

SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA SIMULACIÓN DE UN ULTRASONIDO DOPPLER EN EL TRATAMIENTO DE LA INSUFICIENCIA CARDIOVASCULAR PERIFÉRICA

*Israel Rivera Zárate, Jesús Pimentel Cruz Cidetec - IPN
Carlos Aquino Ruiz ESIME Culhuacán - IPN*

1. Introducción

El índice tobillo/brazo es un método de diagnóstico no invasivo, indicado para conocer el estado de la circulación arterial en las extremidades inferiores, que se puede cuantificar calculando la relación de presiones arteriales en las extremidades.

El Doppler es un sistema de ultrasonidos que nos permite estudiar el flujo arterial o venoso de los diferentes sectores vasculares, mediante el registro de la onda del pulso y la determinación de la presión de la misma.

Se pretende demostrar que la utilización de ambientes gráficos empleados para dar solución a un problema real, son más viables ya que no requieren de una infraestructura costosa, son portables, baratas, además de que es más fácil resolver cualquier falla o error que surja durante el desarrollo, para lograr una mayor eficiencia en el proyecto realizado.

La Realidad Aumentada es una técnica mediante la cual los usuarios pueden percibir la realidad superponiendo a los objetos reales modelos virtuales enriquecidos.

El observador puede trabajar y examinar objetos 3D reales mientras recibe información adicional sobre estos objetos o sobre la tarea que se está realizando. De este modo, la Realidad Aumentada permite al usuario permanecer en contacto con su entorno de trabajo, mientras su foco de atención no está en la computadora, sino en el mundo real. El papel que juega la computadora es el de asistir y mejorar las relaciones e interacciones entre las personas y el mundo real.

Así, la diferencia entre estas es el tratamiento que hacen del mundo real. La RV sumerge al usuario dentro de un mundo virtual que reemplaza completamente al mundo real exterior, mientras que la RA deja ver al usuario el mundo real a su alrededor y aumenta la visión que éste tiene de su entorno mediante la superposición o composición de los objetos 3D virtuales. Idealmente, esto daría al usuario la ilusión que los objetos de los mundos real y virtual coexisten.

En definitiva, se podría decir que los sistemas de RA llevan la computadora al entorno de trabajo real del usuario, mientras que los sistemas de RV intentan llevar el mundo real a la computadora.

La Realidad Aumentada es utilizable en múltiples aplicaciones:

- Pueden organizarse reuniones en las cuales los asistentes vayan equipados con lentes especiales conectadas a la computadora, de forma que todos visualicen un mismo mundo virtual y al mismo tiempo puedan verse entre ellos.
- El cirujano puede recibir información en sus lentes mientras manipula al paciente.
- Este tipo de sistemas lo hemos podido apreciar en películas de ciencia ficción [1].

2. Herramienta ARToolkit

La Realidad Aumentada consiste en un conjunto de dispositivos que añaden información virtual a la información física ya existente. Esta es la principal diferencia con la realidad virtual, puesto que no sustituye la realidad física, sino que sobreimprime los datos informáticos al mundo real.

Este tipo de tecnología ha avanzado en forma constante, brindando a los usuarios una amplia aplicación de esta en diversas soluciones a problemas que se creían difíciles de atacar. Esta técnica de

superposición de imágenes sirve como ayuda para la visualización de objetos que simulen uno real, como por ejemplo un auto; este al ser llevado a un ambiente de RA, por medio de unas gafas especiales el propio dueño verá su auto con una superposición de este mismo y así puede manipular cada parte para observar el proceso de armado de forma rápida, simple y en tiempo real.

Para esta nueva tecnología se tienen un conjunto de librerías y programas poderosos que brindan un mayor soporte al aplicar este tipo de proyecciones en tiempo real, permitiendo al usuario interactuar de forma más simple, haciendo de la RA algo fácil de emplear. Algunas herramientas de RA son: DART (Designers Augmented Reality Toolkit), osGAR y ARToolkit.

Una mejor forma de entender este funcionamiento de la superposición (Fig. 1.1) es tener el marcador físico y el objeto que se pretende superponer.

Figura 1: Muestra figura 3D y nuestro marcador físico.

Después al compilar y ejecutar el conjunto de librerías que las herramientas ya mencionadas nos proporcionan se tiene el reconocimiento del objeto físico y la superposición de la imagen (Fig. 1.2).

Figura 2: Unión de marcador y objeto 3D por medio de ARToolkit.

ARToolkit es una estructura simple para crear aplicaciones de Realidad Aumentada en tiempo real, mostrando su practicidad, facilidad y portabilidad, debido a que es una aplicación multiplataforma (Windows, Linux, Mac OS X, SGI). Logrando superponer modelos 3D en marcadores reales (basado en el algoritmo de visión por computadora), permite la captura de video contando con una biblioteca estándar de video, soporta múltiples fuentes de entrada (USB, Firewire, tarjeta de captura), soportando múltiples formatos (RGB/YUV420P, YUV), el múltiple seguimiento rápido y eficaz de la cámara además de una rutina de calibración sencilla, soporta gráficos VRML, cuenta con una rápida interpretación basada en OpenGL y además de tener una librería gráfica sencilla (basada en GLUT) [16].

ARToolkit utiliza OpenGL para la parte de representación, GLUT para las ventanas o controlador de eventos, bibliotecas de video de hardware dependiente (API) estándar en cada plataforma, en nuestro caso Win32 (Fig. 1.3).

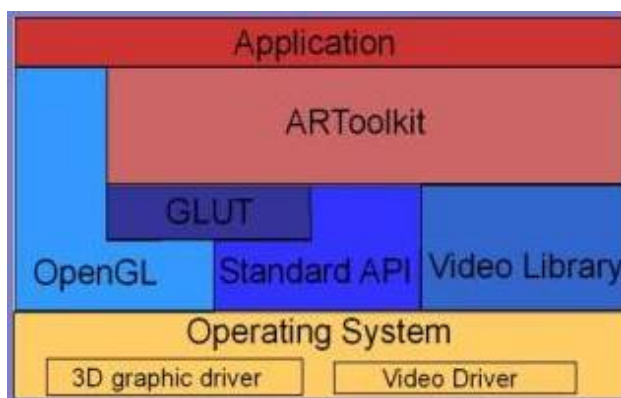


Figura 3: Arquitectura ARToolKit.

ARToolkit consta de cuatro módulos:

1. Módulo AR contiene las principales rutinas de seguimiento del marcador, la calibración y recolección de parámetros.
2. Módulo de video contiene el conjunto de rutinas para la captura de video de los marcos de entrada. Esta es una envoltura alrededor de la plataforma estándar de rutinas de captura de video SDK.
3. Módulo gsub (Fig. 1.4) es una colección de rutinas gráficas basadas en OpenGL y bibliotecas GLUT.

4. Módulo Gsub_lite (Fig. 1.5) reemplaza a gsub con rutinas más eficientes de gráficos, independiente de cualquier conjunto de herramientas.

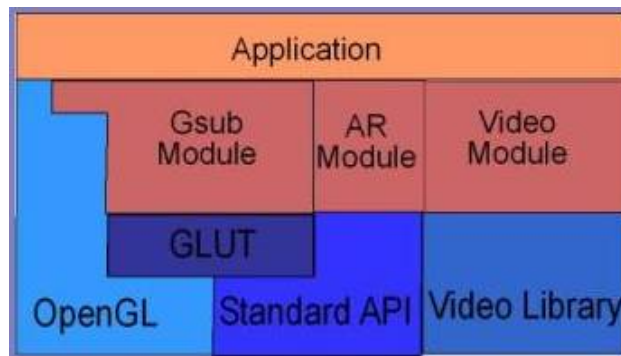


Figura 4: Estructura jerárquica de ARToolkit utilizando gsub.

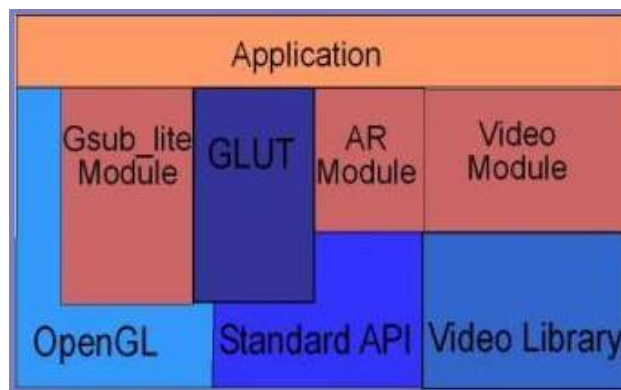


Figura 5: Estructura jerárquica de ARToolkit utilizando Gsub_Lite.

Para una explicación más simple (Fig. 1.6) se muestra un diagrama a pasos simple del funcionamiento de ARToolkit:

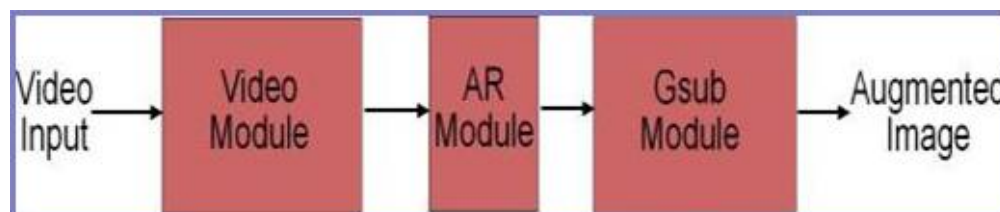


Figura 6: Diagrama de pasos.

ARToolkit maneja diversos formatos de imagen entre cada módulo como RGB24, RGB32, YUV, VUY para esto (Fig. 1.7) mostrando un diagrama de flujo de video.

3. Requerimientos mínimos

En la Tabla 1.1 se muestran los requisitos para la plataforma Windows [18]:

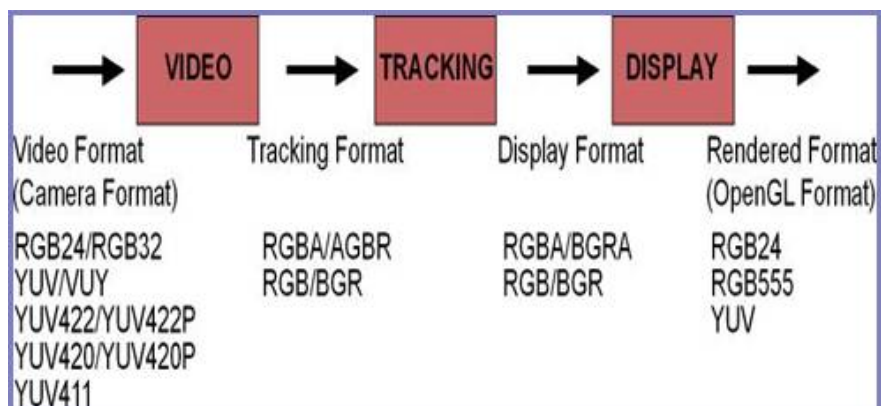


Figura 7: Diagrama de flujo de datos y formatos que acepta [17].

Cuadro 1: Requerimientos básicos para la implementación de ARToolkit.

Requisitos	Descripción
Entorno de desarrollo	Microsoft Visual Studio 6 y Microsoft Visual Studio NET 2003 son compatibles, pero también es posible construir el conjunto de herramientas usando entornos de desarrollo libres (por ejemplo, Cygwin).
DSVideoLib-0.0.8b-win32	En Windows, DSVideoLib se usa para manejar la comunicación con el controlador de la cámara. Se necesita DSVideoLib-0.0.8b o posterior para la versión ARToolKit 2.71.
GLUT	Instalar GLUT ¹ y SDK.
DirectX	Compruebe que DirectX está instalada: para Windows XP esta es instalada por defecto. Usted necesita comprobar su versión, debe ser 9.0b o posterior.
Dispositivo de entrada de vídeo	Conectar la cámara o entrada de vídeo en su PC e instalar los controladores necesarios. Comprobar que la cámara tenga el controlador de video VFW o controlador WDM.
(Opcional, para utilizar VRML) OpenVRML-0.14.3-win32	Este se puede descargar de la página de descargas ARToolKit en Sourceforge.

4. Funcionamiento general

Esta superposición de imágenes se da gracias a los patrones de color negro que son detectados por la cámara (Fig. 1.8). El seguimiento de ARToolkit es el siguiente:

1. El video de la cámara capta el mundo real y lo envía a la computadora.
2. El software al reconocer la imagen, la convierte en binaria y así el marco negro es identificado.
3. El marco al ser encontrado, el software calcula la posición de la cámara con relación al cuadrado negro (marcador).
4. Una vez encontrada la posición de la cámara, un modelo gráfico es dibujado en la misma posición.
5. Este modelo es dibujado en la parte superior del video en el mundo real y así aparece pegado en el marcador.
6. Como salida podemos ver a través de la pantalla de la computadora el objeto gráfico superpuesto en nuestro mundo real.

Algunas limitantes: los objetos virtuales sólo aparecerán si los marcadores están a la vista, esto limita el movimiento de los objetos virtuales; también si los usuarios obstruyen la visión de la cámara con respecto al marcador, la imagen aumentada desaparecerá [20].

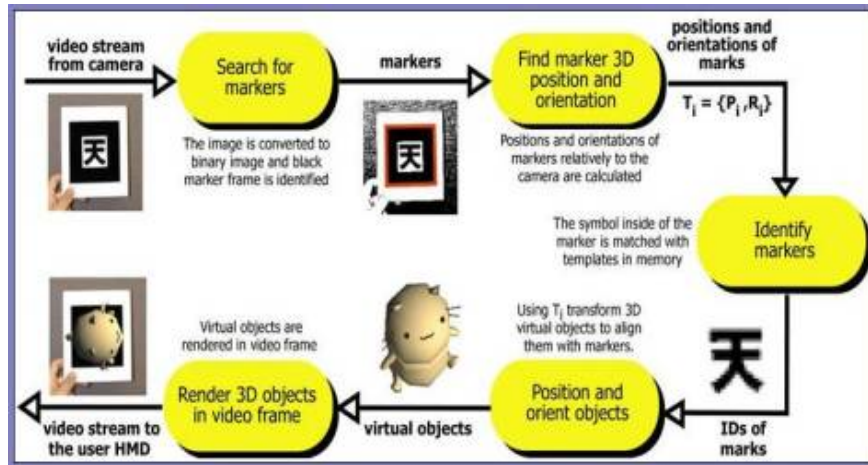


Figura 8: Pasos para el reconocimiento.

5. Principios para desarrollar

Existen dos partes importantes para el desarrollo de aplicaciones: escribir la aplicación y entrenar las rutinas de procesamiento de imágenes en los marcadores del mundo real que serán utilizados en la aplicación.

En la Tabla 1.2 se observa de manera más simple y específica el funcionamiento de ARToolkit.

Cuadro 2: Pasos fundamentales para el desarrollo con ARToolkit.

Inicialización	1. Iniciar la captura de vídeo y leer los archivos que contienen los marcadores y los parámetros de la cámara.
4*MainLoop	2. Tomar un marco de entrada de video. 3. Detectar los marcadores y reconocer los patrones en el marco de entrada de video. 4. Calcular la posición de la cámara con respecto a los patrones detectados. 5. Dibujar los objetos virtuales en los patrones detectados.
Apagado	6. Cierre de la captura de video.

Los pasos 2 a 5 se repiten hasta que la aplicación se cierra; los pasos 1 y 6 solo se ven en la inicialización de la aplicación y en el cierre de esta [21].

5.1. Marcadores

Los marcadores son plantillas cuadradas de color negro, que cuentan con una figura de geometría simple en el interior llamada patrón, el cual al ser reconocido por la cámara permitirá superponer un gráfico. Este deberá tener un tamaño aproximado de 10 x 10 cm.

Estos pueden generarse a través del programa `mk_patt` ubicado en la carpeta `bin` de ARToolkit.

Lo primero que necesitamos es una plantilla con un cuadrado negro y un cuadrado blanco vacío en el centro; este se puede realizar manualmente o se puede encontrar un ejemplo dentro de la carpeta `patterns` como el archivo `blankPatt.gif` e imprimirlo. Teniendo la plantilla se le colocará en el cuadro blanco del centro un patrón en blanco y negro o a color de forma asimétrica, que no cuente con muchos detalles (Fig. 1.9).

Con el patrón ya dibujado se ejecutará el programa `mk_patt` antes mencionado; este abrirá una ventana en modo consola y pedirá introducir el nombre del archivo de los parámetros de la cámara "camera_para.dat". Luego se abrirá una ventana de video; en esta se coloca el marcador con su respectivo



Figura 9: Ejemplo de marcador.

patrón en una superficie plana, de modo que la cámara coloque un marco de color rojo en la parte superior de este y uno verde en su parte inferior (Fig. 1.10). Con esto la plantilla es reconocida.



Figura 10: Ventana de captura de mk_patt.

Al ser detectada es necesario dar un clic sobre la imagen con el mouse y en la pantalla de consola pedirá un nombre para nuestro patrón (Fig. 1.11), de la siguiente manera: `patt.[nombre asignado]`². Luego tendremos un nuevo marcador. Para utilizar este marcador sólo hay que colocarlo en el archivo `object_data.vrml` para poder observar resultados.

5.2. Calibración de la cámara

En el software de ARToolkit se encuentra el archivo `camera_para.dat` que contiene las propiedades de la cámara, que son leídas cada vez que una aplicación se ejecuta. Estos parámetros deben servir para una amplia gama de cámaras; sin embargo, con una simple técnica de calibración podemos generar nuestro archivo con los parámetros que necesitamos.

Existen dos métodos para calibrar:

²Patt es un nombre para identificar nuestro archivo y se le hace referencia a los marcadores.

```

C:\Archivos de programa\ARToolKit\bin\mk_patfd.exe
Enter camera parameter filename(Data/camera_para.dat):
Camera image size (x,y) = (352,288)
*** Camera Parameter ***
-----
SIZE = 352, 288
Distortion factor = 175.175000 144.925000 86.611570 1.012757
385.52331 0.00000 174.07500 0.00000
0.00000 399.35100 132.82500 0.00000
0.00000 0.00000 1.00000 0.00000
-----
argl error: Your OpenGL implementation and/or hardware's texturing capabilities
are insufficient to support rectangle textures.
Enter filename:
Enter filename:

```

Figura 11: Salida en consola para asignar nombre al nuevo marcador.

- Enfoque por medio de 2 pasos de calibración: difícil de utilizar pero más preciso (mejor para medidas 3D).
- Enfoque de un paso: da una precisión buena para la superposición de las imágenes [25].

6. Desarrollo

6.1. Descripción

El índice tobillo/brazo es un método de diagnóstico no invasivo, indicado para conocer el estado de la circulación arterial en las extremidades inferiores, que se puede cuantificar calculando la relación de presiones arteriales en las extremidades.

El Doppler es un sistema de ultrasonidos que nos permite estudiar el flujo arterial o venoso de los diferentes sectores vasculares, mediante el registro de la onda del pulso y la determinación de la presión de la misma.

6.2. Objetivo

Detección precoz de la arteriosclerosis obliterante. Diagnóstico y seguimiento de los pacientes con patología arterial. Realización de diagnósticos diferenciales. Estudio de la conveniencia de practicar pruebas invasivas (Arteriografía, Divas). Control pre y postoperatorio de pacientes sometidos a cirugía arterial.

6.3. Preparación del paciente antes del procedimiento

Informar a la persona sobre la prueba que se le va a realizar, indicándole que es una técnica indolora y explicándole en qué puede colaborar. Tanto las extremidades superiores como las inferiores deben estar libres de ropa para poder colocar los manguitos de presión. El paciente se debe colocar en una camilla en decúbito supino, elevando el tronco aproximadamente 45 grados.

6.4. Material

- Camilla de exploraciones
- Aparato de Doppler

- Sondas de 4 y de 8 MHz
- Inflador automático o esfigmomanómetro
- Gel conductor
- Manguitos de presión: 2 de 14 × 80 cm aprox., 1 de 19 × 100 cm aprox.

6.5. Procedimiento

1. Palpación de pulsos
2. Toma de presiones
3. Registro de curvas femorales
4. Cálculo del índice tobillo/brazo

6.5.1. Palpación de pulsos

Deben palparse los pulsos con los dedos de la mano colocados tal como indica la Figura 1.14. Buscaremos las arterias de la extremidad donde debemos tomar las presiones. En las extremidades superiores localizaremos la arteria radial y cubital y en las extremidades inferiores las arterias: tibial anterior o pedia en el dorso del pie, tibial posterior en la zona retromaleolar.

Figura 12: Palpación tibial posterior.

Figura 13: Palpación tibial anterior.

Si hay mucha dificultad en encontrar alguna de estas dos arterias se puede tomar presiones en la arteria peronea, que se encuentra en el maléolo externo (Figura 1.15). Detrás de la rodilla en la zona del hueso poplíteo palparemos la arteria poplíteica, y en la ingle, en la zona del arco femoral palparemos la arteria femoral común.

Figura 14: Arteria peronea.

6.5.2. Toma de presiones

Se requiere utilizar una sonda de 4 u 8 MHz según la profundidad del vaso que se va a estudiar. Se coloca el gel conductor entre la piel y la sonda. Posteriormente se colocan los manguitos de presión en tres niveles: por encima del tobillo, debajo de la rodilla y en el muslo por debajo de la ingle (Figura 1.16).

Localizaremos el flujo arterial con la sonda Doppler, sin presionar la arteria. Los vasos que utilizaremos habitualmente serán la arteria tibial anterior y posterior.

Se determina la presión sistólica en los tres niveles:

- Tercio distal: pedia y tibial posterior.
- Debajo de rodilla: poplíteica.
- Encima de rodilla: femoral superficial.

Siempre empezaremos la toma de presión por el manguito más distal hasta el proximal. Tomaremos la presión sistólica con la sonda Doppler en ambos brazos en la arterial cubital o radial, o bien en la arteria humeral.

6.5.3. Registro de curvas femorales

Finalmente registraremos las curvas de la femoral común. Aquí situaremos la sonda en la zona del arco femoral formando un ángulo respecto al vaso de 45° a 75°.

Figura 15: Arteria tibial posterior.

Figura 16: Posiciones sugeridas para la toma de presiones.

6.5.4. Cálculo del índice Doppler tobillo/brazo

La determinación de los diferentes índices se realiza en función de la presión humeral del paciente:

- Índice maleolo/brazo = Presión sistólica tibial posterior o pedia / Presión sistólica humeral
- Índice poplíteo/brazo = Presión sistólica poplíteo / Presión humeral
- Índice femoral superficial/brazo = Presión sistólica femoral superficial / Presión sistólica humeral

El índice tobillo/brazo (índice Doppler o de Yao) se clasifica en función del estado de la enfermedad del siguiente modo:

- Grado 0: Índices superiores a 1 (normal)
- Grado I: Índices de 0,8 a 1 (normal)
- Grado II a: Índices de 0,6 a 0,8
- Grado II b: Índices de 0,5 a 0,6 (claudicación intermitente)
- Grado III: Índices de 0,3 a 0,4
- Grado IV: Índices de 0,2 a 0,3 (dolor en reposo)

6.5.5. Contraindicaciones

- Flebitis
- Linfangitis
- Sospecha de trombosis venosa superficial o profunda
- Heridas abiertas localizadas en la zona de colocación del transductor
- Inmovilizaciones rígidas de las extremidades (yesos, férulas, etc.)

El índice tobillo/brazo puede ser falso en los pacientes diabéticos (superior a 240 mmHg), causado por la arteriopatía diabética que suelen padecer, lo que impide que los manguitos de presión compriman la arteria calcificada.

Se puede determinar el índice Doppler a nivel del primer dedo del pie con manguitos especiales y con valores de referencia distintos a los normales.

7. Bibliografía

[1] 12:00, 12/06/09 <http://www.innovatecno.com/TextoRA.php>

[2] 15:30, 20/06/09 http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality

[3] 11:25, 24/08/09, http://www.tecn.upf.es/~sjorda/TSI2006/alumnes_anteriors/TSI0304_ARPres.pdf

[4] 13:40, 27/08/2009, http://www.hitlabnz.org/wiki/Black_Magic_Book

[5] Billingham, M., Kato, H., Poupyrev, I. (2001) The MagicBook: A Transitional AR Interface. Computers and Graphics, November 2001, pp. 745-753.

[6] E. Woods, P. Mason, M. Billingham. MagicMouse: an Inexpensive 6-Degree-of-Freedom Mouse. Proceedings of Graphite 2003, Feb 11th-13th, 2003, Melbourne.



Figura 17: Representación gráfica utilizando ARToolkit de las venas y arterias basadas en un índice Tobillo/Brazo de prueba.

[7] 18:40, 3/09/09, <http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld`ar>

[8] <http://www.shared-reality.de/index.php?main=meeting&sub=screenshots>

[9] Kato, H., Billingham, M., Morinaga, K., Tachibana, K. (2001) The Effect of Spatial Cues in Augmented Reality Video Conferencing. In proceedings of the 9th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2001), August 5-10th, New Orleans, LA, USA.

[10] 14:00, 8/09/09 <http://staff.fh-hagenberg.at/haller/research-faimr.html>

[11] Enylton Machado Coelho. "Spatially Adaptive Augmented Reality" PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, 2005.

[12] Enylton Machado Coelho, Blair MacIntyre and Simon J. Julier. "Supporting Interaction in Augmented Reality in the Presence of Uncertain Spatial Knowledge" In the Eighteenth Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2005), October 23-26, 2005, Seattle, Washington.

[13] Steven Dow, Blair MacIntyre, Maribeth Gandy, y Jay David Bolter. "Prototyping Applications for the Physical World Using Integrated Capture/Playback Facilities." To be presented as a demo at UbiComp (UBICOMP04), September 7-10, 2004, Nottingham, UK.

[14] 4/10/09 <http://es.wikipedia.org/wiki/Realidad`aumentada>

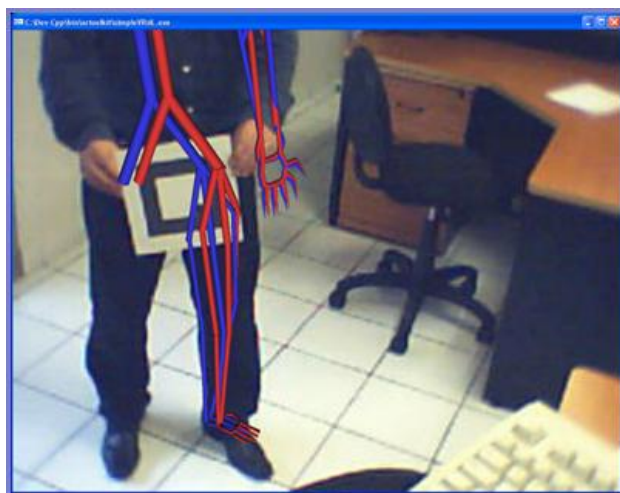


Figura 18: Ajuste de correspondencia entre el gráfico tridimensional y la imagen de prueba utilizando ARToolkit.

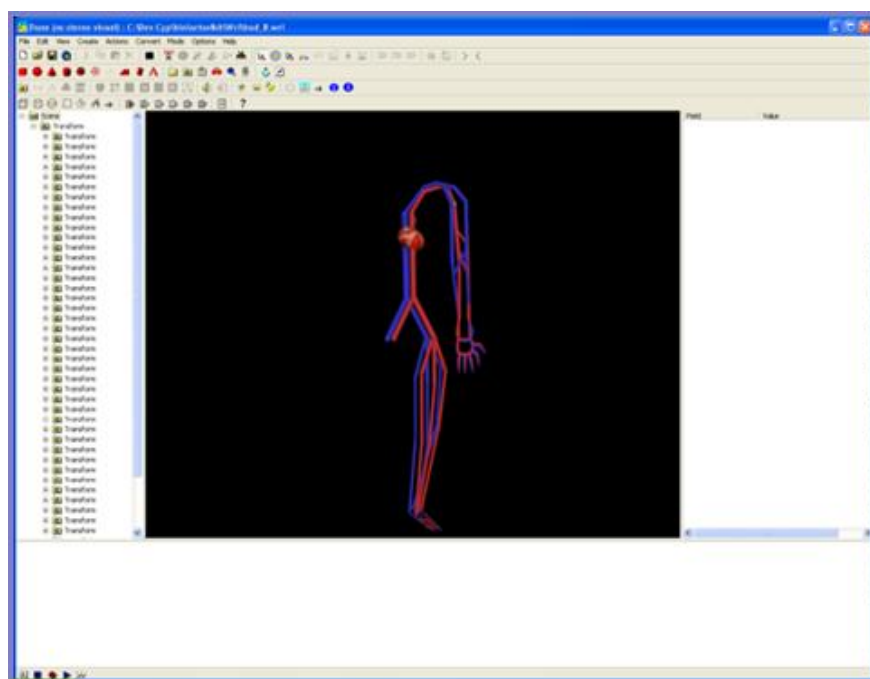


Figura 19: Representación gráfica utilizando la herramienta ARToolkit.

[15] Gilberto Nájera. "La Realidad Aumentada aplicada a interfaces hombre-máquina". Centro de Investigación en Computación (CIC), Junio 2009.

[16] 6/10/09 <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/features.htm>

[17] 8/10/09, <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/devframework.html>

[18] 12/10/09 <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/usersetup.htm>

[19] 13/10/09 <http://pfc-albertocorralesgarcia.blogspot.com/2008'02'01'archive.html>

- [20] 15/10/09 <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/userarwork.html>
- [21] 19/10/09 <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/devprinciple.html>
- [22] 22/10/09 <http://artoolkit.sourceforge.net/apidoc/files.html>
- [23] 26/10/09 <http://artoolkit.sourceforge.net/apidoc/annotated.html>
- [24] 28/10/09 <http://artoolkit.sourceforge.net/apidoc/index.html>
- [25] 10/11/09 <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/usercalibration.html>