



**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**  
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (UPV-EHU)



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>

# ARCHIVO DEL LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

LABORATORY FOR THE GEOMETRIC DOCUMENTATION OF  
HERITAGE'S ARCHIVE

Sección de aplicaciones informáticas / **Software section**

# 5

<b>Información general / General information</b>		
TÍTULO:	Programa de ajuste radiométrico de texturas fotográficas (v. 1.0)	:TITLE
AUTORES:	Álvaro RODRÍGUEZ MIRANDA José Manuel VALLE MELÓN	:AUTORS
FECHA:	2007 / <b>2007</b>	:DATE
NUMERO:	LDGP_sof_005	:NUMBER
IDIOMA:	español / <b>Spanish</b>	:LANGUAGE

Resumen	
TITULO:	Programa de ajuste radiométrico de texturas fotográficas (v. 1.0)
RESUMEN:	Selecciona una imagen de referencia de la que se calculan sus valores estadísticos, posteriormente, se define una lista de texturas cuya radiometría se ajustará a estos valores de referencia.
DESCRIPTORES NATURALES:	fotogrametría, ecualización (ajuste radiométrico), textura
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesauro UNESCO [ <a href="http://databases.unesco.org/thessp/">http://databases.unesco.org/thessp/</a> ])  Fotogrametría
LENGUAJE:	Programado en Tcl (v.8). El fichero es un documento ASCII que se convierte en ejecutable si se dispone del intérprete Tcl que puede descargarse de forma gratuita por Internet (preferentemente en el paquete denominado "Active Tcl" [ <a href="http://www.activestate.com/activetcl/">http://www.activestate.com/activetcl/</a> ]).

Abstract	
TITLE:	Software for the radiometric balance of photographic textures (v. 1.0)
ABSTRACT:	The software compute the statistics of a reference image and then balance the radiometry of a list of files to these values.
NATURAL KEYWORDS:	photogrammetry, radiometric balance, texture
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO's thesaurus [ <a href="http://databases.unesco.org/thesaurus/">http://databases.unesco.org/thesaurus/</a> ])  Photogrammetry
CODE:	Programmed in Tcl (v.8). It is an ASCII file that becomes self-executable when the Tcl interpreter is available on the system. This interpreter can be freely downloaded from Internet (better with the "Active Tcl" package [ <a href="http://www.activestate.com/activetcl/">http://www.activestate.com/activetcl/</a> ]).

Derechos / Rights		
DERECHOS:	El código está inscrito en el registro de la propiedad bajo el número: 00/2008/2733. No obstante, se permite su utilización en las condiciones que establece una licencia Creative Commons de tipo "Reconocimiento-Comparteigual 3.0". / The copy of the can be found at the Spanish Registration Office with the number: 00/2008/2733. Nevertheless you can made use of it under a Creative Commons licence "Attribution-Share Alike 3.0".  	:RIGHTS

Renuncia de responsabilidad / Disclaimer		
DESCARGO:	Esta aplicación informática es una prueba de laboratorio, no ha sido completamente probado ni optimizado por lo que los resultados que proporciona pueden no ser correctos y el tiempo de ejecución de algunos procesos excesivamente largo. El uso de esta aplicación se hará bajo la completa responsabilidad del usuario. / This software is an internal test, it has not been thoroughly either checked or optimized, therefore the results may not be correct and the elapsing time too long. Its use will be done under the exclusive responsibility of the user.	:DISCLAIMER

<b>Estructura / Framework</b>		
ID PERMANENTE:	<a href="http://hdl.handle.net/10810/6166">http://hdl.handle.net/10810/6166</a>	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>ldgp_sof_005_ajradiometrico.pdf</b>: (este documento) descripción del programa / <i>(this document) description of the software.</i></li> <li>• <b>ldgp_sof_005_ajradiometrico.tcl</b>: código del programa principal / <i>code of the main application.</i></li> <li>• <b>ldgp_sof_005_ejemplo.zip</b>: datos de ejemplo / <i>test data.</i></li> </ul>	:FRAMEWORK

<b>Cita completa recomendada / Recommended full citation</b>		
CITA:	Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea) –LDGP-. <i>Programa de ajuste radiométrico de texturas fotográficas (v. 1.0)</i> . 2007.	:CITATION

## PRESENTACIÓN

Se presentan una herramienta informática que analiza un conjunto de archivos de imagen (formatos: .jpg, .tiff, .bmp o .png) los define estadísticamente y los transforma a unos nuevos valores definidos por una imagen de referencia. El resultado del proceso consiste en un conjunto homogéneo de imágenes.

Este programa está diseñado para mejorar la calidad visual de los mosaicos fotográficos y modelos virtuales en los que se utilizan diferentes fotografías para ir recubriendo la superficie de un objeto con su textura real, debido a las diferencias de iluminación entre las tomas, las uniones entre imágenes pueden ser muy perceptibles empeorando, en gran medida el resultado visual, el presente programa, suaviza las diferencias obteniendo resultados visualmente homogéneos.

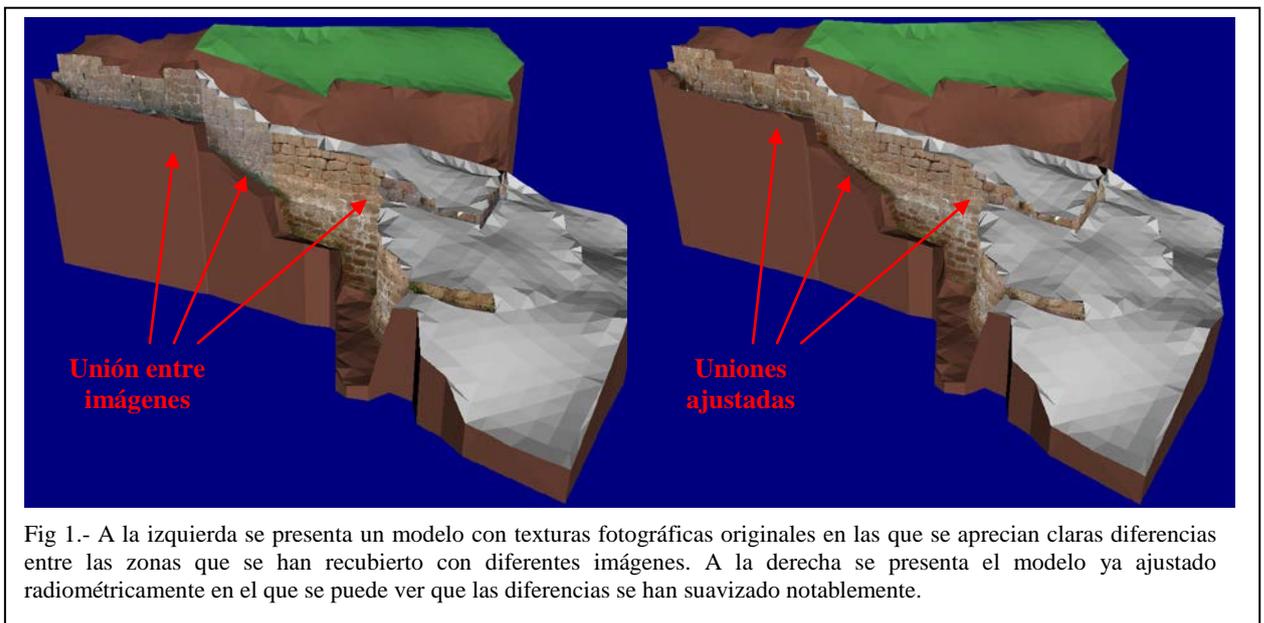


Fig 1.- A la izquierda se presenta un modelo con texturas fotográficas originales en las que se aprecian claras diferencias entre las zonas que se han recubierto con diferentes imágenes. A la derecha se presenta el modelo ya ajustado radiométricamente en el que se puede ver que las diferencias se han suavizado notablemente.

El programa está escrito en lenguaje Tcl/Tk para Windows®, aunque por las características del lenguaje, multiplataforma, se podría utilizar también bajo Mac® o UNIX. Los archivos .tcl son ASCII y para ejecutarlo sólo hay que tener instalado el correspondiente intérprete que puede adquirirse gratuitamente a partir de la página web ([www.tcl.tk](http://www.tcl.tk)). Una vez instalado el intérprete, los archivos .tcl son autoejecutables.

El programa se ha confeccionado como complemento al Programa de Modelado Fotogramétrico (nº registro: 00/2003/10061 y 00/2004/4973) que permite la creación de los modelos virtuales, pero puede trabajar de forma independiente.

## 1. Propósito y alcance.

### 1.1 Propósito

Presentación del programa informático que iguala el espectro de un conjunto de imágenes, cuyo objetivo es eliminar las diferencias de color debidas a iluminación o sombreado en un conjunto de texturas de un modelo virtual dando así un aspecto más realista.

## 2. Definiciones y abreviaturas.

- Ecualización: Proceso por el cual se modifican los niveles digitales de una imagen, en función del valor de intensidad de la imagen de partida.
- VRML: Lenguaje de modelado tridimensional de objetos que permite su visualización en entorno web.
- Tcl: lenguaje de programación de aplicaciones informáticas.

## 3. Procedimiento.

### 3.1. Introducción

Los modelos virtuales son ya una herramienta básica en la interpretación de edificios históricos. Un problema habitual, que reduce considerablemente su capacidad de evocación, viene originado por la falta de realismo que sufren cuando se utilizan fotografías obtenidas bajo condiciones de iluminación diferentes, apareciendo “parches” de diferentes tonalidades que no se corresponden con la realidad del objeto representado. En las siguientes imágenes se puede ver el modelo original (izquierda) y después del tratamiento de las texturas (derecha).



### 3.2. Pasos a seguir

Se ha preparado un programa .tcl cuyo aspecto visual es el siguiente:

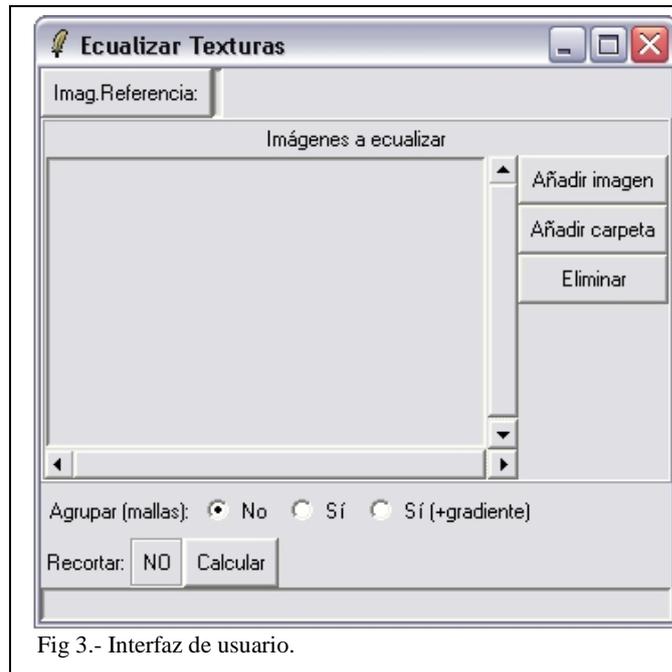


Fig 3.- Interfaz de usuario.

Los elementos que lo componen son:

- **Imagen de referencia:** aquí se selecciona cuál va a ser la imagen que se va a coger como patrón y respecto a la que se igualarán el resto.
- **Imágenes a ecualizar:** en este cuadro se indican cuáles van a ser las imágenes a modificar, para añadir y quitar imágenes se utilizan los botones de la parte derecha.
- **Agrupar mallas:** indica al programa si las imágenes que se van a ajustar deben considerarse de forma aislada o por grupos. Si se selecciona la opción de agrupar, el programa lee la lista de imágenes y agrupa todas las que, de forma consecutiva, tengan la siguiente estructura: “nombre\_número”, es decir, que busca el carácter “\_” (guión bajo) y analiza si la parte a la izquierda del mismo es igual, en cuyo caso las considera como parte del mismo grupo (el programa de Modelado aludido en la presentación utiliza esta estructura). Para la opción de “gradiente” ver la explicación más adelante.
- **Recorte:** con el fin de hacer más flexible el programa se han incluido tres opciones: por defecto las imágenes se igualan en media y desviación típica directamente saturando los valores fuera de rango (es decir igualándolos a 0 o 255 si están por debajo o por encima del rango dinámico de la imagen), las otras dos opciones consisten en calcular para las imágenes a ecualizar un primer valor de media y desviación típica y calcular unos segundos valores definitivos utilizando solamente las celdillas con niveles digitales que no se diferencien más del valor de la desviación típica respecto a la media (opción “1s”) o el doble de la desviación típica (opción “2s”). Estas opciones de recorte están pensadas para evitar que zonas de intensidad anormal (muy oscuras por efectos de sombras, muy claras por luz directa, . . .) afecten a los valores medios del conjunto de la imagen.
- **Calculo:** finalmente, pulsando este botón se comienza el proceso. Es importante reseñar que las imágenes se van reemplazando por las modificadas, por lo que es interesante trabajar sobre una copia por si los resultados obtenidos no son satisfactorios. Nótese que se trabaja directamente sobre las texturas que acompañan al archivo .wrl (el modelo virtual) y que, una vez modificadas, no es necesario realizar ninguna operación especial: al cargar el modelo se utilizarán estas nuevas texturas.

#### 4. Ajuste radiométrico en modelos virtuales de superficies

La metodología de trabajo utilizado consiste en generar, en primer lugar, el modelo geométrico de superficies, posteriormente, y tras analizar las fotografías disponibles, se seleccionan las superficies que obtendrán la textura de cada una, procediendo a su orientación y rectificación. Como puede verse en la figura 4, 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.

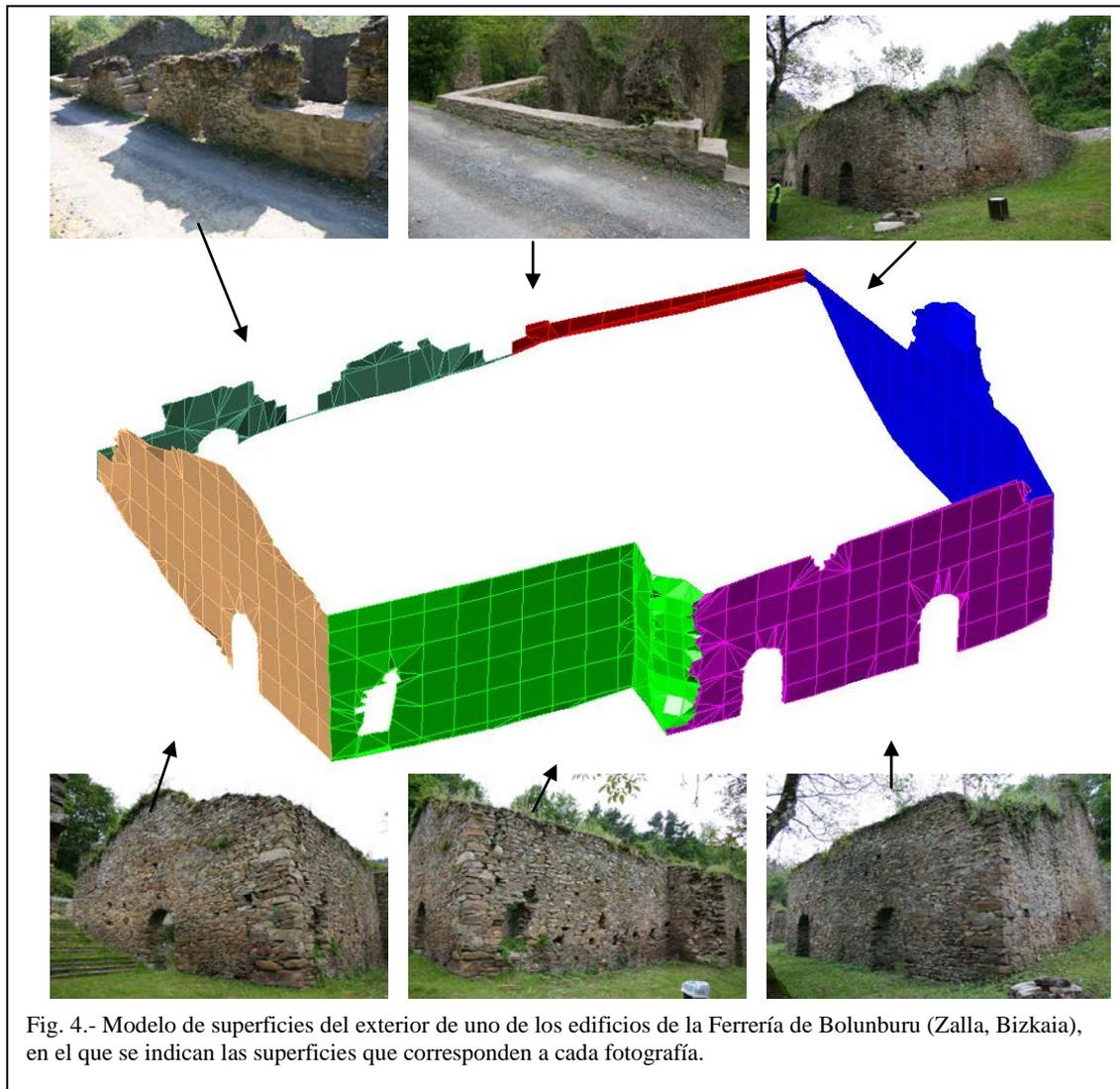
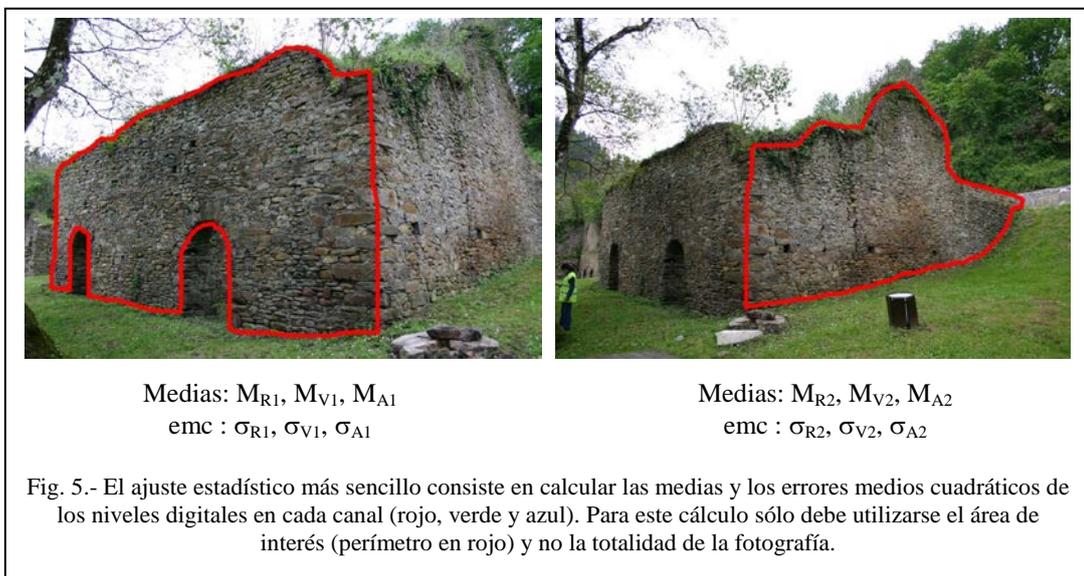


Fig. 4.- Modelo de superficies del exterior de uno de los edificios de la Ferrería de Bolunburu (Zalla, Bizkaia), en el que se indican las superficies que corresponden a cada fotografía.

Entre los métodos más habituales en la comparación radiométrica, 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 es habitual 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.



Fig. 6.- Resultado del ajuste radiométrico respecto a cuatro referencias diferentes.

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 6. Una vez seleccionada la referencia que proporciona el resultado deseado se aplica al conjunto del modelo.

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 torre que se muestra en la 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 bandeo 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 (aunque no está contemplado en el programa, se podrían utilizar polinomios de mayor grado si se considerase conveniente).

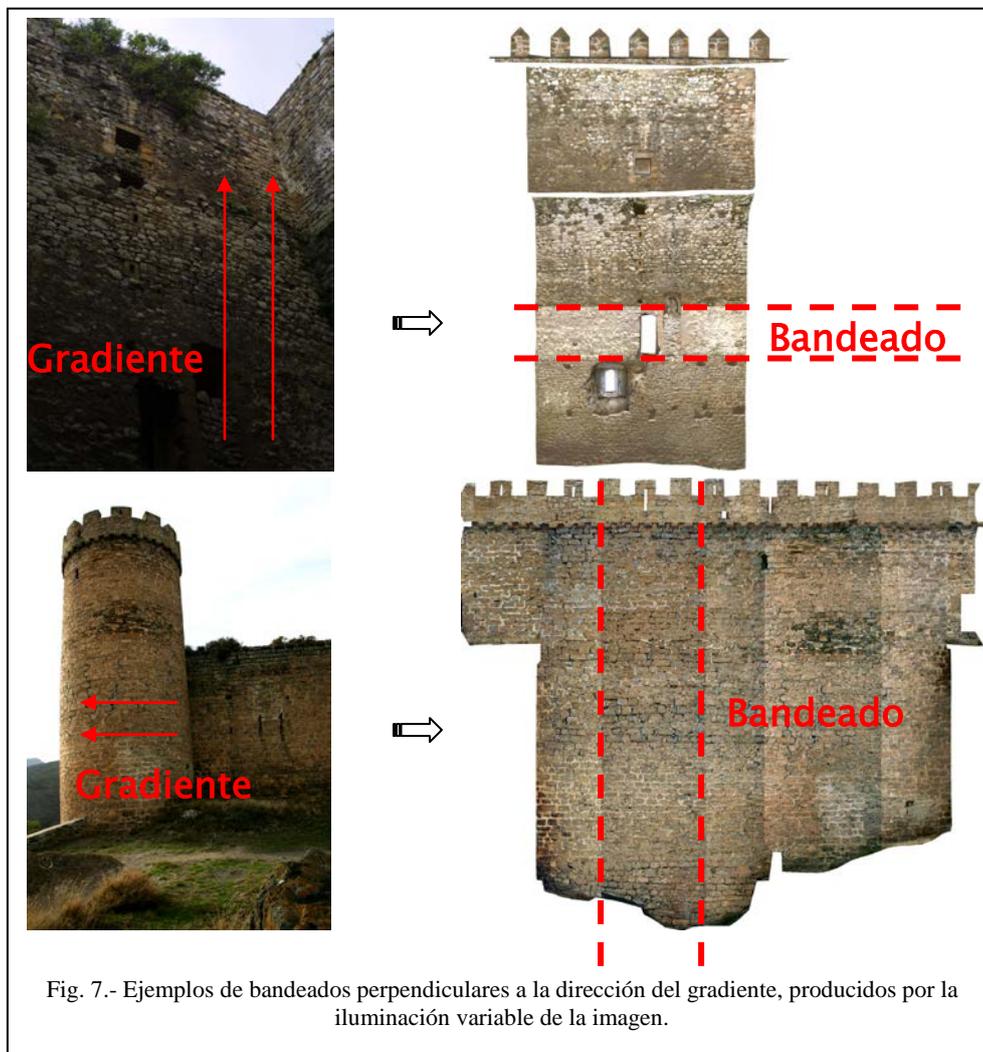


Fig. 7.- Ejemplos de bandeados perpendiculares a la dirección del gradiente, producidos por la iluminación variable de la imagen.

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:



**NOTAS:**

- Téngase en cuenta que esta no es la única solución posible para igualar el color de las diferentes texturas, existe también la posibilidad (muy recomendable y no excluyente) de igualar las imágenes fotográficas previamente a la extracción de las texturas utilizando para ello programas tipo Photoshop® o PhotoPaint®.
- El programa utiliza parámetros muy básicos para igualar las texturas (media y desviación típica), estando diseñado específicamente para texturas homogéneas, imágenes multimodales, es decir, en la que existan dos o más valores de niveles digitales respecto a los cuales se agrupen las celdillas, pueden no dar buenos resultados. Esto incluye el fondo (suelo, cielo, . . .) o elementos externos.
- Las texturas extraídas para elementos mallados suelen tener pequeñas dimensiones y los valores estadísticos utilizados pueden no ser representativos.
- Es necesario que la ruta (path) no contenga espacios en blanco o el programa no encontrará las imágenes (por ejemplo si están en una carpeta del tipo c:/Proyectos en curso/Modelo deberían copiarse a otra carpeta del tipo c:/Proyectos\_en\_curso/Modelo). Acentos y otros signos especiales en los nombres de las carpetas también pueden ocasionar problemas.
- El botón de [Añadir carpeta] carga todos los ficheros con extensión .jpg (no se han considerado la demás extensiones) de una carpeta seleccionando un único archivo, para buscar los ficheros dentro del subdirectorio crea dos ficheros temporales (que posteriormente elimina), si no dispone de permiso para la creación de dichos ficheros, no realizará la operación.
- Cuando se realizan los ajustes con gradiente, es necesario que además de los ficheros de imagen .jpg se disponga de los ficheros .ele que contienen su posición espacial.



**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**

Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (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