

# Técnicas de captura de movimiento, infrarroja y basada en vídeo, aplicadas al prototipado virtual de una ortesis.

Jesús Gimeno<sup>1</sup>, Aron Pujana-Arrese<sup>2</sup>, Inmaculada Coma<sup>1</sup>, Marcos Fernandez<sup>1</sup>, Joseba Landaluze<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ARTEC, I.de Robótica de la U. de Valencia, P. de la Coma s.n., 46980 Paterna, Valencia. <sup>1</sup>

<sup>2</sup> Centro de investigación IKERLAN

{jesus.gimeno, inmaculada.coma, marcos.fernandez}@uv.es  
{apujana, jlandaluze}@ikerlan.es

**Abstract.** En este artículo se describe la inclusión de técnicas de captura de movimiento ópticas para el diseño y evaluación de un prototipo de ortesis. Las técnicas aplicadas son de dos tipos: basadas en infrarrojos para la captura de movimientos del usuario en el estudio de patrones de movimiento para el diseño de la ortesis; y basadas en vídeo para la evaluación de los algoritmos de control sobre el prototipo virtual diseñado. El prototipo de la ortesis es totalmente virtual, utilizando programas comerciales de simulación física y dinámica, en combinación con dos aplicaciones de prueba implementadas utilizando Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA).

**Keywords:** Captura de movimiento, infrarrojo, basado en vídeo, prototipado virtual, realidad aumentada, ortesis.

## 1 Introducción

Podemos definir una ortesis como un exoesqueleto, es decir, un sistema robótico que acoplado externamente al cuerpo humano permite al usuario aumentar sus capacidades físicas. Se trata pues de un dispositivo amplificador de las capacidades de los seres humanos, ya que su objetivo es ayudar al usuario a realizar una actividad diaria que requiere un cierto esfuerzo. Ikerlan ha diseñado y construido una ortesis consistente en un dispositivo de extremidad superior de 5 grados de libertad (GdL) [1]. Este exoesqueleto está orientado a ayudar al usuario a realizar una actividad rutinaria que exige un esfuerzo en el puesto de trabajo.

La construcción de prototipos para su prueba con usuarios reales es un proceso muy caro y en algunas ocasiones demasiado peligroso para quien realiza la prueba. Sería impensable realizar las primeras pruebas de los algoritmos de control de un prototipo de una ortesis, colocándola sobre un usuario al que podría incluso romperle el brazo. Es frecuente por tanto utilizar sistemas de Realidad Virtual (R.V.) durante el

---

Los trabajos presentados en este artículo están parcialmente financiados por el Ministerio de Educación y Ciencia Español, y la fundación europea FEDER (ref. DPI2006-14928-C02-02).

proceso de diseño y pruebas del prototipo, si bien seguirá siendo necesaria la realización de pruebas finales con un prototipo real.

Para realizar estos prototipos virtuales a menudo se recurre a herramientas como JACK [2], un entorno de simulación en el que colocamos a humanos virtuales a realizar tareas sobre prototipos virtuales. S. A. Gill y R. A. Ruddle [3] proponen introducir este tipo de estudios en la fase de diseño con el fin de ahorrar el coste de los prototipos reales. En el estudio de U. Jayaram y su equipo [4], se comparan distintas herramientas, entre ellas JACK, y se aplican entornos de visualización inmersivos a la evaluación del prototipo.

Durante el diseño de una ortesis es necesario realizar un estudio de los patrones de movimiento del usuario para que el dispositivo se adapte adecuadamente. En el presente trabajo, con el fin de medir los movimientos del usuario, se aplicarán técnicas de captura de movimiento. Estas técnicas comúnmente se aplican a la animación de actores virtuales, pero no es su único uso. Por ejemplo, la industria automovilística las usa en la evaluación de la ergonomía de prototipos reales de coches [5]. También se ha probado la validez para realizar evaluaciones ergonómicas de los sistemas de captura infrarrojos, comparando los resultados obtenidos por un sistema automático de análisis de posturas en diversas tareas frente a los resultados obtenidos por ergonomistas expertos [6], y obteniendo conclusiones similares.

Una vez diseñada la ortesis y desarrollado un prototipo virtual con ayuda de los patrones de movimiento será necesario probar los algoritmos de control. En esta etapa del diseño resulta de gran utilidad aplicar técnicas de Realidad Aumentada (RA) [7], donde un usuario real realiza movimientos que sirven como consignas para el movimiento del prototipo virtual. La diferencia entre Realidad Virtual y Aumentada [8] se encuentra en el tratamiento que hacen del mundo real. La RV sumerge al usuario dentro de un mundo que sustituye completamente al mundo real, sin embargo con RA el usuario interactúa con una mezcla entre el mundo real e información virtual.

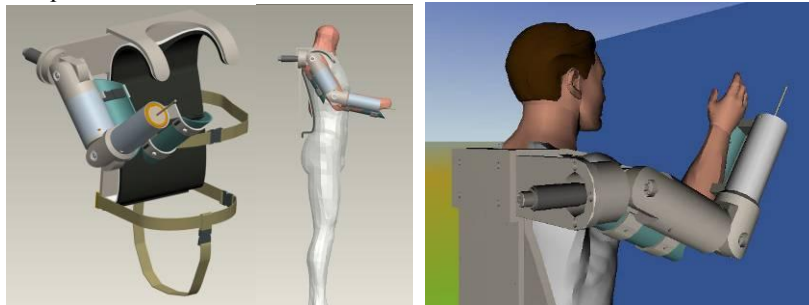
En el presente trabajo se aplican técnicas de captura de movimiento infrarroja para la detección de patrones de movimiento durante la fase de diseño, y técnicas de captura basada en vídeo con reconocimiento de marcas [9] para la evaluación mediante Realidad Aumentada de los algoritmos de control de una ortesis.

El artículo está distribuido de la siguiente forma: en el primer punto describiremos brevemente el diseño de la ortesis, a continuación explicaremos las técnicas de captura de movimientos ópticas y de infrarrojos aplicadas, en el cuarto punto especificaremos los requisitos que tiene nuestro sistema desde el punto de vista de la interacción, a continuación detallaremos el diseño de la aplicación y acabaremos con las conclusiones del estudio.

## **2 Diseño de la ortesis.**

La función principal del exoesqueleto objeto del diseño, en la medida que ha sido concebido como un dispositivo de ayuda, radica en amplificar el momento con respecto a la unión del codo que ejercen los músculos humanos. Así, tendremos un dispositivo capaz de ayudar a manipular cargas pesadas con la mano.

La ortesis consta de tres partes: dos de ellas se mueven de forma solidaria al brazo y antebrazo, y una tercera permanece fija al cuerpo. Para conseguir los dos grados de libertad de las partes móviles se han utilizado dos juntas de revolución: una para el hombro y otra para el codo. Como resultado se limita el movimiento del brazo a un plano vertical. El tercer componente principal es una especie de mochila que irá sujeta a la espalda del usuario, tal y como se muestra en la figura 1, y soportará todos los esfuerzos que realice la ortesis.



**Fig. 1.** Imagen del prototipo virtual de la ortesis

Si bien la ortesis debe disponer de 5 GdL [1], resulta complicado evaluar los algoritmos de posición y fuerza de un sistema así, por lo que se ha optado por simplificar inicialmente el sistema reduciéndolo a 2 GdL.

Para garantizar su funcionalidad el dispositivo consta de dos motores DC que motorizan las dos juntas de las que cuenta, modelo RE 36Ø36. Estos motores son capaces de suministrar una potencia de hasta 70 vatios al funcionar de forma axial, con los rodamientos colocados axialmente. Cada accionamiento se completa con un reductor y una tacodinamo de la misma casa Maxon, reductor GP 32C Ø32 de 1-6 Nm. y reducción 190:1, y tacodinamo DC Tacho de Ø22 mm. y 0.52 Volt.

Los accionamientos previamente descritos se colocan cerca de los ejes de giro, ocultos en el interior de las piezas cilíndricas tal y como se puede apreciar en la figura 1. La masa de la parte de ortesis del antebrazo resulta 1.94 kg, y su momento de inercia con respecto al eje de giro es de 261 kg/cm<sup>2</sup>. La parte del brazo tiene una masa de 3.5 kg. y un momento de inercia frente al eje de giro de 820 kg/cm<sup>2</sup>.

Puesto que este primer diseño de ortesis se realizó para investigar la interacción de estos dispositivos con el entorno, a la ortesis diseñada se le colocó un sensor de fuerza en el extremo del cilindro del antebrazo, a la altura de la mano del usuario.

El diseño descrito no se ha llegado a construir físicamente, sino que se ha construido un prototipo virtual compuesto por el modelo dinámico del conjunto exoesqueleto y extremidad superior humana, así como por el controlador que gestiona el posicionamiento de la mano en el plano de trabajo y la fuerza ejercida por la ortesis contra el entorno en caso de colisión. Para ello se ha considerado la posible existencia de una pared vertical a una distancia determinada del usuario. El modelo del sistema completo se ha realizado en *Simulink*, con la parte dinámica importada de *Dymola/Modelica*. El código se ha obtenido por medio de *RTW* de *The MathWorks* y embarcado en una plataforma *PC/104* compatible *xPCTarget*. La simulación se realiza en Tiempo-Real, con un paso de integración de 1 ms., y comunicándose con el sistema de captura de movimiento y visualización.

### 3 Captura de movimiento de tipo óptico.

Aunque existen un gran número de tecnologías para realizar la captura de movimiento: electromagnético, acústicos, inerciales, etc. Los ópticos son los más utilizados en la actualidad por tres razones principales: precisión, rapidez y libertad de movimientos para el usuario. Sin embargo también existen importantes inconvenientes. Para la detección de los movimientos es frecuente utilizar marcadores situados sobre el objeto móvil que se quiere detectar. Como la detección es óptica un problema puede ser la oclusión de estos marcadores. Además, el campo de trabajo del sistema estará limitado al campo de visión de las cámaras. Si el usuario oculta involuntariamente con sus movimientos los marcadores, el sistema de captura no podrá verlos y por tanto calcular su posición. Este problema se soluciona parcialmente calculando la posible posición y orientación del marcador oculto, para ello se utilizan sus datos anteriores y se supone que seguirá una trayectoria similar. Una técnica muy utilizada en este sentido es la aplicación de filtros de Kalman, aunque sólo resultan útiles en situaciones de ocultaciones muy breves, inferiores a un segundo.

Veamos a continuación las características de los dos sistemas de captura comentados: los basados en infrarrojos y los basados en vídeo.

#### 3.1 Captura óptica infrarroja.

Este tipo de captura óptica se basa en utilizar luz infrarroja, imperceptible para el usuario, para iluminar unos marcadores de material retro-reflectante. Al trabajar con este tipo de luz, las cámaras infrarrojas sólo observan los marcadores. Esto supone una ventaja frente a los sistemas basados en vídeo, puesto que aquí no es necesario aplicar técnicas de visión por computador para diferenciar los marcadores del resto de la imagen, alcanzando velocidades superiores a 90 capturas por segundo. Sin embargo, esta tecnología presenta también algún inconveniente. Al capturar los marcadores como zonas iluminadas de la imagen, no tenemos información del color y en la mayoría de sistemas tampoco de la forma, por tanto no es posible distinguir unos marcadores de otros.

El modo de trabajo más común de los sistemas infrarrojos sigue el siguiente esquema. Para cada imagen capturada, se realiza el procesamiento de la imagen, individualmente, en cada una de las cámaras infrarrojas (binarización y búsqueda del centro de las zonas iluminadas). A continuación, las posiciones dadas en coordenadas 2D de la imagen, se envían al computador. Con esta información de todas las cámaras, y basándose en una calibración previa, de la que se obtiene posición y orientación de cada cámara, el computador calcula la posición 3D de cada uno de los marcadores. Es en este momento cuando se intenta reconocer cada uno de los marcadores utilizando los denominados “*bodies*”. Un *body* es una estructura rígida de marcadores con una geometría conocida. Utilizando la información de las posiciones 3D de los marcadores por separado, se pueden buscar estas estructuras conocidas. Esta técnica es muy robusta, soporta ocultaciones de marcadores individuales y es capaz de calcular los 6 GdL (posición y orientación) de cada *body* con gran precisión.

La mayor precisión de este tipo de captura frente a los sistemas basados en vídeo, lo hace adecuado para el reconocimiento de patrones de movimiento. Así, en el diseño

del prototipo de nuestra ortesis se ha utilizado un sistema basado en infrarrojos para capturar con precisión los movimientos del brazo. Esto nos facilitará la tarea de diseño, al obtener un patrón de movimientos preciso.

### **3.2 Captura óptica basada en vídeo.**

La captura de movimiento basada en vídeo aplica técnicas de visión por computador con el fin de reconocer y obtener tanto la posición como la orientación de los objetos o personas reflejados en las imágenes. Este problema, que a priori puede parecer sencillo, es muy costoso computacionalmente y en ciertas ocasiones todavía irresoluble. Para facilitar su resolución en muchos casos se recurre a la utilización de marcas, las cuales suelen ser planos con una geometría determinada (cuadrados, circulares, etc.) y una imagen impresa sobre ellos. Con estos marcadores tanto la forma como la imagen se conocen a priori, con lo que se consigue acotar el problema de visión a reconocer estas marcas, y no cualquier objeto de la imagen. De esta forma se simplifica un proceso de reconocimiento y cálculo de la posición y orientación.

La principal ventaja de este tipo de sistemas de captura, además de la libertad de movimientos del usuario, común a todos los sistemas de captura ópticos, es que no necesita hardware especial. Es suficiente una cámara Web para observar las pequeñas cartulinas con los marcadores impresos.

El principal inconveniente de este sistema, unido al ya comentado de las oclusiones, es la complejidad del proceso de reconocimiento de imagen, con baja frecuencia de captura (alrededor de 25 cuadros por segundo) y menor precisión que los de tipo infrarrojo.

Nuestra aplicación hace uso de este tipo de sistema de captura en la fase de pruebas del prototipo mediante técnicas de Realidad Aumentada. En esta fase más que la precisión de los movimientos nos interesa la coherencia entre la información del mundo real y la información generada virtualmente. Así, cuando el usuario real realiza movimientos con su brazo, estos deben ser capturados y las imágenes que se obtienen deben ser integradas adecuadamente con la información virtual (fig.4).

## **4 Requisitos de interacción.**

Como hemos comentado nuestra aplicación tiene dos objetivos: realizar un estudio ergonómico de los movimientos del brazo para obtener sus patrones de movimiento y facilitar el diseño de la ortesis, y evaluar los algoritmos de control de la misma. Para ello necesitaremos ser capaces de detectar movimientos en el usuario y trasladarlos al mundo virtual. Por tanto, la interacción con el sistema se debe realizar con dispositivos de captura como los mencionados en el apartado anterior, donde el usuario debe poder realizar sus movimientos con naturalidad.

Respecto al estudio ergonómico se trata de analizar si es posible obtener patrones de movimiento del brazo humano para la realización de una tarea concreta. Esta información es útil para incluirla dentro de las reglas de control de la ortesis, detectar situaciones durante la realización de un movimiento en las que nos encontramos cerca

de puntos singulares, y a la hora de poder dimensionar los sistemas de actuación. Sin embargo, la coordinación de movimientos se realiza de forma inconsciente, por ello uno de los requisitos será la libertad de movimientos para el usuario.

Por tanto, uno de los requisitos del sistema de captura óptico infrarrojo es que deberá ser lo menos intrusivo posible, ofreciendo completa libertad de movimientos al usuario. Pero al mismo tiempo necesitamos gran precisión en la medición de los mismos con una alta frecuencia de datos para el diseño de la ortesis. Este es un proceso que se desarrolla una única vez durante el desarrollo del prototipo, por tanto no es crucial el obtener una solución de bajo coste.

Aunque en este estudio sólo se evaluará el prototipo de ortesis de dos grados de libertad, el estudio ergonómico se desarrollará sobre los movimientos del brazo que deberá cubrir también la ortesis de 5 GdL.

Respecto a la evaluación de los algoritmos de control de nuevo el principal requisito es la libertad de movimientos para el usuario, pero en este caso la precisión no es tan necesaria como en el anterior. Esto se debe a que nuestro objetivo es comprobar que los algoritmos funcionan correctamente para movimientos del brazo, no capturar con gran precisión dichos movimientos. En este caso además un requisito fundamental es obtener un sistema de bajo coste que pueda instalarse en varios computadores, para que varios ingenieros puedan probar simultáneamente sus estudios sin necesidad de hardware especial.

La ortesis de dos grados de libertad sólo permite movimientos del brazo del usuario en el plano lateral de este, por tanto, el sistema de captura deberá ser capaz de capturar en tiempo real los movimientos del brazo de un usuario en este plano. Para especificar los movimientos del brazo se necesitan, para la ortesis de 2 GdL, el valor del ángulo de elevación del hombro y el ángulo del codo. En este caso se ha supuesto que el usuario siempre se encuentra erguido con la espalda vertical, por tanto no será necesario capturar su inclinación.

## **5 Diseño e implementación del sistema.**

Hemos visto que nuestra aplicación combina dos sistemas de captura de movimiento óptico diferentes, con dos propósitos: estudio ergonómico y evaluación del prototipo virtual. Con este fin se han desarrollado dos aplicaciones piloto. La primera utiliza el sistema de captura infrarrojo *ARTrack*, para capturar los movimientos del usuario, permitiendo su visualización en tiempo real durante la captura. Los datos capturados por esta aplicación serán la base del estudio de los patrones de movimiento. En la segunda se utilizará la librería *ARToolKit*, la cual implementa captura basada en vídeo utilizando marcas. En esta aplicación se aumenta la visión del usuario del mundo real, tomando como base los movimientos de este, para incluir el modelo tridimensional del prototipo virtual y comprobar su correcto funcionamiento. Este paradigma de interacción se conoce como Realidad Aumentada.

## 5.1 Vista general del sistema.

Del sistema completo se pueden diferenciar varios módulos, siendo los más importantes: subsistema de captura infrarrojo, subsistema de captura basada en vídeo, subsistema de control de la ortesis y el software de visualización de RA. En los siguientes apartados describimos con más detalle cada uno de estos sistemas.

El sistema completo tiene la estructura indicada en la figura 2. Al utilizar dos sistemas de captura diferentes, y con el fin de mantener una coherencia en el formato de los datos, se ha diseñado una capa intermedia que se comunica con cada uno de los sistemas de captura y con las aplicaciones de prueba.

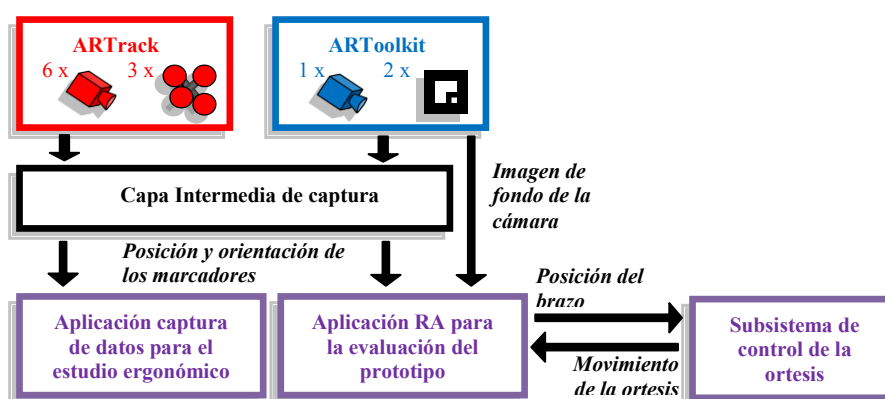


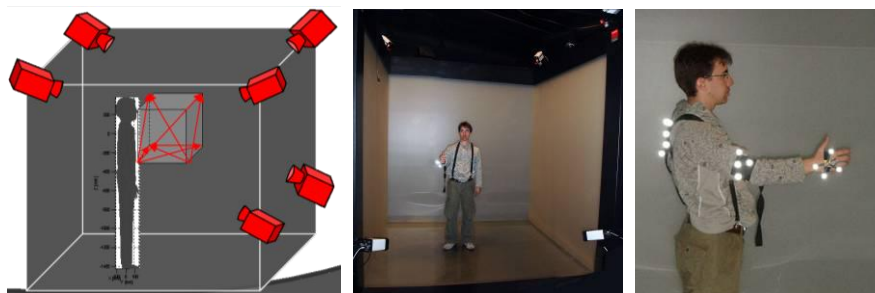
Fig. 2. Esquema modular de los componentes del sistema.

## 5.2 Subsistema de captura infrarrojo.

Para realizar la captura infrarroja se utiliza el sistema *ARTrack* con el software de la misma compañía *DTrack*. Se trata de un sistema profesional de captura de movimiento, compuesto por 6 cámaras infrarrojas *ARTrack1*, un PC (procesador Pentium 2GHz) y capacidad de capturar simultáneamente hasta 20 *bodies*. Cada cámara tiene un ángulo de visión de 35°, e incorpora una unidad de procesamiento que binariza cada imagen capturada y obtiene las coordenadas 2D de cada uno de los marcadores. Cada cámara tiene dos conexiones: BNC para la señal de sincronismo y RJ45 para enviar la información al PC. Las 6 cámaras están conectadas en anillo y comparten una señal de sincronismo, generada por el PC. Para enviar los datos se utiliza una red Ethernet de 10 Mbps, con todas las cámaras y el PC conectados a un switch. La frecuencia final de captura de este sistema (según las especificaciones del fabricante) es de 60 Hz. Con un error de captura inferior a 1 mm para cada marcador. Al ser un sistema compuesto por varias cámaras necesita una calibración previa para calcular la posición y orientación de cada una de las cámaras con respecto a un mismo eje de coordenadas, dado por el usuario.

Para capturar los movimientos del usuario se le ha colocado en el centro de una estructura tipo CAVE de 2 m. de lado como indica la figura 3. Para minimizar las

occlusiones durante el proceso de captura se han situado 4 cámaras en la parte superior y dos que cubren el movimiento del brazo desde abajo. Durante la captura se colocan 3 *bodies* sobre el usuario que permiten medir posición y orientación del torso, brazo y antebrazo. El *body* del torso, aunque el movimiento de esta parte del cuerpo no está siendo estudiado, es necesario como eje de referencia para los movimientos del brazo completo.



**Fig. 3.** a) Vista general del sistema de captura infrarrojo (izq. cent.); b) marcadores retro-reflectantes colocados sobre el usuario (der.).

### 5.3 Subsistema de captura de movimiento basado en vídeo.

En la implementación de la captura de movimiento basada en vídeo, se ha utilizado la librería *ARToolKit*, ya que cumple con los requisitos adecuados para este estudio. El funcionamiento de *ARToolKit* se basa en detectar y capturar tanto la posición, como la orientación, de marcadores cuadrados planos. Estos marcadores siempre están formados por el contorno de un cuadrado negro, sobre fondo blanco, con una imagen identificativa en su interior, también en color negro.

Para capturar la información del brazo del usuario se colocan dos marcadores sobre él. Como se muestra en la figura 3.b, el primero se coloca en el hombro y el segundo en el codo, siempre de forma que estén de frente a la cámara, para evitar el problema de la ocultación. En este caso, supondremos que el usuario está colocado erguido y le cámara le observa desde el lado derecho. El ángulo de elevación del hombro vendrá dado por el vector que va desde el marcador 1 hasta el marcador 2. El ángulo del codo vendrá dado por la orientación del marcador del codo, con respecto al vector anterior.

Para realizar la captura se puede utilizar cualquier cámara convencional, en este caso se ha utilizado una cámara *Logitech QuickCam Pro for Notebooks*, con una resolución de 640x480 píxeles y una velocidad de captura de 30 imágenes por segundo. Esta cámara además integra un zoom automático por hardware que permite obtener mejores imágenes, y por tanto un mejor proceso de captura.

### 5.4 Software de visualización de Realidad Aumentada.

Para la visualización se ha desarrollado un programa basado en MFC sobre Windows, en el que se han incluido 5 vistas utilizando la biblioteca gráfica OSG, y diálogos de

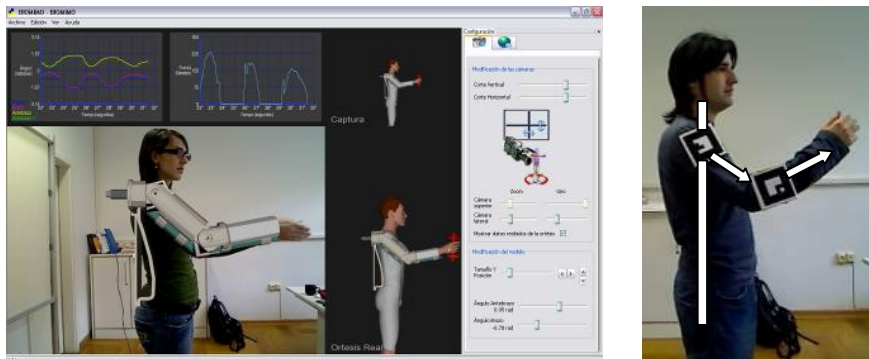


configuración de las vistas, donde se visualizan los modelos de humano virtual, los puertos de comunicación con el subsistema de control, etc. (ver figura 4).

Una vista muestra el entorno de Realidad Aumentada, superponiendo el prototipo virtual sobre las imágenes del usuario real. Los movimientos de la ortesis calculados por el subsistema de control se muestran sobre el prototipo virtual a medida que el usuario realiza movimientos.

En las dos vistas de la derecha se muestra a un humano virtual con la ortesis, en una de ellas moviéndose según los cálculos del sistema de captura, y en la segunda con los valores calculados por el subsistema de control y simulación dinámica, según el entorno de interacción y del algoritmo de control de posición/fuerza elegido. Estas dos vistas permiten comparar de forma visual el funcionamiento del algoritmo de control ya que con este sistema el usuario no puede obtener un feedback de la fuerza ejercida con el entorno. Finalmente, en la cuarta y quinta vistas se muestran gráficas de las posiciones y de la fuerza con el entorno durante los últimos 10 segundos.

Aunque la biblioteca OSG no tiene soporte para aplicaciones de RA, existen algunas aproximaciones como la librería *OSGART*, que tratan de combinar las capacidades de RA de *ARToolKit*, con la potencia de visualización de OSG. En nuestro caso para solucionar el problema se ha creado un nuevo nodo de OSG, *JesAROSGTexture*, que incluido en el grafo de escena será el encargado de mostrar las imágenes capturadas por *ARToolKit* en una textura. Finalmente, para hacer coincidir la información virtual de la ortesis con la imagen real del usuario, se configura la cámara de OSG para que coincida con los valores de cámara capturados por *ARToolKit*.



**Fig. 4.** Aplicación de prueba para evaluar el prototipo virtual (izd.); imagen del usuario con los marcadores (der.)

### 5.5 Subsistema de control de la ortesis.

El subsistema de control es el encargado de generar la información del prototipo virtual a partir de la información capturada, realizando las simulaciones dinámicas y los cálculos necesarios. Uno de los principales objetivos del estudio es ofrecer la posibilidad de probar distintos algoritmos de control posición/fuerza. Con esta

finalidad se han realizado los modelos de simulación utilizando la herramienta Simulink, incluyendo el modelo de la ortesis, del brazo del usuario y del entorno de contacto (pared), además de los algoritmos de control anteriormente explicados. El código se ha obtenido por medio de RTW de *The Math Works*.

## 6 Conclusiones.

En este artículo se ha presentado la aplicación de dos técnicas de captura movimiento, ambas de tipo óptico, para la interacción con un sistema de Realidad Virtual y Aumentada. La captura de datos del movimiento del brazo, para su posterior análisis, se realizó con éxito utilizando como modelo personas de diferente altura y longitudes de brazo, siendo esta información suficiente para su análisis posterior. Se ha conseguido probar que es posible capturar de forma adecuada los datos mediante las dos técnicas de captura de movimiento, y que los datos así obtenidos son suficientes.

Los diseñadores de la ortesis encontraron muy satisfactorio el hecho de tener un interfaz que reacciona a sus propios movimientos, y muestra el movimiento real de la ortesis, ya que este interfaz se comunica con los mismos programas que ellos están acostumbrados a manejar en la implementación y prueba de controladores (Simulink).

Por tanto se ha conseguido aplicar este nuevo canal de interacción, la captura de movimiento, al diseño y prototipado virtual de una ortesis. Como trabajo futuro, el principal punto sería mejorar el sistema de captura óptico basado en marcas para capturar los movimientos correspondientes a la ortesis de 5 GdL, e intentando realizar la captura sin necesidad de utilizar marcadores.

## Referencias.

1. Martínez,F., Retolaza, I., Lecue, E.,Basurko, J., and Landaluze,J.: Preliminary design of an upper limb IAD (Intelligent Assist Device). In: Challenges for Assistive Technology – AAATE07, IOS Press, (2007)
2. JACK: the software system for Human Modeling and Simulation. HMS, University of Pennsylvania. <http://cg.cis.upenn.edu/hms/technology.html> (2008)
3. Gill, S. A. and Ruddle, R. A.:Using virtual humans to solve real ergonomic design problems. Simulation '98. York (UK)(1998)
4. Jayaram,U., Jayaram, S., Shaikh, I., Kim, Y. J. , Palmer, C.: Introducing quantitative analysis methods into virtual environments for real-time and continuous ergonomic evaluations. Computers in industry, Vol. 3, Issue 3, pp. 283-296. (2006).
5. Monacelli G., Sessa, F. & Milite A.: An Integrated Approach to Evaluate Engineering Simulations and Ergonomics Aspects of a New Vehicle in a Virtual Environment: Physical and Virtual Correlation Methods. FISITA 2004. Barcelona (Spain), pp. 23-27,(2004)
6. Robert A. Taft Laboratories: Accuracy and validity of observational estimates of shoulder and elbow posture. Applied Ergonomics. Vol. 35, Issue 2, pp. 159-171, (2004).
7. Azuma, Ronald T, “A Survey of Augmented Reality”, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, pages 355 – 385, August, 1997.
8. Lorés,J. et al, “Metáforas, estilos y paradigmas”, Curso Introducción a la Interacción Persona-Ordenador, Cap. 2, Available at: <http://griho.udl.es/ipo/ipo/libroe.html>.
9. ARToolKit, Software library for building Augmented Reality