



# ARCHIVO DEL LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

LABORATORY FOR THE GEOMETRIC DOCUMENTATION OF  
HERITAGE'S ARCHIVE

Sección de artículos / *Papers section*

17

<b>Información general / General information</b>		
TÍTULO:	Ajuste radiométrico de texturas fotográficas en modelos virtuales y nubes de puntos de elementos patrimoniales	:TITLE
AUTORES:	Álvaro RODRÍGUEZ MIRANDA José Manuel VALLE MELÓN Ane LOPETEGI GALARRAGA	:AUTORS
FECHA:	septiembre 2007 / <i>September 2007</i>	:DATE
NUMERO:	LDGP_art_017	:NUMBER
IDIOMA:	español / <i>Spanish</i>	:LANGUAGE

<b>Resumen</b>	
TITULO:	Ajuste radiométrico de texturas fotográficas en modelos virtuales y nubes de puntos de elementos patrimoniales
RESUMEN:	<p>En la representación de elementos patrimoniales, se dispone de una gran variedad de productos gráficos que incorporan textura fotográfica, como las ortofotografías, los modelos virtuales o las nubes de puntos. La imagen fotográfica proporciona una gran ayuda visual a la interpretación de los objetos, así como un avance muy significativo en la propia documentación; sin embargo, las variaciones de iluminación que se producen entre tomas, afectan negativamente a la continuidad entre zonas adyacentes, lo que repercute en el aspecto estético, siendo necesario incorporar algoritmos de ajuste que permitan minimizar estas diferencias.</p> <p>Existen múltiples soluciones posibles ya que la utilidad posterior del resultado, los datos de partida disponibles y el proceso de trabajo pueden introducir variaciones considerables. En este caso, se ha desarrollado una metodología orientada a la mejora estética con fines a un análisis visual posterior frente a planteamientos que buscan conservar parámetros físicos con vista a estudios cualitativos. Al no contar con zonas de solape, los ajustes entre fotografías se calculan mediante parámetros estadísticos.</p>
DESCRIPTORES NATURALES:	Ajuste radiométrico, modelos virtuales, ortofotografías, nubes de puntos, patrimonio
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesouro UNESCO [ <a href="http://databases.unesco.org/thessp/">http://databases.unesco.org/thessp/</a> ])  Fotografía, Infografía, Patrimonio Cultural

<b>Abstract</b>	
TITLE:	Radiometric balance of photographic textures in virtual models and point clouds of heritage elements
ABSTRACT:	<p>When facing the representation of heritage elements, there is at our disposal a wide range of graphical products which incorporate photographic texture, such as orthophotographs, virtual models or point clouds. Photographic image supplies which help in visual interpretation, just as a big progress on the documentation in itself. Nonetheless, the lighting changes among the pictures affect negatively the continuity between adjacent areas which has repercussion on the aesthetic appearance, therefore, techniques to reduce these differences must be introduced.</p> <p>There are several possible solutions according to the needs, the source data and the working process. In this case, the methodology aims at visual balancing rather than calculate real values, which are interesting in qualitative analysis. As there is no overlapping area the balance between pictures has to be done by means of statistical parameters.</p>
NATURAL KEYWORDS:	Radiometric balance, virtual models, orthophotographs, point clouds, heritage
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO's thesaurus [ <a href="http://databases.unesco.org/thesaurus/">http://databases.unesco.org/thesaurus/</a> ])  Photography, Computer Graphics, Cultural Heritage

<b>Publicación / Publication</b>		
Comunicación en un congreso / <b>Lecture in a congress</b>		
NOMBRE:	<b>7ª Semana Geomática</b>	:NAME
LUGAR:	Barcelona (España) / <b>Barcelona (Spain)</b>	:PLACE
FECHA:	20 –23 septiembre 2007 / <b>September 20 – 23 2007</b>	:DATE
ACTAS:	No disponibles / <b>not available</b>	:PROCEEDINGS
FECHA:		:DATE
WEB:		:WEB
NOTAS:	Este artículo se corresponde con el cartel LDGP_cart_004 donde se encuentra información principal en español e inglés/ <b>The poster LDGP_cart_004 is related to this paper and it is written both in Spanish and English</b>	:NOTES
Artículo en revista / <b>Journal paper</b>		
NOMBRE:		:NAME
EDITOR:		:EDITOR
NUMERO:		:NUMBER
FECHA:		:DATE
ISBN:		:ISBN
ISSN:		:ISSN
WEB:		:WEB
PAGINAS:		:PAGES
NOTAS:		:NOTES
Otro / <b>Other</b>		
DETALLES:		:DETAILS

<b>Derechos / Rights</b>		
AUTORES:	Está permitido citar y extraer brevemente el texto, siempre que la fuente sea claramente identificada. / <b>Permission is granted to quote short excerpts from this text, provided that the source of such material is fully acknowledged.</b>	:AUTORS
EDITOR:	Los artículos correspondientes a los pósteres se recogieron en un CD con número de registro pero sin ninguna nota limitando derechos / <b>Papers related with the posters were collected in a CD which had a register number but no note about rights of the content.</b>	:PUBLISHER
OTROS:	Las imágenes y planos corresponden a proyectos de documentación realizados por encargo y, en consecuencia, su uso comercial puede infringir derechos de explotación de los promotores. / <b>Pictures and plans come for the documentation of commissioned projects, therefore, their use for comercial purposes may be an infringement of the promoters rights.</b>	:OTHERS

<b>Renuncia de responsabilidad / Disclaimer</b>		
DESCARGO:	El uso de la información contenida en este documento se hará bajo la completa responsabilidad del usuario. / <b>The use of the information contained in this document will be under the exclusive responsibility of the user.</b>	:DISCLAIMER

<b>Estructura / Framework</b>		
ID PERMANENTE:	<a href="http://addi.ehu.es/handle/10810/6215">http://addi.ehu.es/handle/10810/6215</a>	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>ldgp_art_017_ajradiometrico.pdf</b>: este documento / <b>this document.</b></li> <li>• <b>ldgp_car_004_ajradiometrico.pdf</b>: cartel / <b>poster.</b></li> </ul>	:FRAMEWORK

<b>Cita completa recomendada / Recommended full citation</b>		
CITA:	RODRÍGUEZ MIRANDA, Álvaro. VALLE MELÓN, José Manuel. LOPETEGI GALARRAGA, Ane. Ajuste radiométrico de texturas fotográficas en modelos virtuales y nubes de puntos de elementos patrimoniales. En 7ª Semana Geomática. Barcelona (España), 20 –23 septiembre 2007	:CITATION

## AJUSTE RADIOMÉTRICO DE TEXTURAS FOTOGRÁFICAS EN MODELOS VIRTUALES Y NUBES DE PUNTOS DE ELEMENTOS PATRIMONIALES

Álvaro Rodríguez Miranda ([fgxromia@vc.ehu.es](mailto:fgxromia@vc.ehu.es))  
José Manuel Valle Melón ([jm.valle@ehu.es](mailto:jm.valle@ehu.es))  
Ane Lopetegi Galárraga ([ane.lopetegui@ehu.es](mailto:ane.lopetegui@ehu.es))  
Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio  
(Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea).  
web: <http://www.ldgp.es>

**Palabras clave:** ajuste radiométrico, modelos virtuales, ortofotografías, nubes de puntos, patrimonio.

### **Resumen**

En la representación de elementos patrimoniales, se dispone de una gran variedad de productos gráficos que incorporan textura fotográfica, como las ortofotografías, los modelos virtuales o las nubes de puntos. La imagen fotográfica proporciona una gran ayuda visual a la interpretación de los objetos, así como un avance muy significativo en la propia documentación de los mismos; sin embargo, las variaciones de iluminación que se producen entre las diferentes tomas, afectan negativamente a la continuidad entre zonas adyacentes, lo que repercute en el aspecto estético, siendo necesario incorporar algoritmos de ajuste que permitan minimizar estas diferencias.

En este texto se presenta un método desarrollado para realizar dicho ajuste, que ha sido aplicado en varios proyectos con resultados satisfactorios. El procesamiento de las imágenes se realiza por métodos automáticos debido a la gran cantidad de información a manipular, formada por miles, e incluso millones de elementos en el caso de nubes de puntos.

### **1 Introducción**

La incorporación de textura fotográfica real a los modelos geométricos tridimensionales permite, no sólo mejorar el aspecto estético de los mismos, sino que además proporciona información cualitativa sobre la superficie del objeto, permitiendo registrar -y por tanto difundir- aparejos de fábrica, revestimientos murarios e incluso grabados y pinturas.

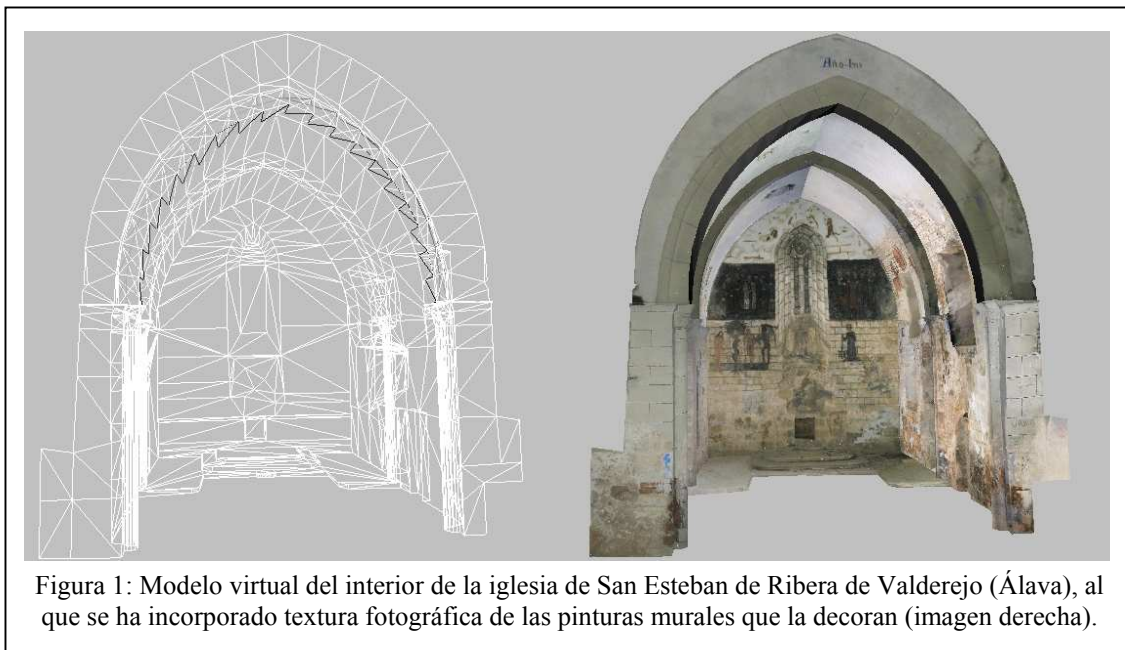


Figura 1: Modelo virtual del interior de la iglesia de San Esteban de Ribera de Valderejo (Álava), al que se ha incorporado textura fotográfica de las pinturas murales que la decoran (imagen derecha).

La asignación de estas texturas requiere básicamente de dos fases: una primera de tratamiento geométrico de las imágenes y una posterior de ajuste radiométrico.

El tratamiento geométrico consiste, básicamente, en la orientación de la fotografía y la rectificación de la imagen para adaptarla a su geometría real sobre el modelo. En la orientación intervendrá una serie de puntos de apoyo, cuyo número dependerá del método de cálculo elegido: así con cámaras calibradas, se pueden obtener resultados a

partir de 3 puntos, mientras que con cámaras no métricas y algoritmos tipo DLT (Transformación Lineal Directa) será necesario un mínimo de 6.

Una vez orientada la fotografía, se seleccionan los elementos superficiales del modelo tridimensional que aparecen correctamente representados y se proyectan sobre la imagen para capturar la textura, teniendo en cuenta que se ha de adaptar la textura a la forma real del objeto, es decir, se ha de corregir la perspectiva, lo que generalmente requiere una transformación proyectiva de ocho parámetros. Si el modelo geométrico está formado por mallas triangulares debe reducirse a una transformación afin de seis parámetros, ya que sólo pueden obtenerse dos parámetros por vértice.

Resuelto el problema geométrico se ha de abordar el ajuste radiométrico, a este respecto existen dos posibilidades, condicionadas por el uso posterior que se pretenda realizar de los modelos, por un lado estaría la explotación visual de los modelos y por otro la extracción de información a través del tratamiento matemático de los niveles digitales. En este artículo nos referiremos a la primera de las aplicaciones indicadas.

El principal problema que surge al generar modelos con ortorectificación de sus texturas reside en las diferencias debidas a la diferente iluminación y posición del punto de vista respecto al objeto. Este inconveniente se podría solventar obteniendo las imágenes que recubren el objeto patrimonial en un lapso breve de tiempo, como en el ejemplo de la figura 2.

Según este planteamiento, la solución no es única ya que cualquier otra serie de tomas realizadas en otro momento del día, habría proporcionado un modelo diferente pero con la misma validez. Evidentemente, el problema surgirá cuando se cuente con fotografías tomadas bajo diferentes condiciones de iluminación. En este caso, será necesario un procedimiento que permita transformar los niveles digitales. Una vez transformadas todas las imágenes a unas condiciones comunes, volveríamos a tener una situación válida.

Si analizamos un poco más la imagen del ejemplo (figura 2) veremos que presenta una iluminación direccional (solar) que produce diferencias de intensidad según la orientación de las superficies y sombras proyectadas. Esta situación debe ser evitada ya que puede inducir a errores de interpretación del edificio o, cuando menos, dificultar la identificación de objetos según estén en zonas más o menos iluminadas. La situación ideal corresponderá a una iluminación difusa que afecte por igual a todas las direcciones y que no proyecte sombras, similar a la que se produce un día nublado. Podría parecer que de esta manera se reduce el realismo de los modelos pero es justo al contrario, a un modelo con iluminación difusa siempre se le puede añadir artificialmente una fuente de luz direccional e incluso hacerla que varíe de forma dinámica, pero un modelo cuyas texturas ya contengan una dirección de iluminación es muy difícil de modificar.

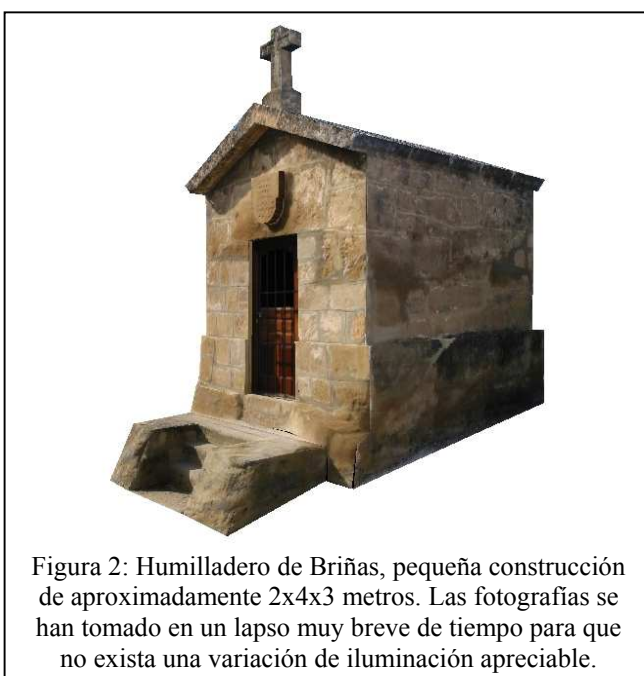


Figura 2: Humilladero de Briñas, pequeña construcción de aproximadamente 2x4x3 metros. Las fotografías se han tomado en un lapso muy breve de tiempo para que no exista una variación de iluminación apreciable.

Las condiciones meteorológicas tampoco son tan exigentes, según se verá más adelante, los algoritmos de transformación son bastante flexibles y no suele haber problema con las fotografías de días soleados siempre que se eviten las sombras proyectadas.

La necesidad de realizar correcciones radiométricas en modelos virtuales es tratada por numerosos autores, entre los que se puede citar a [1], [4], [5], [6], [7], ... . En estas referencias se encuentran indicaciones sobre las correcciones radiométricas, que abarcan desde los autores que las realizan sin explicitar como, los que realizan los ajustes de forma manual (por cierto, la situación más habitual entre los productos presentados fuera de ámbitos académicos), hasta los que sustentan sus métodos en los utilizados en fotogrametría aérea para la formación de mosaicos fotográficos o bien en el análisis multitemporal de imágenes de teledetección.

Seguidamente se expone el método seguido de ajuste radiométrico de texturas de modelos virtuales, distinguiendo los que delimitan las formas por medio superficies y los formados por nubes de puntos.



## 2 Ajuste radiométrico en modelos virtuales de superficies

Como se ha indicado en la introducción, la metodología de trabajo utilizado consiste en generar, en primer lugar, el modelo geométrico de superficies, posteriormente, y tras analizar las fotografías, se seleccionan las superficies que obtendrán la textura de cada una, procediendo a su orientación y rectificación. Como puede verse en la figura 3, en esta forma de proceder no existe solape entre las fotografías, es decir, los elementos obtienen la textura de una sola imagen, por lo que el método de ajuste no puede analizar la diferencia entre las zonas comunes sino que debe basarse en el cálculo de parámetros estadísticos que describan de forma general cada imagen.

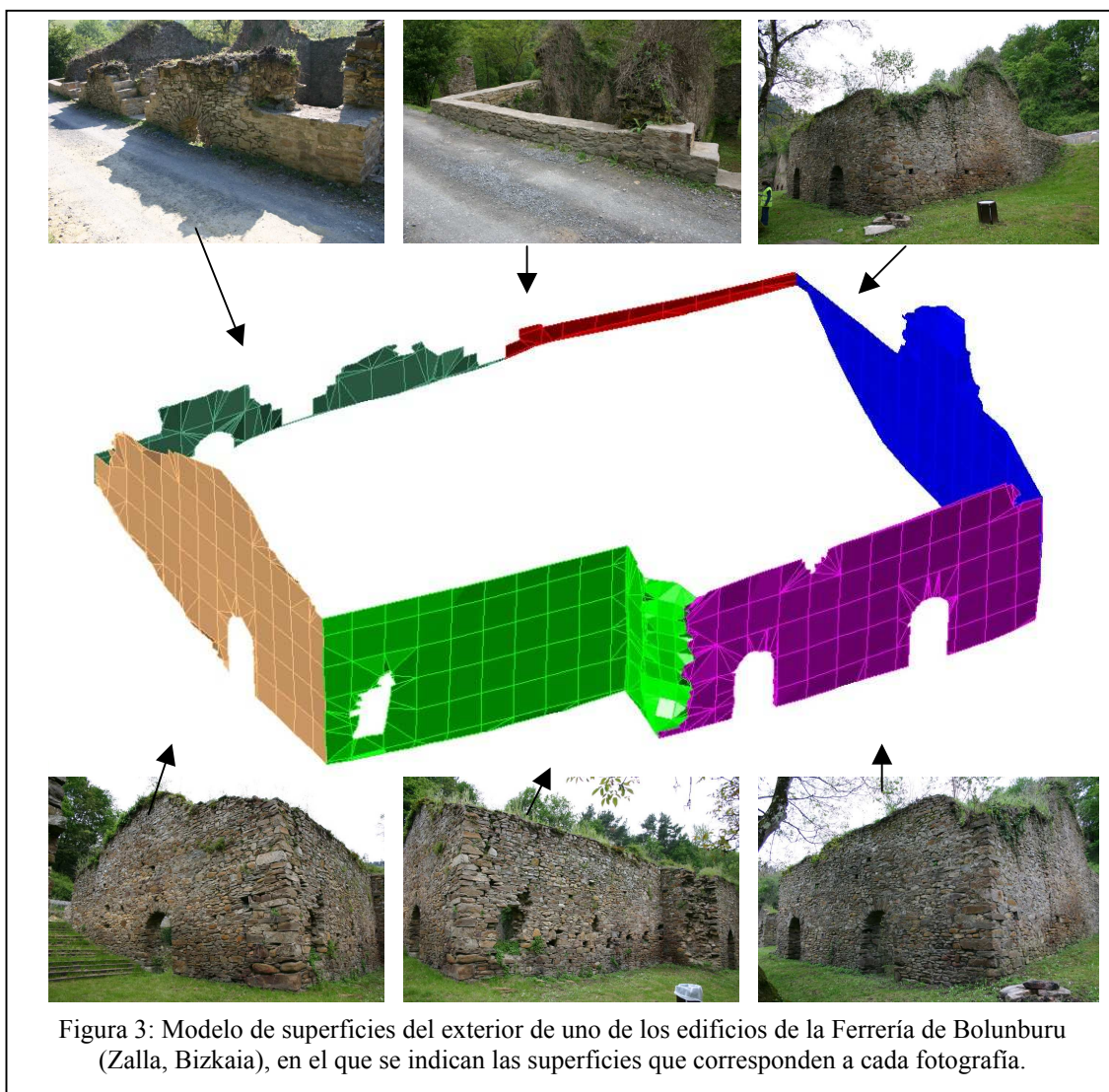
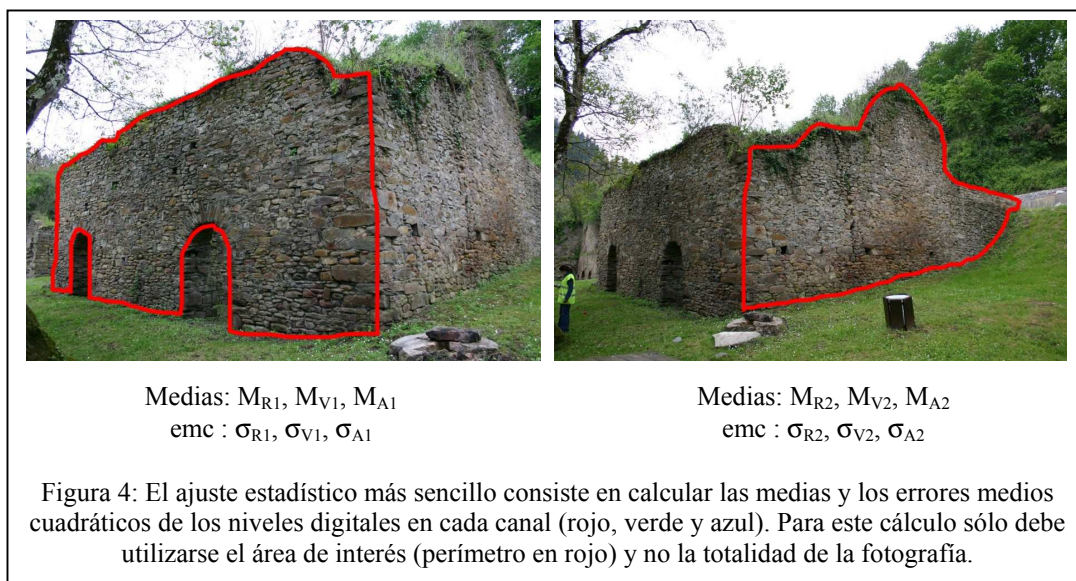


Figura 3: Modelo de superficies del exterior de uno de los edificios de la Ferrería de Bolunburu (Zalla, Bizkaia), en el que se indican las superficies que corresponden a cada fotografía.

Entre los métodos más habituales en la comparación radiométrica [8], se ha optado por la normalización de medias y desviaciones típicas, según el cual: conociendo las medias  $M_R$ ,  $M_V$ ,  $M_A$  en los tres canales (rojo, verde y azul) y sus desviaciones típicas  $\sigma_R$ ,  $\sigma_V$ ,  $\sigma_A$ , en dos fotografías, se puede calcular el valor que correspondería a un nivel digital ( $N_R$ ,  $N_V$ ,  $N_A$ ) en las condiciones de iluminación de una imagen a partir de sus valores en la otra según la siguiente expresión:

$$\begin{cases} N_{R1} = M_{R1} + \frac{(N_{R2} - M_{R2}) \cdot \sigma_{R1}}{\sigma_{R2}} \\ N_{V1} = M_{V1} + \frac{(N_{V2} - M_{V2}) \cdot \sigma_{V1}}{\sigma_{V2}} \\ N_{A1} = M_{A1} + \frac{(N_{A2} - M_{A2}) \cdot \sigma_{A1}}{\sigma_{A2}} \end{cases} \quad (1)$$

Nótese que el cálculo no se realiza con toda la imagen, sólo se utilizan las celdillas de las zonas de interés (perímetros en rojo).



Tratando de realizar un ajuste empírico que proporcione, con la mayor sencillez posible, un buen efecto visual, se utilizan los canales (Rojo, Verde, Azul) para el ajuste a pesar de que, la bibliografía [3], suele preferir el uso de (Intensidad, Tono, Saturación).

Para la realización práctica del ajuste, en primer lugar, se define cuál va a ser la referencia (o referencias si se existen varias zonas que se van a ajustar por separado), para lo cual se ha de seleccionar dentro de una fotografía un área que se considere representativa. Es interesante que ésta tenga cierta variación ya que así se aumentan las desviaciones típicas lo que proporciona un mayor rango de valores.





A este respecto, es muy útil repetir una misma zona de prueba del proyecto con diferentes referencias y seleccionar la que ofrezca un mejor resultado visual. Como ejemplo, las pruebas desarrolladas en una de las torres circulares del Castillo de Cornago en La Rioja, que puede verse en la figura 5.

Una vez seleccionada la referencia que proporciona el resultado deseado se aplica al conjunto del modelo, en el siguiente ejemplo, figura 6, se presenta una torre antes y después de realizado el ajuste radiométrico.



Un aspecto a tener en cuenta es que la unidad de trabajo es la imagen fotográfica, es decir, que todas las superficies (triángulos, cuadriláteros, etc.), que se proyecten sobre la misma fotografía deben utilizar los mismos valores de medias y errores medios cuadráticos.

Sin embargo, no siempre es posible disponer de una iluminación homogénea en el registro de los elementos patrimoniales, lo que supone una limitación al algoritmo anterior. Por ejemplo, en el interior de la misma torre (figura 7), podemos ver cómo la parte superior recibe más luz que la inferior. Al intentar ajustar tres pasadas de fotografías a diferentes alturas es posible apreciar un efecto de bandedado debido a que, si bien la media y las varianzas de cada tira son iguales, la distribución de los niveles digitales hace que las partes superiores sean más claras que las inferiores. Un caso similar se puede presentar en elementos cilíndricos en los que el ángulo de incidencia solar varía continuamente a lo largo de su superficie.

Con el fin de solventar esta contingencia, el gradiente que afecta a la iluminación es cuantificado y recogido en un polinomio que se añade a la ec. 1, en el que intervienen las coordenadas de la celdilla ( $f$ : fila,  $c$ : columna) en la fotografía origen de la que se extrae la textura (antes de su rectificación para adaptarla a su geometría real) y los parámetros ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) que se deberán calcular, quedando la expresión de siguiente manera:

$$\begin{cases} N_{R1} = M_{R1} + \frac{(N_{R2} - M_{R2}) \cdot \sigma_{R1}}{\sigma_{R2}} + A_{R21}f + B_{R21}c + C_{R21} \\ N_{V1} = M_{V1} + \frac{(N_{V2} - M_{V2}) \cdot \sigma_{V1}}{\sigma_{V2}} + A_{V21}f + B_{V21}c + C_{V21} \\ N_{A1} = M_{A1} + \frac{(N_{A2} - M_{A2}) \cdot \sigma_{A1}}{\sigma_{A2}} + A_{A21}f + B_{A21}c + C_{A21} \end{cases} \quad (2)$$

Nótese que el modelo polinómico utilizado corresponde a un plano, es decir, se supone que una vez realizado el ajuste de medias y desviaciones anterior las diferencias se distribuirán sobre la fotografía a ajustar de forma lineal (se podrían utilizar polinomios de mayor grado si se considerase conveniente).

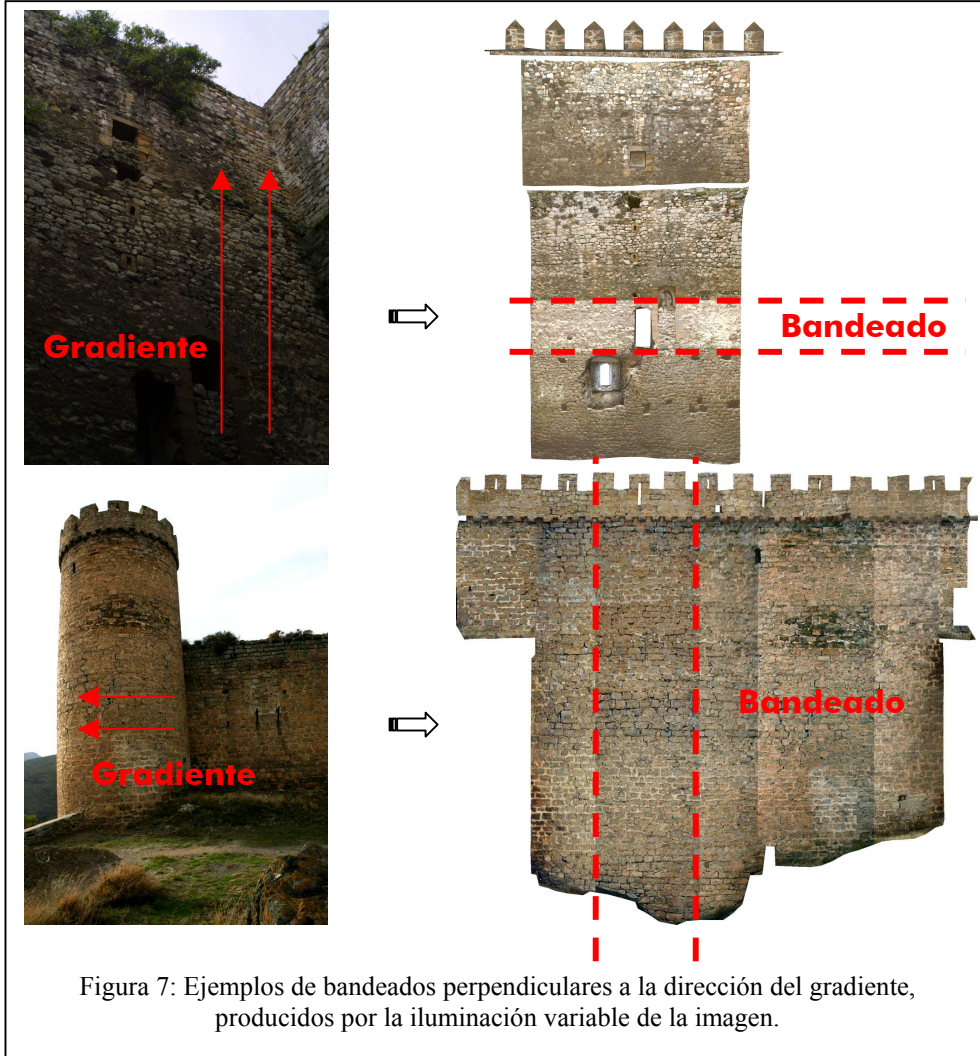


Figura 7: Ejemplos de bandeados perpendiculares a la dirección del gradiente, producidos por la iluminación variable de la imagen.

En el caso que nos ocupa y para calcular los parámetros (A, B, C) se repasa la imagen a ajustar, cada celdilla (de la zona de interés) aporta tres ecuaciones (una por canal) que se tratarán de forma independiente, por ejemplo, la siguiente corresponde al canal rojo:

$$\begin{bmatrix} f & c & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{R21} \\ B_{R21} \\ C_{R21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{R1} - M_{R1} - \frac{(N_{R2} - M_{R2})\sigma_{R1}}{\sigma_{R2}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Cada celdilla proporciona una nueva fila a la primera matriz mediante sus coordenadas ( $f$ ,  $c$ ), las incógnitas se mantienen para toda la imagen, mientras que el término de la derecha depende de los valores estadísticos previamente calculados y del nivel digital de la celdilla. Este sistema es del tipo  $Ax = l + v$ , cuya solución por mínimos cuadrados es la conocida expresión:  $x = (A^T A)^{-1} A^T l$ .

En realidad, ni siquiera es necesario almacenar grandes matrices para efectuar este cálculo ya que si se llama  $-s-$  a los elementos que van quedando en el término de la derecha y  $-n-$  al número total de celdillas a analizar, las matrices resultantes son:

$$A^T A = \begin{bmatrix} \sum f^2 & \sum fc & \sum f \\ \sum fc & \sum c^2 & \sum c \\ \sum f & \sum c & n \end{bmatrix}, \quad A^T l = \begin{bmatrix} \sum fs \\ \sum cs \\ \sum s \end{bmatrix} \quad (4)$$

En la siguiente imagen, (figura 8) puede verse el resultado de aplicar la corrección de gradiente en un modelo parcial de una torre cilíndrica:

### 3 Ajuste radiométrico de nubes de puntos

Los modelos tridimensionales formados por nubes de puntos procedentes de escáneres tridimensionales constituyen, en algunos casos, una alternativa a los modelos tridimensionales delimitados por superficies. También en este caso se debe considerar el ajuste radiométrico de los colores de cada uno de los puntos.

Para adaptar las nubes de puntos al procedimiento anteriormente descrito, éstas no son capturadas directamente con textura fotográfica o coloreadas de forma automática, sino que interesa poder trabajar con la nube de puntos para separar los conjuntos de puntos que van a proyectarse en cada fotografía.

El proceso comenzará por seleccionar las fotografías que recubran todo el objeto a documentar, posteriormente se dividirá la nube de puntos en los diferentes subconjuntos que se colorearán por separado y se aplicará el proceso de orientación y asignación de color con cada imagen.

Al igual que con los modelos virtuales, el proceso de coloreado de la nube de puntos consta de dos fases: en la primera se debe orientar la fotografía mediante un conjunto de puntos de apoyo, proyectándose posteriormente los puntos seleccionados sobre la imagen para dotarlos de color.

Para el cálculo de las medias y desviaciones se pueden utilizar los niveles digitales que se van asignando a los puntos en vez de analizar las filas y columnas de la fotografía.

Una vez que se dispone de los diferentes conjuntos coloreados se unen en un solo fichero. Al disponer de medias y desviaciones de cada conjunto de manera independiente, al rescribir los datos en éste fichero, se van escalando los niveles de Rojo, Verde y Azul utilizando la ecuación 1.



Figura 8: Modelo parcial de una torre cilíndrica con ajuste de medias y desviaciones (a la izquierda) y con el mismo ajuste pero además incluyendo el cálculo del gradiente (a la derecha), se puede apreciar una reducción del efecto de bandeo y, por lo tanto, una mayor continuidad en la textura.

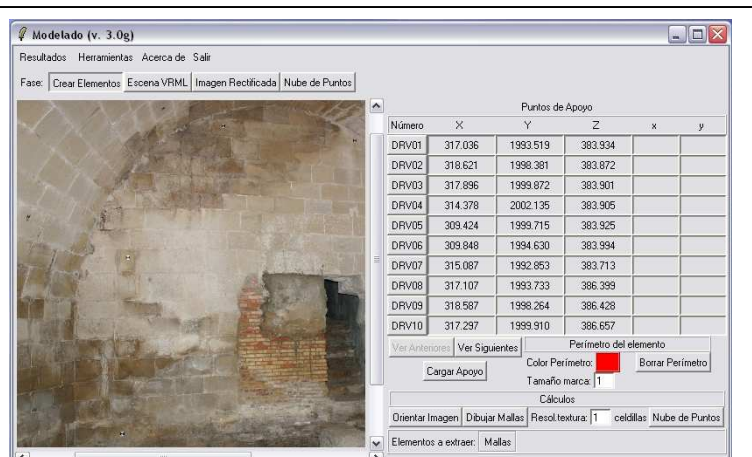


Figura 9.- Proceso de orientación y asignación de color al modelo del Cubo del Revellín en Logroño (La Rioja).





Figura 10.- Archivo unificado de nube de puntos con medias y desviaciones típicas ajustadas. Cubo del Revellín (Logroño).

Como en el caso anterior, el resultado suele ser aceptable siempre que se consiga una iluminación homogénea, pero cuando esto no es posible hay que volver a recurrir al cálculo de gradientes.

Por ejemplo, en el proyecto al que se refiere la figura 10, también se debía documentar una galería subterránea que carecía de iluminación propia. Las imágenes fotográficas que se obtuvieron poseían una iluminación muy variable.

Al igual que en el caso anterior, se podría calcular la corrección por gradiente a través de las filas y columnas de las imágenes fotográficas, pero dado que la variación de intensidad sobre las fotografías seguía un patrón algo más complejo, preferimos intentar modelarla en el espacio tridimensional, es decir, que el polinomio de corrección se apoyaría sobre las coordenadas  $(x,y,z)$  de los puntos en vez de sobre su representación (fila, columna) sobre la fotografía.

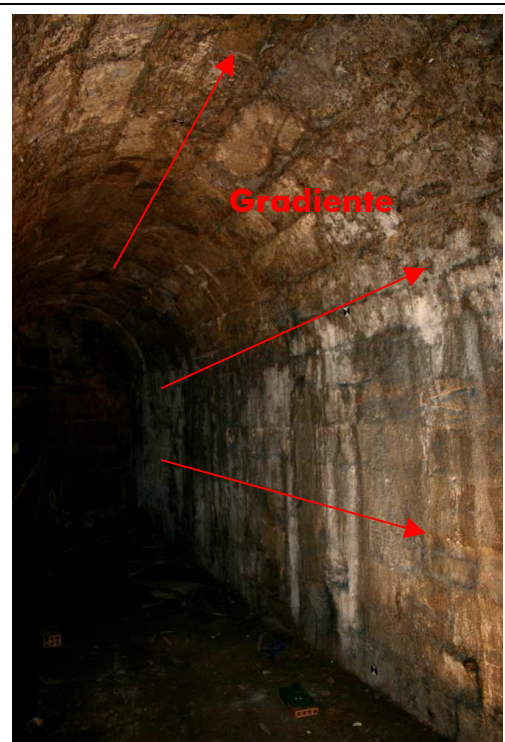


Figura 11.- Fotografía de la galería, en la que se aprecia un gradiente de tipo radial.



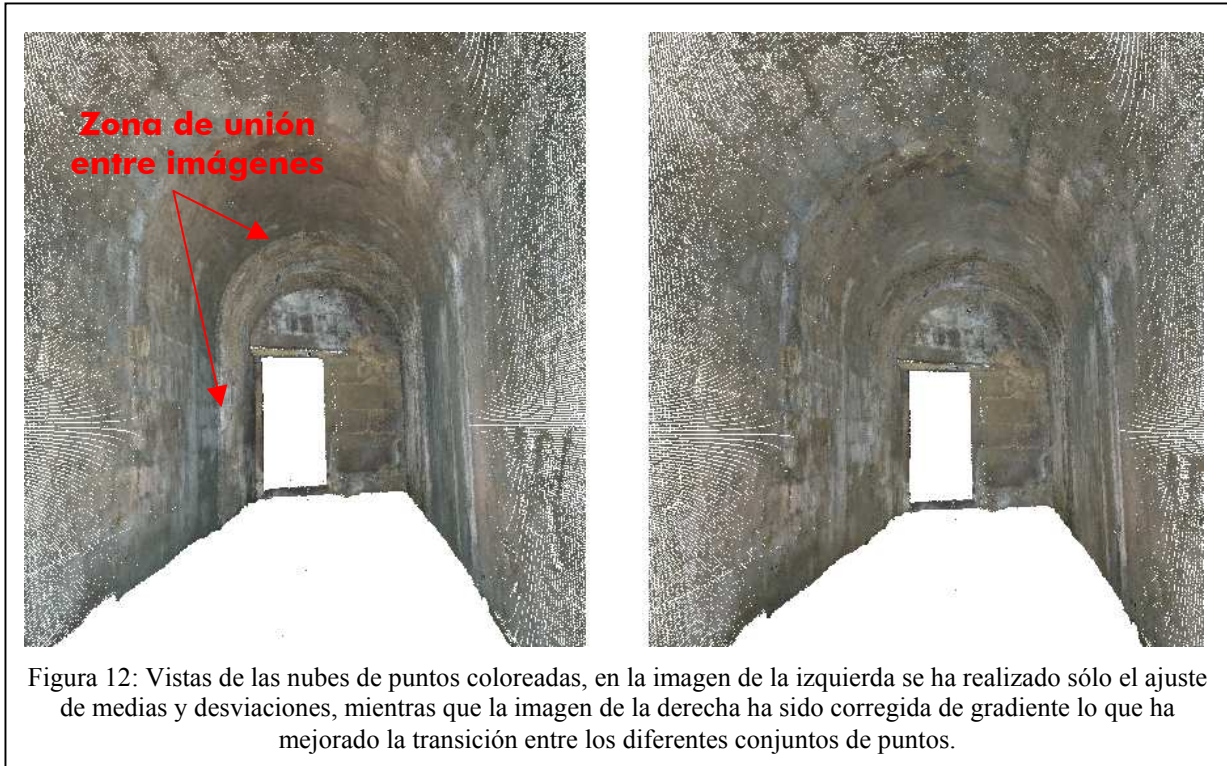
Así, la nueva versión de la ecuación 2, sería:

$$\begin{cases} N_{R1} = M_{R1} + \frac{(N_{R2} - M_{R2}) \cdot \sigma_{R1}}{\sigma_{R2}} + A_{R21}x + B_{R21}y + C_{R21}z + D_{R21} \\ N_{V1} = M_{V1} + \frac{(N_{V2} - M_{V2}) \cdot \sigma_{V1}}{\sigma_{V2}} + A_{V21}x + B_{V21}y + C_{V21}z + D_{V21} \\ N_{A1} = M_{A1} + \frac{(N_{A2} - M_{A2}) \cdot \sigma_{A1}}{\sigma_{A2}} + A_{A21}x + B_{A21}y + C_{A21}z + D_{A21} \end{cases} \quad (5)$$

Este conjunto de ecuaciones se resuelve de forma similar a la comentada en el apartado anterior y permite recuperar las tres series de parámetros (A, B, C, D) que corresponden a cada canal cromático.

$$A^T A = \begin{bmatrix} \sum x^2 & \sum xy & \sum xz & \sum x \\ \sum xy & \sum y^2 & \sum yz & \sum y \\ \sum xz & \sum yz & \sum z^2 & \sum z \\ \sum x & \sum y & \sum z & n \end{bmatrix}, \quad A^T l = \begin{bmatrix} \sum xs \\ \sum ys \\ \sum zs \\ \sum s \end{bmatrix} \quad (6)$$

En las siguientes imágenes puede verse el efecto de esta corrección sobre el modelo final.



#### 4 Conclusiones

Se ha descrito un proceso de ajuste radiométrico de texturas fotográficas tanto para iluminación homogénea como en el caso de que existan variaciones de iluminación, donde se recurre al cálculo de gradientes. Para su cálculo, se han considerado dos posibilidades: realizarlo sobre las fotografías, o bien en el espacio tridimensional de los objetos, ambas son utilizables tanto en nubes de puntos como para superficies malladas. El ajuste se realiza sobre la totalidad de la textura ya que no existen zonas de solape.

El método utilizado procede del estudio multitemporal de imágenes de satélite y se ha venido aplicando desde los inicios de los análisis de imágenes Landsat MSS, de hecho, su uso era tan generalizado que no faltaban las críticas. Puede ser interesante revisar lo que a este respecto se exponía ya en 1997 [2] sobre el problema de la “normalización radiométrica” y analizarlo según las necesidades de la documentación del patrimonio:

- a) Normalmente la normalización se ha limitado a un ajuste empírico (sin base física) de medias y varianzas.
- b) No se tiene en cuenta el efecto en la normalización (de nubes o) de diferencias en el contenido de las imágenes.
- c) Solamente el ajuste de media y varianza no suele dar buenos resultados de continuidad entre imágenes por lo que es necesario incorporar procesos adicionales.
- d) Al utilizar una única imagen de referencia, las imágenes que no son adyacentes van acumulando errores según se van encadenando ajustes.
- e) No se suele contar con criterios para la selección de la imagen de referencia.

El punto a) se refiere a que la aceptación se hace utilizando exclusivamente criterios visuales y no se tiene en cuenta el significado físico de los niveles digitales. En nuestro caso el objetivo del ajuste es un producto con calidad visual por lo que, en cierto modo, ratifica su uso. Sin embargo, no se debe olvidar que los elementos patrimoniales son susceptibles de análisis cualitativos (clasificación de tipos de material, búsqueda automática de patologías, ...), en cuyo caso, habría que revisar este criterio.

Las correcciones de gradiente responderían al punto c), mientras que las pruebas previas en las que se analizan distintas referencias sobre una muestra para elegir el mejor resultado corresponderían al punto e). Por otro lado, nada obliga a utilizar una única referencia para todo el elemento patrimonial, pudiendo mitigar en parte el efecto citado en d). Finalmente, al no utilizar la totalidad de las fotografías sino sólo la zona de interés, se reduce lo expuesto en b).

La aplicación práctica de esta propuesta en diversos proyectos, ha demostrado la efectividad de la misma para su utilización en documentación y representación de elementos patrimoniales, suponiendo una vía de investigación para su ampliación al uso de otros tipos de elementos patrimoniales.

## **Bibliografía**

- [1] El-Hakim S., Gonzo L., Picard M., Giraldi S., Simoni A., 2003. Visualization of Frescoed Surfaces: Buonconsiglio Castle- Aquila Tower, “Cicle of the Months”. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (Tarasp, Switzerland) Vol XXXIV, part 5/W10.
- [2] Guidon B., 1997. Assessing the Radiometric Fidelity of High Resolution Satellite Image Mosaics. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 52.
- [3] Kerschner M., 2001. Seamline Detection in Colour Orthoimage Mosaiking by Use of Twin Snakes. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56.
- [4] Lerma J.L., Tortosa R.V., 2004. Digital Development of a Small Valencian Tower. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (Istanbul, Turkey) Vol XXXV, part B.
- [5] Marten W., Mavelshagen L., Palaske R., 1994. Digital Orthoimage-System for Architecture Representation. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 49 (5).
- [6] Theodoropoulou I., Petsa E., Karras G.E., 2001. Digital Surface Development of Large Cylindrical and Conical Structures with a Single-Image Technique. Photogrammetric Record 17(97).
- [7] Wiedemann A., Moré J., Tauch R., 2003. Archimedes3D – An Integrated System for the Generation of Architectural Orthoimages. CIPA 2003 XIXth International Symposium (Antalya, Turkey).
- [8] Yuan D., Elvidge C.D., 1996. Comparison of Relative Radiometric Normalization Techniques. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 51.



**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**  
Grupo de Investigación en Arqueología de la Arquitectura (UPV-EHU)

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarias  
C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).  
Tfno: +34 945 013222 / 013264  
e-mail: [jm.valle@ehu.es](mailto:jm.valle@ehu.es) web: <http://www.ldgp.es>



UPV EHU