

# Un nuevo sistema de trabajo integrado basado en tecnologías de visualización inmersiva para el diseño y la evaluación de trazados de carreteras

Inmaculada Coma, Marcos Fernández, Pedro Morillo, Jesus Gimeno, Sergio Casas

Instituto de Robótica.  
Universitat de València  
Valencia

[Inmaculada.Coma@uv.es](mailto:Inmaculada.Coma@uv.es)

## Resumen

En este artículo presentamos los elementos hardware y software de SOROLLA, un nuevo entorno de trabajo, consistente en una mesa de trabajo totalmente configurable, basado en un dispositivo de visualización inmersiva de bajo coste. Una de las principales aportaciones del sistema propuesto es la inclusión de diferentes tipos de interacción dentro del mismo sistema de visualización. Esto permite por un lado interfaces con los mecanismos tradicionales de interacción de sobremesa (utilizando el ratón y el teclado), pero incluyendo también entornos de Realidad Virtual y dispositivos ad-hoc que detectan la posición y movimientos del usuario y generan una visualización estereoscópica.

A pesar de que SOROLLA podría ser utilizado como un dispositivo generalista para visualizar aplicaciones de Realidad Virtual y Realidad Aumentada, las primeras aplicaciones desarrolladas dentro de este entorno se han enfocado al campo de la Ingeniería Civil. En la validación del sistema propuesto presentamos VALLE, una herramienta para el diseño de carreteras e infraestructuras viarias donde los usuarios pueden diseñar o modificar trazados viales y comprobar los efectos de dichos cambios sobre el terreno. Aunque otras herramientas existentes en el mercado permiten visualización tridimensional de los datos mostrados, toda información mostrada es posterior a un procesamiento de los datos, no siendo posible las modificaciones en tiempo real del trazado. En el caso de VALLE, la interacción y la visualización en tres dimensiones del trazado tanto de la carretera como del entorno se realiza en tiempo real a media que el usuario varíe cualquier parámetro de la simulación.

## 1. Introducción

Tradicionalmente, se utilizan aplicaciones de Ingeniería Civil asistida por ordenador (como InRoads o Civil3D) para el diseño de carreteras que permiten una creación detallada del trazado viario. Sin embargo, la principal carencia de estas herramientas es la dificultad para la visualización y modificación en tres dimensiones y en tiempo real de los trazados y los cambios en el terreno que ello conlleva. Con el fin de lograr este objetivo suelen utilizarse en ocasiones herramientas exportadoras de datos (como Virtual Map o RDV) que permiten una visualización más realista de los entornos diseñados. Sin embargo, la utilización de las técnicas 3D en estas herramientas suele estar limitada a la creación de vídeos para presentación o, en algunos casos, a los vuelos interactivos, no permitiendo en ningún caso interactuar directamente con el diseño y ver instantáneamente los efectos de los cambios.

Con el objetivo de fundir las capacidades de estos dos tipos de herramientas y mejorar algunos aspectos de manipulación tridimensional no contemplados en ellas, hemos desarrollado la herramienta VALLE. Su principal objetivo es disponer de un sistema capaz de mostrar con muy poco esfuerzo el aspecto final de un proyecto viario concreto e incluso evaluar su impacto ambiental y estético.

Sin embargo, era necesario disponer de un sistema que permitiera realizar demostraciones o discusiones de proyectos en grupo utilizando VALLE que permitieran una visualización estereoscópica de los modelos viarios generados. Para ello, hemos diseñado el sistema de visualización SOROLLA, una mesa de trabajo configurable de bajo coste que permite diferentes modos de trabajo mediante el uso de diferentes pantallas. Aunque en una primera versión

SOROLLA incluía sistemas de interacción de escritorio (ratón y teclado), junto con visualización estereoscópica pasiva, actualmente la hemos mejorado y ampliado incluyendo no sólo sistemas de detección de posiciones utilizando cámaras web y posicionadores, sino también interacción con guantes Thimbel-Glove.

Así, podemos considerar que nuestro sistema está dentro de los entornos de Realidad Virtual semi-inmersivos [9], donde se utiliza la retroproyección (que nos permite entornos de trabajo multi-usuario) y el estéreo pasivo (que tiene un coste económico menor que el activo).

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma: en el apartado 2 se describen los trabajos previos relacionados con el actual en el área de sistemas de visualización semi-inmersivos y mesas de trabajo. El apartado 3 describe con detalle la mesa de trabajo, centrándose en el diseño de los elementos hardware y software que permiten los distintos modos de interacción con el sistema. El apartado 4 describe las características de la herramienta VALLE y su utilización dentro de la mesa de trabajo. Y por último se muestran las conclusiones del trabajo.

## 2. Trabajos relacionados.

Si atendemos al grado de inmersión y al tipo de interacción que se produce en los sistemas de Realidad Virtual, suelen distinguirse entre sistemas inmersivos o semi-inmersivos dependiendo del grado de presencia en el mundo virtual que producen y del tipo de dispositivos de entrada que utilizan. Los sistemas semi-inmersivos suelen utilizar monitores convencionales, gafas estereoscópicas y un ratón para la manipulación de objetos y generación de movimiento dentro del mundo virtual.

Desde el punto de vista de la interacción, los sistemas de Realidad Virtual utilizan los esquemas de manipulación directa. En algunos casos esta interacción se consigue con movimientos naturales de la cabeza y de la mano, y en otros, mediante el uso de dispositivos con punteros como el ratón.

En ocasiones se utilizan mesas de trabajo o *Workbenches* como sistemas de Realidad Virtual. Estas mesas suelen estar dotadas de una pantalla mayor que las de los ordenadores de sobremesa y

utilizan sistemas de estéreo activo o pasivo como dispositivos de selección sobre la pantalla.

Existen numerosos desarrollos de mesas de trabajo utilizadas en aplicaciones de Realidad Virtual que suelen diferenciarse, desde el punto de vista físico, en la posición de la pantalla.

Así, algunos de estos sistemas utilizan una pantalla cuya posición es fija [11,12], otros permiten modificar la orientación de la misma como TAN [4], y otros que incluso permiten ajustar tanto la orientación como su altura [2] (ambos actualmente fuera del mercado). Otros sistemas, como CONSUL, incluyen una pantalla dual de proyección en forma de "L" [3].

Si atendemos a las técnicas de estéreo utilizadas, algunos permiten sólo el estéreo pasivo (como el Barco TRACE) y otros combinan las técnicas de estéreo activo o pasivo para permitir el trabajo colaborativo [6].

Respecto a las aplicaciones de las mesas de trabajo, encontramos algunas muy interesantes, como por ejemplo la utilización de la KRDL [12] para un sistema de planificación de operaciones [6] donde se incluyen técnicas de interacción 3D y manipulación directa.

Existen también aplicaciones de las mesas que exploran las técnicas de trabajo colaborativo dentro de los entornos virtuales, aplicándolas por ejemplo a sistema de diseño CAD para ingeniería, como la *Designers Workbench* [10]. Otro ejemplo de prototipo de una mesa de trabajo aplicada al campo del diseño es SIeRV [1] que contiene un prototipo de dispositivo de interacción con mecanismo de posicionamiento.

## 3. La mesa de trabajo SOROLLA.

En el sistema de visualización inmersiva de bajo coste propuesto podemos distinguir dos partes principales: el subsistema de visualización y el subsistema de interacción. El subsistema de visualización está compuesto por el hardware gráfico y de proyección, y proporciona diferentes modos de presentación de la información incluyendo visualización estereoscópica. Por otra parte, el subsistema de interacción integra diferentes mecanismos de entrada de datos y de detección de las acciones del usuario. Así, podremos interactuar utilizando un ratón, pero también haciendo uso de interfaces más naturales que detectan la posición y movimientos del

usuario y actualizan el sistema en función de los mismos.

### 3.1. Sistema de visualización y proyección.

La arquitectura hardware de SOROLLA está diseñada para permitir dos modos de visualización denominados *modo de trabajo* y *modo de presentación*. Para ello, es posible configurar el sistema de visualización utilizando bien una pantalla rígida de visualización de 50 pulgadas de tamaño (1.27m), o bien una pantalla flexible de tamaño 100 pulgadas (2.54m). Con esta característica conseguimos tener integrado dentro del mismo sistema la posibilidad de trabajo de un solo usuario o las visualizaciones colaborativas.

La pantalla de 50 pulgadas está unida a la superficie de la mesa formando un ángulo gracias a un soporte que permite modificar su inclinación tanto para ajustarla en función de la iluminación, o de la posición del usuario, tal y como se puede apreciar en la Figura 1 (derecha).

En la Figura 1 vemos también la configuración de la mesa utilizando la segunda pantalla de visualización, de 100 pulgadas, que está pensada para proyecciones en grupo y por tanto se ha situado de forma perpendicular a la mesa.



Figura 1. Configuración de la mesa en los dos modos de visualización: modo presentación y modo trabajo.

Para conseguir un sistema más compacto y de menor tamaño se ha reducido la distancia de proyección utilizando un espejo y obteniendo las imágenes por retroproyección, como se muestra en la Figura 2.

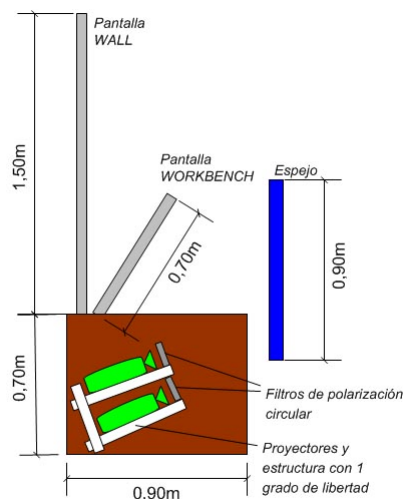


Figura 2. Esquema del sistema de proyección para los dos modos de presentación.

En ambos modos de presentación, es posible utilizar la visualización estereoscópica que dota al usuario de un mayor grado de inmersión así como de una percepción más realista de la escena virtual. El sistema de visualización estereo está compuesto por dos proyectores estándar polarizados con filtros circulares, que proporcionan las imágenes correspondientes al ojo derecho e izquierdo. Además, se utilizan unas gafas polarizadas de estereo pasivo que filtran para cada ojo la imagen correspondiente. Este sistema de estereo tiene un menor coste económico que el activo además una excelente calidad de imagen.

### 3.2. Interacción con el sistema.

Desde el punto de vista de la interacción, nuestro sistema utiliza una mezcla de dos tipos de interacción: la manipulación directa en entornos virtuales con movimientos naturales, y la manipulación directa en interfaces 2D.

Respecto a los interfaces 2D, hemos empleado la metáfora de escritorio, cuyo uso está ampliamente extendido, además de incluir interfaces gráficas virtuales de tipo WIMP.

Para la interacción con estos interfaces, SOROLLA ofrece al usuario la posibilidad de

utilizar los dispositivos clásicos (ratón y teclado), o bien emplear un puntero luminoso cuya posición se localiza mediante una cámara (de bajo coste tipo webcam tal y como muestra la Figura 3) que hemos situado detrás de la pantalla con el fin de evitar oclusiones. Esta cámara captura los movimientos del usuario en la pantalla y se encarga de mover el cursor a la posición especificada. El puntero luminoso consiste en un LED de infrarrojos. Con esta configuración, conseguimos un sistema que funciona bien en condiciones bajas de iluminación. El puntero luminoso se ha situado en el extremo del dedo índice de un guante (ver Posicionador P2 de la figura 5), pero podría utilizarse de forma totalmente independiente al guante. Además, el sistema permite tener más de un puntero, uno en cada dedo índice de las manos, y detectar los eventos provenientes de ambos LEDs.

Con estos punteros se pueden realizar las operaciones de forma similar a como se trabaja con un *touchpad* de un ordenador portátil, siendo posible detectar el movimiento de un puntero, y acciones como el 'click' y el doble 'click'.

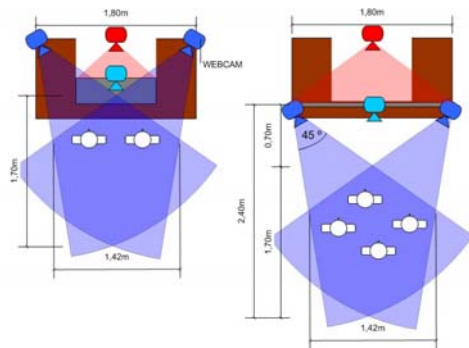


Figura 3. Disposición de las cámaras Web en los dos modos de presentación para recoger posiciones y acciones de los usuarios.

Además de la interacción con los interfaces 2D, el sistema extiende la metáfora de escritorio permitiendo la manipulación directa de los objetos 3D en el entorno virtual. Así, mediante el uso de dos guantes Thimbel-Glove [8] y un sistema de captura basado en dos cámaras web (ver el elemento WC2 de la figura 5) que detectan los movimientos de un posicionador situado en el guante (ver el elemento P2 de la figura 5), permitimos la manipulación directa de objetos con movimientos naturales como coger, mover, rotar o escalar.

Los diodos LED del puntero luminoso emiten luz de diferentes colores con lo que se consigue que las cámaras diferencien el posicionador que emite a partir del color de la luz capturada. Este sistema de captura de bajo coste puede detectar simultáneamente la posición de varios posicionadores dentro de un campo de visión de tres metros con un error aproximado de 1 centímetro.

Por último, las gafas de estereo también disponen de un posicionador que permite capturar la localización de la cabeza del usuario y así generar la proyección (pirámide de visión) en función de la misma tal y como muestra la Figura 4.



Figura 4. Imagen de la mesa de trabajo utilizada con las gafas de estereo pasivo.

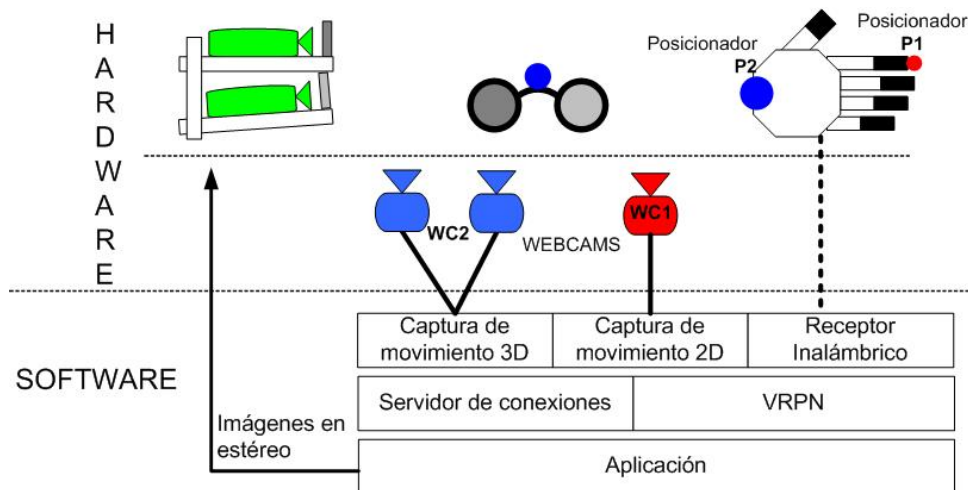


Figura 5. Esquema de integración de un aplicación de Realidad Virtual (VALLE) dentro de SOROLLA

### 3.3. Software e integración con el sistema.

El sistema de visualización SOROLLA permite a los usuarios desarrollar y ejecutar aplicaciones utilizando los estilos de interacción clásicos basados en ratón y teclado, pero también incorpora las tecnologías de Realidad Virtual. Para facilitar la compatibilidad con cualquier tipo de aplicaciones proporciona conectividad basada en *sockets* y en VRPN (*Virtual Reality Peripheral Network*) [13].

Podemos describir la arquitectura software del sistema dividiéndola en cinco capas de acuerdo al nivel de abstracción de cada subsistema. Dos de ellas pertenecientes al hardware del sistema y las otras al software del mismo. La Figura 5 muestra un diagrama de dicha arquitectura y la integración entre los distintos elementos.

La capa más alta contiene todos los dispositivos de interacción y visualización, tales como los proyectores (que incluyen filtros polarizados), gafas de estereografía pasiva y guantes Thimbel-Gloves con sus posicionadores. Para el caso de interacción con ratón y teclado estarían incluidos aquí.

La segunda capa del hardware incluye los dispositivos necesarios para recoger todos los datos de los periféricos de la primera capa. En nuestro caso se trata principalmente de las cámaras web comentadas en la sección anterior,

que nos permiten detectar posiciones 2D sobre la pantalla o movimientos 3D del usuario.

La siguiente capa agrupa los módulos software de conexión de aplicaciones, que contiene los datos recogidos desde los dispositivos de captura, tales como la información de los posicionadores, los gestos de la mano o la posición del LED de infrarrojos

A continuación, la cuarta capa encapsula estas estructuras de datos en mensajes que utilizan los *sockets* y la biblioteca VRPN que es un interfaz específicamente diseñado para la comunicación entre aplicaciones y dispositivos físicos (tales como posicionadores) utilizados en sistemas de Realidad Virtual. Para ello, se utiliza el servidor de conexiones que recoge los datos de un determinado puerto de entrada.

Por último, la capa inferior del software es la aplicación encargada de generar la representación 3D de la escena dependiendo de los mensajes que recibe de los interfaces.

## 4. La herramienta VALLE

El objetivo de la herramienta de diseño y visualización de carreteras VALLE es disponer de las funcionalidades básicas de modelado de carreteras que ofrecen los programas Ingeniería Civil (muchos de ellos sólo permiten el diseño de la carretera visualizando de forma independiente

el trazado en planta, perfil vertical y sección transversal) pero aportando las ventajas de los entornos 3D interactivos, donde se obtiene una visualización mucho más realista. La visualización tridimensional además de ser útil por el aspecto realista del entorno que ofrece, también permite detectar errores de forma más sencilla en un proyecto de infraestructuras viales, así como ver el efecto sobre el entorno de la modificación del trazado. Para ello es necesario no sólo la visualización tridimensional, sino, lo que es más importante, la modificación interactiva del trazado de la carretera en tres dimensiones. Esto implica la necesidad de incluir en el sistema de Realidad Virtual no sólo los elementos necesarios para la visualización realista (texturas, iluminación, etc.) sino también todos los elementos necesarios para el diseño de carreteras.

Para cumplir con estos requisitos de visualización eficiente en tiempo real y de modificación interactiva del diseño ha sido necesario incluir dentro de VALLE dos tipos de representaciones de los elementos:

- Una representación de las carreteras y el terreno basada en capas con diferente tipo de información: conexiones espaciales entre los elementos de la carretera, curvas de nivel para el terreno, etc, que permiten su edición.
- Una representación del modelo geométrico de todos los elementos de la escena basado en el grafo de visualización utilizado en los sistemas de realidad virtual.

Para poder aportar interactividad tiempo real en las escenas 3D generadas es necesario realizar una gestión eficiente de los datos no sólo de la carretera, sino también del terreno. Respecto a los datos de las carreteras, además de las estructuras de datos necesarias para el cálculo de los parámetros de los diferentes tramos que la componen la planta (rectas, arcos y clotoides), se han incluido estructuras orientadas específicamente al diseño interactivo, como son las alineaciones, o grupos de tramos de carreteras

en un orden específico, modificables mediante sus *puntos de control*. Así, desde el interfaz se selecciona y modifica la posición de un punto de control de planta y a partir de esto se calculan los nuevos parámetros de los tramos que la componen. De forma análoga se puede modificar el perfil vertical de la carretera utilizando sus puntos de control, distintos de los de la planta. Una vez calculados los parámetros que describen la carretera a partir de la posición de los puntos de control, se genera la geometría que permite su representación 3D.

A pesar de que la modificación interactiva 3D de las carreteras supone de la necesidad de técnicas específicas para su gestión, son todavía más complejas las técnicas necesarias para calcular de forma eficiente el corte de la carretera con el terreno. El terreno es un elemento clave dentro del diseño de carreteras ya que es un elemento a tener en cuenta a la hora de definir el trazado más adecuado. Si bien se puede describir el terreno a partir de curvas de nivel y líneas de rotura (o como mallas de triángulos irregulares), a nivel lógico el sistema utiliza una representación basada en un triangulador dinámico de Delauney que permite triangulaciones con contornos. Este modelo permite realizar intersecciones entre el terreno y el trazado de la carretera, calculando desmontes y terraplenes ante las modificaciones de la carretera en el entorno de realidad virtual.

Se pueden ver más detalles sobre la gestión y edición interactiva de carreteras y la gestión del terreno en otros artículos de los autores [5,7,8].

#### **4.1. Interfaz de VALLE**

El interfaz de la herramienta VALLE se compone de dos partes diferenciadas: las ventanas de datos y las ventanas de visualización 2D y 3D.

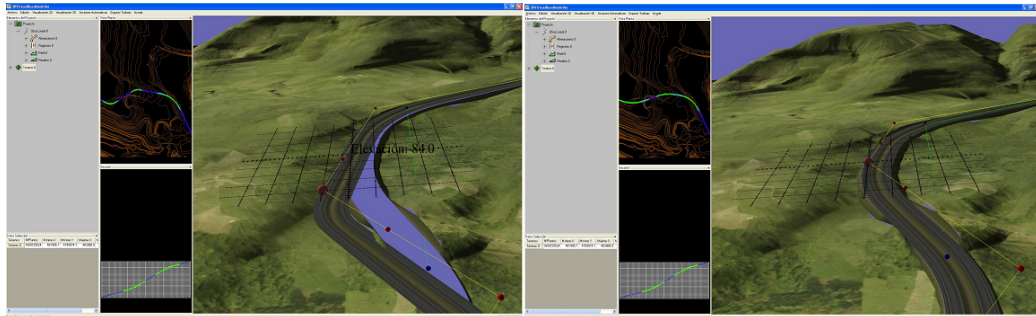


Figura 6. Interfaz de la herramienta VALLE. Mecanismos de interacción mediante manipulación directa.

En las ventanas de datos se muestra por un lado la *Vista del árbol del proyecto* que contiene información sobre los datos que componen el proyecto, como son el terreno, los corredores, las secciones, etc. Asociado al árbol se encuentra la *rejilla de datos*, ventana que muestra los valores de los parámetros numéricos asociados a los distintos elementos activos en el árbol o en las ventanas de visualización. En algunos casos pueden ser editados dichos valores (parámetros de la clotoide, radio del arco, etc.).

El árbol de elementos del proyecto permite la expansión de los elementos así como la selección los mismos para poder centrar las vistas en ellos.

Respecto a las ventanas de visualización aparecen distintas vistas del proyecto. La *vista de planta* que muestra el trazado 2D en planta de la obra lineal, la *vista de perfil*, con un modelo de guitarra para los corredores seleccionados que permite editar los segmentos de perfil de la carretera, y la *vista 3D* donde se muestra el modelo 3D de RV del sistema.

Tanto sobre las ventanas en vista de planta y perfil como sobre la ventana 3D es posible modificar el trazado de la carretera a través de sus puntos de control tal y como hemos comentado anteriormente. Estas modificaciones dan lugar a la actualización inmediata del trazado de la carretera. La Figura 6 muestra un ejemplo de esta característica incluida en valle donde el trazado de una carretera es desplazado directamente por el usuario a su emplazamiento final.

También es posible maximizar la vista 3D para conseguir una exploración más detallada del modelo de la carretera y el terreno generados.

#### 4.2. Entorno inmersivo.

El sistema VALLE puede ser utilizado sobre un ordenador convencional tipo PC para crear o modificar un trazado de carreteras, así como dentro de la mesa de trabajo SOROLLA aprovechando las características de ésta.

Así, resulta especialmente interesante para los usuarios las capacidades de visualización inmersiva que ofrece SOROLLA cuando se ejecuta sobre la misma la aplicación VALLE. El modo de visualización en pantalla única de la vista 3D que acabamos de describir en la sección anterior puede ser visualizado con tipo de vista estereoscópica. Esta vista proyectada en la mesa de trabajo, y utilizando las gafas de estereo pasivo del sistema, permite una visualización de los detalles de profundidad de los proyectos viarios y una mejor apreciación de los volúmenes y distancias considerados en el proyecto.

En este tipo de proyecto suele ser importante tener una evaluación precisa del impacto urbanístico y ambiental de las nuevas carreteras, así como tener una visión lo más realista posible del aspecto final de la obra civil. La estereoscopia nos ofrece una percepción de las distancias y volúmenes más cercano a la realidad.

Dentro de la vista 3D se ha incluido un interfaz de navegación que permite rotación, translación y zoom de los elementos de la escena. También se han creado un modo de navegación específico que simula la conducción sobre la carretera que se está diseñando. Esto permite al usuario tomar el punto de vista del usuario de la carretera y ver los detalles del trazado de la carretera y su entorno.

El sistema de seguimiento de la posición de la cabeza, situado sobre las gafas, permite generar de

forma precisa el par estereoscópico en función de la posición del observador, lo que mejora su sensación de inmersión en el sistema.

La manipulación de la escena 3D se puede realizar con un ratón convencional, o utilizando los guantes Thimbel-glove que incluyen también un sistema de posicionamiento y detección de las acciones. Las Figuras 7 y 8 muestran respectivamente ejemplos de la utilización de VALLE sobre de SOROLLA con las configuraciones de pantalla en modo trabajo y presentación.



Figura 7. Utilización del sistema VALLE dentro de la mesa con el modo de trabajo.



Figura 8. Utilización del sistema VALLE en modo presentación.

## 5. Conclusiones

En el artículo hemos presentado SOROLLA un sistema visualización inmersiva en el cual se combinan distintos mecanismos de interacción que permiten una transición entre los paradigmas establecidos que siguen el modelo de escritorio, (para tareas de diseño asistido por computador) y paradigmas más avanzados como pueden ser el de la Realidad Virtual donde se disponen de mecanismos de interacción más natural.

En las pruebas realizadas se ha comprobado que la naturalidad no es, al menos para usuarios que ya esta habituada al modelo de escritorio, el mecanismo mas eficiente.

Por tanto sistemas como el propuesto que combinan distintos modelos pueden ser una alternativa para la transición entre distintos modelos de interacción. La interacción basada en captura de gestos y movimientos está cobrando protagonismo a medida que los dispositivos que la permiten son cada vez mas baratos y comunes incluso en sistemas convencionales (consolas tipo Wii de Nintendo etc.). Es necesario, en este sentido, evaluar como se introducen dichos dispositivos en las aplicaciones informáticas existentes de manera que al tiempo que se garantiza un mejor forma de interacción, se ofrece un sistema de evolución a los usuarios educados en los modelos de interacción actuales.

Además de incidir en el punto anterior, el sistema presentado demuestra que la integración de elementos COTS (commercial off-the Shelf) puede ser una alternativa a los sistemas de inmersivos de alto coste a la hora de ofrecer espacios de trabajo interactivos que dispongan de un significativo grado de presencia para las aplicaciones de Ingeniería y diseño.

## Referencias

- [1] Andujar, C., Fairen, M., Brunet, P.: Affordable Immersive Projection System for 3D Interaction. 1st Ibero-American Symposium on Computer Graphics, Proceedings of Ibero-American Symposium on Computer Graphics (SIACG'02), Guimeraes, Portugal, (2002) 1-9
- [2] Barco BARON, <http://www.barco.com/corporate/products/product.asp?GenNr=324>



- [3] Barco CONSUL,  
<http://www.barco.com/VirtualReality/products/product.asp?element=313>
- [4] Barco TAN,  
<http://www.barco.com/VirtualReality/products/product.asp?GenNr=968>
- [5] Bosch, C., Ballester, F., Otero, C., Fernández, M., Coma, I., Togores, R., Pérez, M.A.: VALLE®: A highway design system in a virtual reality environment Proceedings of the 11th International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering (ICCBE-06), Montreal, Canada (2006)
- [6] Chua, G.G., Serra, L., Kockro, R.A., Ng, H., Nowinski, W.L., Chan, C., Pillay, P.K.: Volume-based tumor neurosurgery planning in the Virtual Workbench. Proceedings of IEEE VRAIS'98, IEEE CS Press, Atlanta, USA, (1998) 167-173
- [7] Fernández, M., Bosch, C., Ballester, F., Otero, C., Coma, I., Togores, R., Pérez, M.A., Manchado, C. Integración de las técnicas de Realidad Virtual en el proceso de diseño y revisión de proyectos de infraestructuras viarias: VALLE. 3er Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual. Bilbao, 2006.
- [8] Gimeno, J., Casas, S., Pérez, M., Fernández, M., Coma, I. ENSISAM, um entorno de simulación de situaciones de salvamento marítimo. Interacción 2006. Puertollano, 2006.
- [9] Gimeno, J., Fernández, M., Morillo, P., Coma, I. Pérez, M. A reconfigurable immersive workbench and wall-system for designing and training in 3D environments. in Computer Graphics International, 12th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2007), Springer LNCS, Beijing, China. July 2007. Springer Verlag.
- [10] Kuester, F., Duchaineau, M.A., Hamann, B., Joy, K.L., Ma, K.L.: The Designers Workbench: towards real-time immersive modeling. In Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VII, volume 3957, Washington, USA. The International Society for Optical Engineering, (2000) 464-472
- [11] Kruger, W., Bohn, C.A., Frohlich, B., Schuth, H., Strauss, W., Wesche, G.: The Responsive Workbench, IEEE Computer Graphics and Applications, volume 14, issue 3, (1994) 12-15
- [12] Poston, T., Serra, L.: The Virtual Workbench: Dextrous VR. Proceedings of Virtual Reality Software and Technology (VRST 94). IEEE CS Press, Los Alamitos, USA, (1994) 111-121
- [13] Taylor, R.M., Hudson, T.C., Seeger, A., Weber, H., Juliano J., and Helsler, A.T.: VRPN: a device-independent, network-transparent VR peripheral system. Proceedings of the ACM symposium on Virtual Reality Software and Technology 2001(VRST-2001), Banff, Canada (2001) 55-61