virtual en el Museo

Los museos están incorporando, de forma masiva, los recientes avances en la tecnología de la información, tanto para su funcionamiento interno como para la presentación de sus exposiciones de cara al público. Este último punto se aplica al diseño de exhibiciones interactivas, productos audiovisuales y/o educativos o juegos de ordenador, mejorando, de manera sustancial, la experiencia de los visitantes y adaptándose a los nuevos tiempos. Esto es especialmente relevante en museos científicos, planetarios y en el ámbito de la museística en general, donde se está haciendo un gran esfuerzo para incorporar las últimas tecnologías para sus exposiciones, desde "aplicaciones de escritorio", hasta sofisticadas aplicaciones de realidad virtual y simuladores.

La introducción de nuevas tecnologías en un espacio público, y más si un espacio orientado a la educación, obliga a considerar una serie de factores que podrían restringir determinados aspectos relativos al diseño de la aplicación. Estos factores fueron presentados y discutidos de forma amplia por Roussou (ROUSSOU 2000), en general podemos decir:

1. **Contextualizar la tecnología:** La tecnología no debe ser presentada en forma aislada, debe ser incorporada en su contexto de uso.
2. **Tecnología "Amable":** Las herramientas tecnológicas deben ser elementos dedicados a mejorar los objetivos educativos, por tanto deben ser "transparentes", no molestas y centradas en el proceso de aprendizaje.
3. **Feedback inmediato + Participación prolongada:** Una experiencia educativa que emplee técnicas de realidad virtual debe ser estructurada y controlada, haciendo especial hincapié en una respuesta de alta velocidad con una experiencia de feedback inmediata para el usuario.
4. **Diseñar con el contenido en mente e implicando a expertos:** Las innovaciones tecnológicas punteras se ven habitualmente rodeadas por la sospecha de entregar un contenido muy limitado en comparación con su alto coste económico. Para evitar esto es conveniente implicar a la mayor cantidad de expertos posible, que abarquen todos los ámbitos implicados: creadores de contenidos, educadores, etc...

5. **Usabilidad y cuestiones físicas:** El enfoque práctico de utilización de la tecnología es especialmente relevantes porque, en la mayoría de los casos, estas tecnologías no están diseñados para ser empleados por usuarios noveles (gafas estereoscópicas, o dispositivos de tracking o táctiles, etc). Otros factores prácticos importantes son las restricciones físicas como los ángulos de visión, líneas de visión, la ergonomía, etc.

En los próximos puntos se presentan diferentes proyectos de software y hardware con el fin de mostrar la evolución de los mismos.

3. El proyecto Santiago 2000 y el NAVE

Santiago 2000 fue el primer gran proyecto desarrollado por el grupo MAR. Se trataba de un proyecto multi-audiovisual dedicado a la celebración de Santiago de Compostela, capital cultural europea del año 2000. Santiago de Compostela es, desde la edad media temprana, uno de los lugares de peregrinación más importantes del mundo cristiano.

El objetivo principal del proyecto Santiago 2000 era la recreación del casco antiguo de la ciudad, de 800 años de antigüedad, parte importante de su patrimonio cultural. La reconstrucción incluía la Plaza del Obradoiro y las zonas que rodean la Catedral de Santiago de Compostela, así como la propia Catedral. Mientras los usuarios pasean por la ciudad virtual reciben vistas y sonidos de usuarios que incluyen las campanas de la Catedral, gaiteros y trovadores.

Este entorno debía de ser mostrado a miles de potenciales visitantes como en un parque temático. Por lo tanto se realizó un gran esfuerzo para minimizar el desgaste del entorno y el equipo para los usuarios. Esto descartaba el uso de equipo de alto coste y frágil o temperamental como shutter-glasses o trackers haciendo, por tanto, necesario el uso de proyectores de visualización inmersiva.

En este contexto se desarrolló un sub-proyecto tecnológico llamado NAVE (PAIR 2000) El objetivo del NAVE era el diseño de un sistema virtual inmersivo multisensorial y de bajo coste, basado en PC, multi-pantalla, multi-usuario y con la mayoría de los elementos deseables del CAVE pero a una fracción de su coste económico y en el que se visualizase el entorno virtual.

Los proyectos NAVE y Santiago 2000 fueron desarrollados en colaboración entre The Virtual Environments Group del Georgia Institute of Technologies y el Instituto de Investigaciones Tecnológicas de la Universidad de Santiago de Compostela.

El NAVE es un entorno de tres pantallas. Originalmente cada pantalla tenía unas medidas de 2,4 metros de ancho y 1,8 metros de alto. Cada pantalla se posiciona en un ángulo de 120° en relación a las otras, creando una visualización triple de 4,8 metros de ancho y aproximadamente 2,1 metros de profundidad. El usuario se sienta en una silla Thunderseat situada en el centro del semicírculo formado por las tres pantallas. La imagen de cada pantalla es generada por un PC con procesador Pentium III a 500 MHz y es retro-proyectada en estéreo, el usuario experimenta el efecto estereoscópico usando unas gafas polarizadas de bajo coste. Un cuarto ordenador personal coordina el proceso de representación en pantalla de las tres

maquinas y proporciona sonido direccional al NAVE. El software usado en el NAVE está basado en el Simple Virtual Environments (SVE) Toolkit (KESSLER 2000).

El NAVE usa tres proyectores estereoscópicos VREX 2210, uno para cada pantalla. Estos proyectores tienen una resolución en mono de 1024x768 a 400 lumens ANSI. Dado que el NAVE se exhibe en una habitación oscura 400 lumens son más que suficientes para un sistema basado en retro-proyección. En modo estéreo la resolución efectiva para cada ojo es de 1024x384, sin embargo el resultado combinado da impresión de mayor resolución.

Se desarrolló una aplicación con soporte para red y en general podemos decir que la aplicación presenta una arquitectura cliente/servidor. Puede ejecutarse en un solo ordenador o renderizada en red para presentaciones más complejas. El servidor es el gestor del sistema y está a cargo de la mayoría de tareas de la aplicación V.R., salvo la parte de representación gráfica que lleva cada cliente. En el caso de una presentación multi-pantalla se pueden usar más de un cliente gráfico como sistema de representación. En el caso de un ordenador único, por ejemplo un usuario en su propia casa, este sería el encargado de hacer todas las tareas.

Santiago 2000

El primer prototipo del NAVE se instaló en el Georgia Institute of Technology. Este sistema de prueba fue usado por profesionales de la computación para intercambiar ideas sobre la construcción del NAVE y el entorno, interactividad, etc. Durante cuatro meses un pequeño NAVE estuvo operativo en el Instituto de Investigaciones Tecnológicas de la Universidad de Santiago de Compostela (*figura 1*). Para cubrir un amplio espectro de usuarios se invitó a usar el sistema a grupos de investigadores del laboratorio, amigos y público en general. Finalmente el pequeño NAVE fue presentado en el SIPAC'99 donde profesionales de la historia y el patrimonio cultural aportaron su opinión sobre el entorno. La reacción de los usuarios fue muy positiva; sentían como si estuvieran en el Santiago real y trataban de encontrar su casa o sus lugares favoritos de la ciudad. Los usuarios destacaron especialmente la gran calidad de la imagen y del sonido. Los vídeos informativos se encontraban con facilidad y el usuario, tras ver el primer vídeo, buscaba los puntos de información cuando entraba en una nueva localización.

La exposición Santiago 2000 se situó en el palacio de Fonseca y fue visitada por entre 500 y 800 personas por día, en grupos de 15 personas. Está formada principalmente por dos entornos virtuales. El primero de ellos era una arquitectura NAVE con pantallas de 2,3 metros por 1,8 metros en las que se presentaban las cuatro plazas alrededor de la Catedral. Un segundo sistema inmersivo estaba compuesto por una pantalla única de 5 por 3 metros, en este caso los proyectores VREX se substituyeron por dos proyectores estándar con resolución 1024x768 y filtros polarizados para aumentar la resolución final de la imagen. En ambos casos los usuarios podían moverse libremente por el entorno, en general un grupo de usuarios compartía la experiencia mientras que uno de ellos actuaba como guía o líder.



Figura 1. Instalacion del proyecto Santiago 2000.

4. El LAB - Botafumeiro VR

Los siguientes pasos basados en estos sistemas de trabajo fueron impulsados por dos factores determinantes: la necesidad de actualizar el sistema de software que da soporte al NAVE para mantenerse al día de la rápida evolución de los arquitecturas de PC, especialmente en el sistema gráfico y el deseo de mejora de la parte interactiva del sistema, dándoles a los usuarios un rol más activo dentro de la aplicación, cerrando la brecha que nos separa del paradigma clásico de la realidad virtual.

El software del NAVE se construyó usando la biblioteca de programación SVE proporcionada por el Georgia Tech GVU. En ese momento fue una muy buena elección, ya que la SVE LIB era perfectamente adecuado para este tipo de proyectos relacionados con entornos virtuales, sin embargo, no fue específicamente diseñado para trabajar bajo un cluster gráfico. Basándose en ese punto, y con el futuro desarrollo de proyectos en mente, era necesaria una plataforma de software mejor adaptado al cluster y capaz de satisfacer las necesidades particulares de la arquitectura del NAVE. En este escenario surge la biblioteca de programación LAB.

El LAB ha sido diseñado para cumplir con una serie de especificaciones, siendo las principales su uso en sistemas multi-pantallas en clusters de PC, con versatilidad suficiente en relación con diferentes número de pantallas y configuración física, capaz de gestionar múltiples interfaces y aprovechar el rápido crecimiento en la capacidad de las GPU. Hay que decir que hemos tomado como punto de partida el excelente enfoque utilizado en el SVE en el capítulo de la gestión de escenas, sobre todo la filosofía de modelo de usuario y la jerarquía de mundo virtual orientada a gráficos de escenas. El LAB es una biblioteca de programación C++ (*figura 3*) diseñada para trabajar bajo plataformas Win 32, los gráficos son administrados por la API OpenGL (con Cg shader y extensiones GLEW), el interfaz clásico y la gestión de sonido se basan en el SDK de DirectX (Direct Sound y Direct Input), Winsock LIB maneja la red de comunicaciones y da soporte a dispositivos de tracking y al módulo de adquisición de datos Advantech ADSAPI Systems LIB.

Una de las características más interesantes de LAB es que fue diseñado basado en una arquitectura cliente-servidor, debido a su orientación hacia sistemas de clusters PC multi-pantallas. Con este enfoque en un sistema de N pantallas usamos un grupo de N+1 elementos, N equipos como clientes gráfico y un servidor, por lo que habrá N+1 aplicaciones: N softwares cliente y un servidor para coordinarlos a todos, a pesar de que algunas variaciones podrían darse debido las necesidades de las aplicaciones.

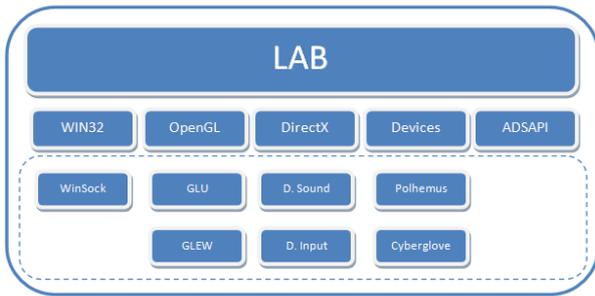


Figura 2: Capas del software LAB

Botafumeiro VR

The “Botafumeiro” VR (FLORES 2006) trata de recrear virtualmente la liturgia del "Botafumeiro" de la catedral de Santiago de Compostela. Se trata de la simulación física de un péndulo-incensario que cuelga bajo la bóveda, en la cruz de la catedral, de una cuerda de longitud variable. El objeto es puesto en movimiento por un equipo de doce hombres, llamados "Os Tiraboleiros", al acortar o alargar la cuerda de sujeción, introduciendo (o extrayendo) energía del sistema, lo que da por resultado un movimiento oscilatorio a través de la cruceta del templo. Cuando el ciclo de tiro se realiza correctamente se puede observar la espectacular dinámica del Botafumeiro, alcanzando velocidades de cerca de 70 km/h a solo un metro del suelo a mitad de recorrido y 20 m de altura en su máximo ángulo de oscilación (82°).

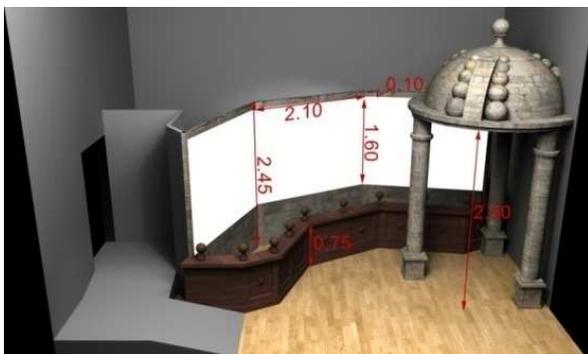


Figura 3. Disposición del sistema de pantallas.

La estructura básica de este sistema está formada por tres elementos principales: sistema de visualización (imagen y

sonido), motor de simulación e interfaz. El motor de simulación representa la escena que vemos en pantalla y también maneja el interfaz de usuario. El proyecto original parte del mismo sistema de visualización (similar al NAVE / CAVE), formado por tres pantallas semi-inmersivas. Las principales modificaciones se introducen en el motor de simulación, el interfaz y el sistema de proyección. Esta arquitectura trabaja en un cluster de tres PC's, en una configuración cliente/servidor, coordinada a través de una red local (LAN), donde dos de ellos son clientes gráficos y un tercero compagina su función como cliente gráfico y como servidor. Esto es posible gracias a la gran capacidad y potencia de los ordenadores actuales que consiguen mantener un frame rate muy alto de forma estable. El sistema de visualización, es un entorno estereoscópico pasivo, donde cada cliente gráfico genera el par estereoscópico necesario para cada una de las tres pantallas (figura 4), una central y dos laterales con una ángulo de 120° respecto a la central. Consiste en una imagen sobre impuesta a una resolución de 2x1024x768 (dos salidas por cada GPU a 1024x768 pixeles de resolución). Cada salida gráfica está conectada a un proyector con filtro polarizado que proyecta sobre una pantalla de 3,36 m2 y que mantiene el estado de polarización.

La simulación física del Botafumeiro ha sido perfeccionada y la alta capacidad gráfica del sistema también permite añadir a la escena otros factores para aumentar la sensación de inmersión, y para elevar el nivel de calidad visual, sin pérdida de rendimiento. Por ejemplo, un sistema de partículas basado en la GPU, sincronizado a través del cluster, se utiliza para simular el humo expulsado por el incensario.

El interfaz de tiro consiste básicamente en cuatro extremos de cuerda (los usuarios pueden variar de uno a cuatro) que cuelgan de una estructura y conectados a un basculante hidráulico. Cuando los usuarios tiran de la cuerda, tiran del basculante también, que reacciona con una fuerza opuesta a la tracción, simulando el peso del incensario. Un sensor industrial de distancia por cable (ASM Sensors) montado en la estructura se conecta al basculante, detectando cuando el usuario tira, cuánto tiempo tiran y la fuerza usada para tirar de la cuerda. El sensor está conectado a un módulo de adquisición de datos (Advantech USB-4711A), controlada por el motor de simulación en el servidor, que gestiona todos los parámetros adquiridos introduciéndolos en la simulación, haciendo que la interacción sea posible. Todo el equipo usado en este proyecto queda disimulado en forma de "atrezzo" con un aspecto parecido al de la Catedral para reforzar la sensación de inmersión y presencia. Ordenadores, proyectores, cables, etc, están ocultos tras un escenario teatral de piedra que representa la antigua Catedral. Este sistema de tiro cuelga bajo un mirador abovedado de tres columnas, ocultando el basculante, el sensor y el módulo de adquisición de datos.

5. Conclusiones

Desde el punto de vista técnico y de la gestión de proyecto se puede asegurar que usando hardware de consumo actual, el proyecto final es plenamente realizable con la reducción de costes buscada. Basándose en esos gráficos en tiempo real de alta calidad, el realismo y la calidad de los entornos 3D se basa principalmente en la habilidad de los diseñadores gráficos y modeladores 3D. Llegados a este punto se debe realizar un esfuerzo significativo a nivel de la gestión y el calendario del proyecto para alcanzar un equilibrio entre realismo, fidelidad,

valores educativos y presupuesto, teniendo en cuenta el amplio espectro de campos de conocimiento involucrados.

Se pueden extraer múltiples conclusiones de la amplia utilización de sistemas basados en la proyección. La configuración de pantallas del NAVE se ha revelado muy versátil, con un gran campo y ángulo de visión. La alta resolución y la potencia de luz de la tecnología de proyección actual tienen un rol importante en el incremento de la calidad de la imagen, pero dichos sistemas mantienen sus desventajas: dificultad de alineamiento y blending, susceptibilidad a la vibración, etc.

La arquitectura cliente/servidor del LAB ha demostrado ser muy eficaz en el desarrollo de entornos virtuales multi-pantalla, soportando una amplio rango de configuraciones de pantalla así como experiencias multi-usuario o aplicaciones orientadas a un usuario único. Uno de los grandes retos de este enfoque es la coordinación de todos los ordenadores a través de la red, pero gracias al frame rate alto y constante conseguido resulta un problema fácil de resolver. Dada la alta calidad de los actuales motores de código abierto como Ogre3D, u OpenSceneGraph pensamos que resultaría interesante reemplazar la capa de render del LAB con las API anteriormente mencionadas, para alcanzar una mayor calidad gráfica. Hemos sido capaces de utilizar dicha configuración en aplicaciones de última generación.

Más allá de las cuestiones técnicas, el aspecto más relevante en el diseño de una aplicación de realidad virtual orientada a espacios públicos es la planificación de contenidos. Roussou sugirió una buena serie de directrices a seguir en este tema; entre ellas

creemos que se plantean tres cuestiones fundamentales y dar respuesta a estas preguntas nos conducirá a una óptima creación de contenidos:

- ¿Qué queremos enseñar?
- ¿Cuál es el público objetivo?
- ¿Dónde se va a enseñar?

Tiene sentido considerar una tarea de alta prioridad el incorporar una adecuada y atractiva historia-secuencia en la aplicación, de tal manera que los participantes se conviertan en agentes activos del entorno virtual. Hoy en día resulta difícil justificar un paseo virtual clásico ya que el público (de todas las edades) se ha habituado a los contenidos interactivos de tal manera que la búsqueda de "algo que hacer" se convierte en un aspecto crucial de la inmersión, y que nos lleva a un alto grado de presencia. Las limitaciones de tiempo establecidas por museos y espacios públicos son otro aspecto a tener en cuenta y, si es posible, deben de ser introducidos en la historia de forma sutil tratando de alcanzar un compromiso entre contenido y tiempo. Por último recordar el clásico tema heredado del cine que afirma que una buena historia es el principal elemento para asegurar la atención del público y entretenerlo, más importante que otros aspectos como la calidad de la imagen o de sonido, etc.

Bibliografía

(CRUZ-NEIRA 1993) C. Cruz-Neira, D.J. Sandin, T.De Fanti." Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE", Proceedings, SIGGRAPH'93, pp135-142

(PAPE 2002) D. Pape, J. Anstey, G. Dawe. "A Low Cost Based Virtual Reality Display". The Engineering Reality of Virtual Reality, SPIE Stereoscopic Displays and Applications 2002, San Jose, CA, 24 January 2002.

(ROUSSOU 2000). Maria Roussou Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education. In Proc. of i3 spring days workshop on User Interfaces for All: *Interactive Learning Environments for Children*, Athens, Greece.

(PAIR 2000) Pair, Jarrell, Carlos Jensen, Julian Flores, Jeff Wilson, Larry Hodges, and Dave Gotz. "The NAVE: Design and Implementation of a Non-Expensive Immersive Virtual Environment." Technical sketch in SIGGRAPH 2000 Conference Abstracts and Applications, ACM Press, August 2000, pp 238.

(KESSLER 2000) Kessler, G. D., Bowman, D. A., and Hodges, L. F. 2000. The Simple Virtual Environment Library: An Extensible Framework for Building VE Applications. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 9, 2 (Apr. 2000), 187-208

(FLORES 2006) Julián Flores, José M. Ferro, José A. Taboada, Juan E. Arias. "The "Botafumeiro" VR: Virtual Reality in the Liturgy of the Middle". *Presence*, Volumen: 12 N°: 2, pp: 222-228 ,