

# UN PROCEDIMIENTO PARA LA SUPERPOSICIÓN DE TEXTURAS A MODELOS TRIDIMENSIONALES

Ignacio Rodríguez Devesa  
Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática – Universidad de Valladolid  
Paseo del Cauce s/n  
47011-Valladolid, España  
ignaciord2003@yahoo.es

José María Llamas Fernández  
Lab. de Visión Artificial - Centro Tecnológico CARTIF  
Parque Tecnológico de Boecillo, parcela 205  
47151-Valladolid, España  
joslla@cartif.es

Jaime Gómez García-Bermejo  
Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática – Universidad de Valladolid  
Paseo del Cauce s/n  
47011-Valladolid, España  
jaigom@eis.uva.es

Eduardo Zalama Casanova  
Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática – Universidad de Valladolid  
Paseo del Cauce s/n  
47011-Valladolid, España  
eduzal@eis.uva.es

## Resumen

*En el presente artículo se expone un método para la superposición de texturas a modelos tridimensionales. El método propuesto presenta la ventaja de que es aplicable a cualquier tipo de escáner 3D y a cualquier sistema óptico de captación de imágenes, e incluso a cámaras termográficas.*

*Hoy en día la obtención de la información geométrica, de color y de temperatura tiene numerosas aplicaciones tanto en el control de calidad como en la ingeniería inversa. Pero el ámbito de aplicaciones no se restringe al sector industrial, sino que existen numerosas aplicaciones dentro de campos tan lejanos unos de otros como son la robótica, la medicina o el arte.*

**Palabras Clave:** Información tridimensional, información colorimétrica, información térmica, puntos de control, puntos coplanarios, proyección de imágenes.

## 1. INTRODUCCIÓN

La obtención sistemática de información tridimensional, colorimétrica y térmica, tanto de piezas como de elementos arquitectónicos sigue

siendo uno de los grandes retos de la ingeniería teniendo en cuenta el amplio rango de aplicaciones para las que se necesita capturar dichas informaciones.

Sirvan como ejemplo las siguientes aplicaciones: inspección e identificación en procesos industriales (por ejemplo el caso de comprobar si una placa lleva todos sus chips), construcción de escenarios virtuales (donde la información dimensional, cromática y térmica obtenida de la escena real y pasada al entorno informático constituye el punto de partida), desarrollo de sistemas de reconocimiento e identificación visual de personas, cirugía (plástica, dental, etc.), bases de datos de esculturas artísticas; con la información térmica se puede detectar fugas de calor en edificios, existencia de humedades y poblaciones de microorganismos en edificaciones, etc.

La gran cantidad de aplicaciones de los sistemas de visión artificial provocan en numerosos ámbitos una demanda creciente de sistemas robustos, modulares y configurables, capaces de medir de forma sistemática las informaciones tridimensional, colorimétrica y térmica de escenas o piezas. A pesar de que desde la década de los 70 la Visión por Computador ofrecía alternativas viables a los sistemas tradicionales de palpación mecánica, la oferta es todavía muy escasa debido al carácter reciente de los desarrollos tecnológicos en los

campos de la Microelectrónica, Optoelectrónica y Tratamiento de Imágenes que han posibilitado este nuevo tipo de sistemas.

En este sentido las técnicas de Visión por Computador, centradas en torno a la Estéreo visión Activa por Proyección de luz Estructurada en cooperación con Visión en Color y Visión Térmica, se muestran como una alternativa óptima para solventar el problema de adquisición de las informaciones tridimensional, colorimétrica y térmica, dado que permiten la obtención de dichas informaciones de una manera rápida, versátil, precisa y sin necesidad de contacto físico con los objetos o edificaciones bajo estudio.

La aplicación mostrada en este artículo es una mejora respecto de otras existentes, las cuales obtienen la información colorimétrica punto por punto, es decir, de los puntos que utilizan para reconstruir la geometría también obtienen de ellos su color. Con ese método la información colorimétrica está limitada por la resolución geométrica. Ahora con la aplicación propuesta esta limitación no existe, y lo que se hace para obtener la información colorimétrica es tomar una fotografía del modelo y proyectar un triángulo (que forma parte del modelo 3D reconstruido) sobre la imagen, la información de color que cubra el área del triángulo será la que habrá que asignarle. De esta manera existe independencia entre la resolución geométrica y colorimétrica; se puede simplificar enormemente el modelo geométrico y los resultados serán igualmente satisfactorios. La resolución del color estará supeditada a la del captador con el cual se obtenga la imagen, y hoy en día existen captadores muy asequibles y de gran calidad.

La información colorimétrica es obtenida con una cámara fotográfica, ya sea analógica o digital. La información termográfica se adquiere mediante una cámara térmica. Para la superposición de la textura sobre el modelo geométrico 3D ya reconstruido se hace uso del Lenguaje de Modelado de Realidad Virtual (VRML) [9] y para su visualización de una manera sencilla y rápida utiliza el *software* Cosmo Player[11], que se integra en los navegadores Web (Netscape, Internet Explorer, etc.).

El presente Artículo está estructurado en 5 secciones: en la sección 2 se habla de los fundamentos teóricos de la adquisición de la información geométrica, colorimétrica y térmica, en la sección 3 se muestra el proceso que se sigue para proyectar una textura sobre el modelo 3D, en la sección 4 se detalla la implantación del sistema y los resultados obtenidos, por último en la sección 5 se presentan las conclusiones que se pueden extraer del sistema desarrollado.

## 2. FUNDAMENTOS PARA LA ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOMÉTRICA, COLORIMÉTRICA Y TÉRMICA.

Se describe a continuación los fundamentos en los que está basado el sistema para la adquisición geométrica, colorimétrica y térmica de una escena.

Primero se obtiene y se reconstruye el modelo 3D, a continuación se adquiere la información de color mediante una cámara fotográfica. Hay que decir que el método para la superposición de la información térmica es análogo al de la información colorimétrica, pues se van a tener las dos imágenes con el mismo formato.

### 2.1 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN TRIDIMENSIONAL.

Para adquirir la información tridimensional del modelo se usan dos métodos: medición de tiempo de vuelo y triangulación activa por proyección de luz estructurada [2,3,4].

Los escáneres láser de tiempo de vuelo son una versión mejorada de los SONAR con la diferencia de que mientras éstos son ultrasónicos, los escáneres son ópticos. El principio operacional de los escáneres de medición de tiempo de vuelo está basado en la medida del tiempo que tarda un pulso de luz desde que es emitido hasta que es reflejado por un objeto y captado por el receptor.

La ecuación del proceso es:

$$\text{Distancia} = (\text{Veloc. luz} * \text{Tiempo de vuelo})/2 \quad (1)$$

El método de triangulación activa por proyección de luz estructurada está basado en la triangulación espacial: “Dada la línea base de un triángulo, la distancia entre dos de sus vértices y los dos ángulos correspondientes, la posición del tercer vértice puede determinarse unívocamente”.

De esta forma, como se puede apreciar en la figura 1, se puede conocer la posición absoluta del punto P si se conoce la distancia D y los ángulos a y b.

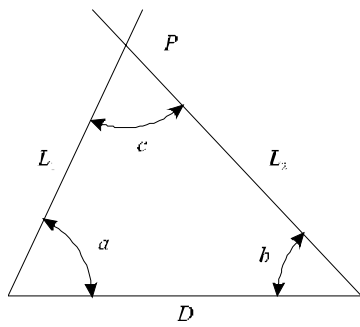


Figura 1: El problema de la triangulación espacial.

$$L_1 \cos(a) + L_2 \cos(b) = D \quad (2)$$

$$L_1 \sin(a) = L_2 \sin(b) \quad (3)$$

Para que el triángulo exista, el punto P debe ser visible desde ambos observadores; esta condición no se va a verificar cuando alguna otra zona de la escena se interpone entre un observador y el punto en cuestión, por lo tanto se van a originar las llamadas “regiones desconocidas”, principal problema de las técnicas de triangulación. A cambio, proporcionan habitualmente una mayor precisión que los escáneres de tiempo de vuelo.

El principio matemático queda trasladado en la aplicación práctica de la forma que muestra la figura 2.

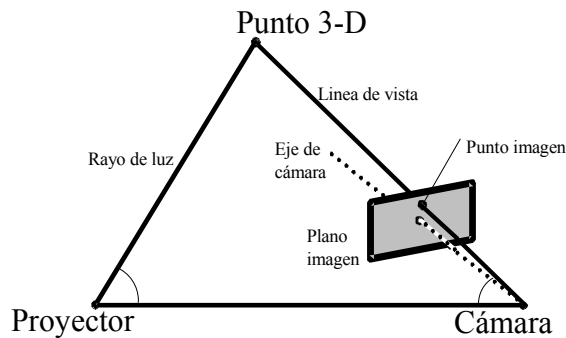


Figura 2: Principio de la triangulación activa.

La obtención de la información geométrica de la escena se realiza mediante un barrido completo con el láser.

Se han descrito sólo estos dos métodos para la obtención de la información tridimensional, pues sobre ellos se ha desarrollado el sistema; aunque hay que resaltar que el método propuesto para la superposición de texturas es general, independientemente del método aplicado para la reconstrucción geométrica de la escena.

Dependiendo del tipo de escáner utilizado se puede necesitar una calibración de las cámaras [6], para

obtener una información tridimensional correcta. La reconstrucción del modelo tridimensional se puede conseguir mediante varios métodos como Marching Cubes o Triangulación de Delaunay [1,7]. El método implantado ha sido la Triangulación de Delaunay, aunque como se ha dicho anteriormente la elección de un método u otro no afecta al método de proyección de texturas.

## 2.2 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN COLORIMÉTRICA.

La información cromática [2,3,4] es en la actualidad muy importante en múltiples campos científicos, en aquellas situaciones donde la apariencia constituya un aspecto determinante, bien por razones de estética (piezas policromadas, carrocerías...) bien porque presente una relación directa con el estado de la pieza (acabado superficial, grado de conservación...), donde resulta una componente vital, como por ejemplo en determinado tipo de inspecciones, en la identificación o catalogación sistemática de piezas.

La característica del color se obtiene mediante captadores con elementos sensibles capaces de ser excitados por luces de determinadas longitudes de onda. El nivel de excitación de cada uno de estos elementos se mide mediante el nivel eléctrico provocado por la luz. Como quiera que se puede describir un color mediante la combinación de tres colores primarios (rojo, verde y azul), los elementos sensibles son excitados por la luz recibida, cada uno por un determinado rango de longitudes de onda. El nivel eléctrico generado por la luz se transforma en tres valores, correspondientes a estos tres rangos de longitudes de ondas, que corresponden a las coordenadas de color en el sistema RGB.

Para adquirir la información colorimétrica de una pieza debemos recibir el reflejo de una luz que sea la combinación de todas las longitudes de ondas, es decir, que tenga un espectro aproximadamente uniforme. A este tipo de luz se le denomina "luz blanca". Debido a este motivo es necesaria la utilización de una fuente de luz distinta a la que se emplea en la obtención de la información tridimensional, que es habitualmente una luz láser de una determinada longitud de onda.

La adquisición de las imágenes puede ser realizada mediante cámaras fotográficas analógicas, digitales o bien empleando el mismo captador que se utiliza para la obtención de información tridimensional; si empleamos cámaras analógicas es necesario digitalizar después las imágenes por medio de algún equipo informático. Esto es un inconveniente frente a las cámaras digitales o el captador, pues ya se obtiene la imagen directamente en un formato adecuado para ser procesada. En el sistema

propuesto se han utilizado una cámara digital y el propio captador de imágenes de un escáner 3D.

### 2.3 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉRMICA.

La termografía infrarroja es un método de diagnóstico sin contacto, está basado en la obtención de la distribución superficial de la temperatura de la muestra, pieza, maquinaria, edificio, etc. en estudio, obteniéndose un mapa de temperaturas que se denomina termograma. El termograma nos da información sobre el estado actual de la pieza, lo que permite predecir su comportamiento.

En un termograma es posible identificar los gradientes de temperatura y de este modo formar patrones reconocibles a simple vista o por medio del procesamiento de la imagen termográfica, lo que permite la fácil identificación de ciertas características o fallos en tiempo real.

Se pueden distinguir dos tipos de termografías según su principio de interacción.

Termografía pasiva: mide la radiación infrarroja sin una fuente de calor externa. Normalmente la termografía pasiva es cualitativa, ya que su objetivo principal es indicar puntos o zonas de anomalías.

Termografía activa: se hace incidir cierta cantidad de energía sobre la muestra a inspeccionar, para así obtener diferencias de temperatura significativas, que muestren defectos bajo la superficie del material que está siendo analizado.

La información obtenida posibilita la extracción de datos cuantitativos, tales como el tamaño y profundidad de los fallos, mediante el procesamiento de las imágenes obtenidas por la cámara de la muestra analizada.

En líneas generales la termografía se puede aplicar: en la industria aeronáutica, detección de fatiga en piezas mecánicas, control de procesos de fabricación, auditorías de calidad respecto a calor irradiado en el medio por maquinarias, cañerías, etc.

Dentro de la automatización de procesos tiene utilización para la clasificación de elementos según su patrón de temperatura, evaluación de circuitos impresos y detección de problemas, detección de áreas de calor mal distribuido.

Dentro del mantenimiento preventivo y predictivo, en las subestaciones eléctricas y transformadoras, inspección de cuadros eléctricos, estado de aislamiento y humedades de edificios.

A modo de ejemplo véase la figura 3, que es una imagen tomada con una cámara termográfica de la fachada de la iglesia de San Pablo en Valladolid.

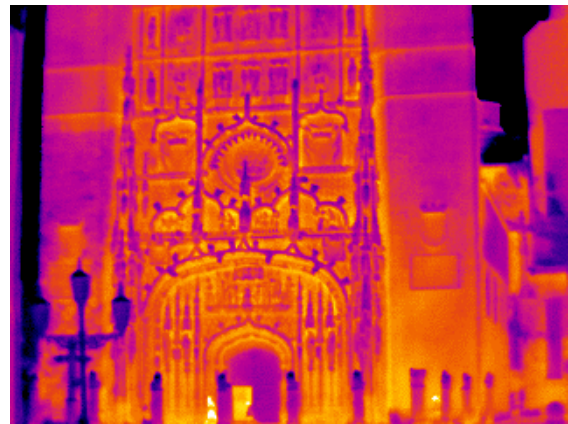


Figura 3: Termografía de la iglesia San Pablo de Valladolid.

## 3. MÉTODO PROPUESTO PARA LA SUPERPOSICIÓN DE TEXTURAS.

Para la proyección de texturas hay que realizar primeramente una calibración de las cámaras de color o termográficas respecto al modelo 3D. A continuación se describen estos aspectos.

### 3.1 CALIBRACIÓN DE CÁMARAS.

Lo que se persigue con la calibración es la consecución de un modelo de la proyección que nos permita relacionar la posición de los puntos en coordenadas mundo  $(X_w, Y_w, Z_w)$  con la posición de esos mismos puntos en coordenadas plano imagen  $(r, c)$ . Para la estimación de los parámetros correspondientes se requiere utilizar una serie de puntos de control.

La relación entre las coordenadas de la imagen discretizada y del mundo puede expresarse:

$$\begin{pmatrix} nr \\ nc \\ n \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

donde  $n$  es una constante y  $M$  es una matriz  $3 \times 4$  de doce elementos  $\{m_i\}$ , denominados *intermedios*, definida como el producto de las dos matrices siguientes:

$$M_1 = \begin{pmatrix} k_1 & 0 & r_0 & 0 \\ 0 & k_2 & c_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad M_2 = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

La relación final entre las coordenadas del mundo de un punto del espacio y las coordenadas de su imagen en la correspondiente referencia discretizada resulta:

$$\begin{aligned} r &= \frac{m_1 x_w + m_2 y_w + m_3 z_w + m_4}{m_9 x_w + m_{10} y_w + m_{11} z_w + m_{12}} \\ c &= \frac{m_5 x_w + m_6 y_w + m_7 z_w + m_8}{m_9 x_w + m_{10} y_w + m_{11} z_w + m_{12}} \end{aligned} \quad (6)$$

Con los puntos de control lo que se pretende es poder estimar los parámetros de la matriz M, o matriz de calibración, para así una vez obtenida esta matriz el sistema es capaz obtener la relación existente entre los puntos plano imagen píxel (r,c) y las coordenadas mundo de la pieza (Xw,Yw,Zw).

### 3.2 SUPERPOSICIÓN DE LA TEXTURA

Una vez que se tiene el modelo 3D reconstruido tal como se apuntó en 2.1, se realiza a continuación la proyección de la textura, ya sea con la información colorimétrica o térmica, pues las dos informaciones se tratan de igual manera al ser imágenes con el mismo formato.

Para la superposición de la textura es necesario realizar una estimación de la matriz de calibración, en donde los puntos de control van a ser puntos sobre el modelo 3D ya reconstruido y sus homólogos en la textura a proyectar, es decir, hay que obtener las coordenadas (Xw,Yw,Zw) de un punto sobre el modelo 3D y las coordenadas (r,c) del mismo punto sobre la imagen a proyectar. Con estos se consigue también, como en el apartado anterior, estimar la matriz de calibración que establezca una relación entre los puntos del modelo 3D y los píxeles de la textura. Hay que notar que cuanto más fidedigna sea la posición de los puntos calculados mejores resultados se obtienen en la superposición.

Para superponer la textura sobre el modelo lo que se hace es proyectar cada triángulo de los que esta formado el modelo 3D sobre la imagen a proyectar, el área de la textura que abarque el triángulo es la información, colorimétrica o térmica, asociada a ese triángulo.

Esto es una ventaja respecto de otros sistemas en los cuales se obtiene la información colorimétrica punto a punto, es decir, están limitados por la resolución geométrica ya que se obtiene el color

para cada punto geométrico necesario para la reconstrucción tridimensional. Ahora la resolución del color es independiente de la geometría y está supeditada a la resolución con que se obtenga la fotografía o la termografía. Se puede reducir todo lo que se quiera la resolución geométrica que la resolución de color no se verá afectada.

Existe un caso excepcional a la hora de estimar la matriz de calibración del sistema, el cual se produce cuando los puntos de calibración son coplanarios.

Mediante la aplicación propuesta se pueden proyectar texturas a modelos 3D y 2D, si bien en los modelos 2D se puede dar el caso de superponer una textura a un modelo 3D pero que la zona a proyectar sea aproximadamente plana, con lo cual sería una estimación 2D.

Para detectar si los puntos de control son coplanarios lo que se hace es calcular la matriz de varianza espacial [5] de los puntos de control; una vez obtenida se obtienen los autovalores de esa matriz. Con los autovalores hallados se puede extraer la conclusión de que si uno de ellos es bastante más pequeño que los otros dos, entonces los puntos de control están contenidos aproximadamente en un plano. Para medir este grado de coplanariedad se calcula el grosor del plano.

Una vez que se halla el grado de coplanariedad se realiza una estimación 3D o una estimación 2D según sea necesario.

En el caso de que se realice una estimación 2D pues se ha detectado que los puntos de control son coplanarios, existe la posibilidad de seleccionar los planos sobre los que se quiere proyectar la textura. Esto se consigue estimando la ecuación del plano que contiene a esos puntos coplanarios [5,8,10], de tal forma que los triángulos cuyos vértices disten una cierta distancia del plano estimado no serán proyectados sobre el modelo 3D.

El lenguaje utilizado para el desarrollo de la aplicación es el Lenguaje C. Para expresar el resultado se usa el lenguaje de modelado de realidad virtual (VRML), se ha utilizado por su sencillez y su flexibilidad. Para la correcta visualización del modelo 3D con su correspondiente información colorimétrica o térmica se hace uso del *software* Cosmo Player [11], que es un visualizador Web de entornos tridimensionales. Cosmo Player se integra perfectamente en los navegadores Web (Netscape, Internet Explorer, etc.).

## 4. IMPLANTACIÓN Y RESULTADOS

En este apartado se van a mencionar los elementos que forman parte del sistema. Los elementos que se enumeran han sido con los que se ha trabajado en profundidad para desarrollar las aplicaciones del sistema, no se mencionan los escáneres y cámaras que se han utilizados para comprobación de resultados.

- Fuente de iluminación para la adquisición tridimensional: el plano de iluminación se genera mediante un láser semiconductor LASIRIS, de 30° de ángulo de apertura y 670 nm de longitud de onda, dotado de un objetivo para la concentración del haz y una lente cilíndrica plano-convexa. El ajuste del dispositivo nos permite lograr un plano láser de 0,2 mm de espesor de traza.
- Fuente de iluminación para la adquisición colorimétrica: se utiliza un foco halógeno de intensidad regulable, 12V, 75W de potencia eléctrica y 38° de ángulo de apertura.
- Sistema de barrido: consta de una plataforma de alta precisión (sobre la cual se coloca la pieza) dotada de un eje de rotación y otro de traslación que asegura el movimiento relativo controlado entre la pieza y el plano de luz. Con este fin, se utiliza un sistema posicionador *Physik Instrumente* de dos ejes, uno de traslación, con una carrera de 600 mm, y otro de rotación que permite giros completos de 360°.
- Sistema de captación de imágenes colorimétricas: la captación de imágenes se puede realizar en el sistema tanto con una como con dos cámaras, si bien es preferible el segundo caso para reducir el tamaño de regiones desconocidas de la imagen. Todo ello depende del compromiso entre las prestaciones que se quiera obtener y el presupuesto del que se dispone. El sistema cuenta actualmente con dos captadores, una cámara de vídeo CCD marca Sony con su óptica asociada y una cámara de vídeo CV-M70 marca Jai con su óptica asociada.
- Sistema de captación de imágenes térmicas: la cámara termográfica utilizada es una *ThermaCAM SC 2000* de Flir System.
- Sistema de calibración: para realizar la calibración se utiliza una mira que se fija a la plataforma mediante tornillos, con formas geométricas cuadradas, que permite calibrar el sistema.
- Sistema informático: el sistema trabaja de forma adecuada en cualquier ordenador convencional dentro del entorno IBM

compatible que presente conexiones vía serie hacia la controladora de los motores. Puede resultar conveniente que permita el acceso a redes de cara a posibilitar múltiples y variadas aplicaciones en dicho entorno. El pc utilizado es un Pentium 450 MHz compatible con IBM.

El *software* se ha programado en Lenguaje C, utilizando el paquete Microsoft Developer Studio Visual C++ 6.0.

Para la visualización de los formatos VRML se utiliza el *software* Cosmo Player.

En la visualización y modificación de JPG's se usa el programa Paint.

Para seleccionar puntos de control del modelo 3D y obtener sus coordenadas (Xw,Yw,Zw) se aplicará el *software* RapidForm.

Como ejemplo de superposición de texturas se muestran las figuras 4 y 5 que corresponden a un cráneo y a la fachada de la iglesia de San Pablo en Valladolid respectivamente.



Figura 4.a Fotografía real del cráneo.



Figura 4.b Superposición de textura de color a un modelo 3D.



Figura 4.c Superposición de textura de color a un modelo 3D.

Las zonas de las que no se tiene información colorimétrica se dejan en un tono gris.



Figura 5.a. Superposición de textura de color a modelo 3D



Figura 5.a Fotografía real de San Pablo



Figura 5.b Superposición de textura de color a modelo 2D.

Por supuesto se puede superponer cualquier otra información de textura (captada mediante un dispositivo de tipo pinhole). Por ejemplo una termografía. En la figura 6 se muestra la proyección de una termografía de la iglesia de San Pablo.

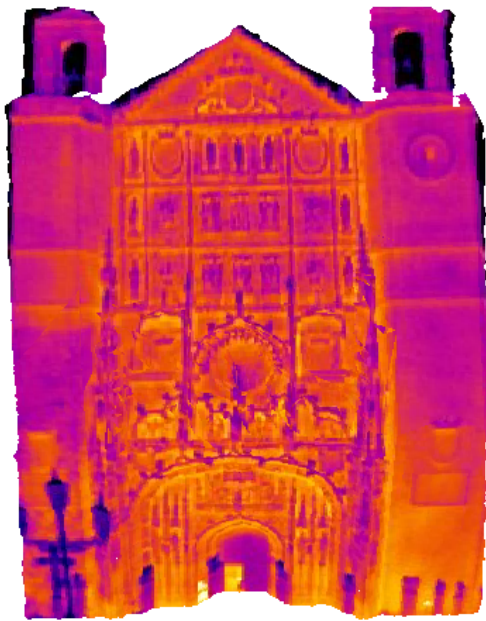


Figura 6 Superposición de termografía a modelo 2D

Se puede notar la sensación de la no verticalidad de las torres, pero esto es debido a que las aristas están definidas ahora por las zonas de calor, esto tiene su origen en la decoración que hay en la unión entre la parte central de la fachada y las torres, la cual da lugar a un cierto abombamiento que no es real.

## 5. CONCLUSIONES.

El sistema presentado se encuentra enmarcado dentro de las nuevas vías de obtención de información tridimensional, cromática y térmica de escenas.

Para comprobar la funcionalidad del método se han usado modelos 3D reconstruidos con diferentes escáneres que utilizan métodos para la reconstrucción geométrica diferentes, uno el del laboratorio de la ETSII de Valladolid que emplea el principio de triangulación activa por proyección de luz estructurada, y otros dos escáneres propiedad del Centro Tecnológico CARTIF, uno utiliza el principio de medición de tiempo de vuelo y el otro emplea el principio de triangulación activa por proyección de luz estructurada. La cámara termográfica también es propiedad de CARTIF. Las imágenes de color se han obtenido con una cámara fotográfica digital.

Se ha desarrollado un nuevo proceso para la captación de color de la escena; otros sistemas obtenían esta información punto a punto del plano iluminado por el láser. El proceso que se utiliza es la superposición de fotografías de la escena sobre el modelo tridimensional. Con este método se evita gran cantidad de tiempo necesario para la obtención de la información cromática, pues en otros sistemas

un plano de luz láser incide sobre el objeto y para obtener completamente esa información hay que barrer con la luz láser el objeto plano a plano. Además con este método se consigue mayor resolución en la información colorimétrica pues las cámaras fotográficas actuales están dotadas de gran resolución.

Los resultados obtenidos con los diferentes escáneres han sido satisfactorios, con lo que se puede concluir que el método de superposición de texturas es válido para cualquier tipo de escáner y también es independiente de la forma de obtención de las informaciones colorimétricas y térmicas.

La limitación del método presentado radica en la precisión con la que se obtienen los puntos de control para estimar la matriz de calibración, pues hay que seleccionar el mismo punto en el modelo tridimensional y en la textura, este proceso debe ser realizado de forma manual por el usuario, con la consiguiente posibilidad de error. La determinación automática de estos pares de puntos constituye una de las actuales líneas de investigación.

## Agradecimientos

Los trabajos de investigación realizados han sido financiados parcialmente por la Secretaría de Estado de Infraestructuras del Ministerio de Fomento (proyecto FO-C-2002-4) y por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (proyecto DPI2002-04377-C02-01).

## Referencias

- [1] A. Baena Alonso. "Alineamiento automático y robusto de nubes de puntos. Aplicación a la reconstrucción completa de objetos tridimensionales". *Proyecto fin de carrera, E.T.S. de Ingenieros Industriales*. Valladolid. Septiembre 2000.
- [2] Sergio Conde Sardón. "Actualización de un sistema de propósito general para la medición tridimensional y cromática de piezas e incorporación de nuevos procedimientos para la medición de color aptos para uso industrial". *Proyecto fin de carrera, E.T.S. de Ingenieros Industriales*. Valladolid. Septiembre 2003.
- [3] Daniel Galindo Merchán. "Implantación definitiva de un sistema robusto para la obtención sistemática de la información tridimensional y colorimétrica. Apto para su uso industrial". *Proyecto fin de carrera, E.T.S. de Ingenieros Industriales*. Valladolid. Julio 1997.
- [4] J. Gómez García-Bermejo. "Obtención de las informaciones tridimensional y



- colorimétrica. Caracterización óptica de superficies”. *Tesis doctoral. Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática. E.T.S. de Ingenieros Industriales. Valladolid. Mayo 1995.*
- [5] Mariano Martín Nevado. “Modelado del interior de edificaciones mediante robots Móviles”. *Proyecto fin de carrera, E.T.S. de Ingenieros Industriales. Valladolid. Julio 2002.*
- [6] Lh. Masmoudi, J. López Coronado y J. Gómez García-Bermejo. “Calibración precisa de cámaras con modelo de distorsión y reconstrucción robusta de coordenadas tridimensionales”. *Informática y Automática, Vol 28-3/1995. Universidad de Valladolid.*
- [7] Manuel Merino Laguillo. “Actualización de la arquitectura de un sistema de visión para la medición industrial de piezas tridimensionales y rediseño del módulo de reconstrucción y visualización”. *Proyecto fin de carrera, E.T.S de Ingenieros Industriales. Valladolid. Noviembre 2000.*
- [8] Murray R. Spiegel. “Teoría y problemas de Probabilidad y Estadística”. *Editorial Mc Graw-Hill. 1988.*
- [9] “VRML Interactive Tutorial”.  
<http://www.lighthouse3d.com/vrml/tutorial/>  
*Enero 2004.*
- [10] Mathworld Wolfram. “Cubic Equation”.  
<http://mathworld.wolfram.com/CubicEquation.html> *Diciembre 2003.*
- [11] <http://www.cosmosoftware.com>