ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

"Programa Demostrativo del Escalamiento de una Imagen Monocromática Usando los Métodos de Replicación de Pixeles (Filtro de Caja) e Interpolación Bilineal (Filtro Bartlett)"

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previa a la obtención del Titulo de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentada por:

Carlos Antonio Quezada Moncayo

María José Mera Collantes

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO
2009

A G R A D E C I M I E N T O

Agradecemos a nuestras familias, por su apoyo constante

y su confianza invariable.

DEDICATORIA

A mi familia,
A mi tía Bella,
por su apoyo constante
a través de los años.
MARÍA JOSÉ MERA COLLANTES

Para mi familia que con mucho orgullo
me ha apoyado en mis logros
y ayudado con mis problemas.
CARLOS ANTONIO QUEZADA MONCAYO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Patricia Chavez
PROFESORA DE LA MATERIA

Ing. Rebeca Estrada
DELEGADA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Materia de Graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Carlos A. Quezada Moncayo

María José Mera Collantes

RESUMEN

El escalamiento de imágenes es un proceso que ocurre regularmente en varias instancias cotidianas, ya sea revisando fotos en internet, en imágenes publicitarias, haciendo zoom digital en una cámara de fotos, etc. Esto vuelve al escalamiento en un proceso crítico que debe ser realizado de la más rápida y mejor manera posible.

Este trabajo trata sobre dos algoritmos de escalamiento que son usados regularmente, la Replicación de Pixeles y la Interpolacion Bilineal. Se comparará resultados de estos dos tipos de algoritmos en MATLAB versus un escalamiento realizado en el software profesional Photoshop.

Nuestro objetivo es demostrar de entre estas dos maneras, cual es la más se acerca a la imagen original.

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

ABREVIATURAS

pixel	Picture element
MSE	Minimum Square Error
RGB	Red, green, blue (rojo, verde, azul en ingles)

INTRODUCCION

Se define a “Escalamiento de una Imagen” como el proceso mediante el cual se altera la resolución en pixeles de una imagen, ya sea en incremento o decremento, manteniendo la razón de proporcionalidad (aspect ratio) de la misma. El objetivo de los diferentes algoritmos de escalamiento existente es lograr la mayor fidelidad de la imagen escalada versus la imagen original.

Para esto, se pueden implementar varios métodos, cada uno con sus ventajas y desventajas, que se prestan a la comparación, sea esta cualitativa o cuantitativa.

Nuestro proyecto se concentra en el escalamiento a mayor tamaño de una imagen usando el método de Replicación de Pixeles (Filtro Caja) y el método de Interpolación Bilineal (Filtro de Bartlett) ambos implementados en MATLAB R2008b, y la comparación de ambos métodos con el escalamiento que implementa el programa Adobe Photoshop CS 4. Para esto, so tomó una imagen, se redujo al 25% de su tamaño usando el programa Adobe Photoshop CS 4. Esta imagen reducida es la que va a experimentar las ampliaciones de los métodos de Replicación de Pixeles e Interpolacion Bilineal, y el escalamiento usando Photoshop. Las tres imágenes luego se comparan con la imagen original entes de ser reducida.

CAPÍTULO 1

1. Imágenes Digitales y su Tratamiento

1.1. Introducción

Imágenes son señales con características especificas: describen un parámetro sobre una superficie (espacio) y la calidad de la imagen es determinada por evaluación subjetiva (percepción humana) más que algún criterio objetivo. Imágenes no son siempre de variaciones de intensidades de luz sobre una superficie, sino que también pueden dar a conocer las variaciones de temperatura de un circuito integrado, o la velocidad de la sangre dentro de las arterias de algún paciente.

Imágenes digitales son aquellas que han sido sometidas a un proceso de digitalización. Este proceso divide una imagen continua en filas y columna. La intersección de una fila y una columna se denomina pixel. Se realiza un muestreo de la imagen para determinar el valor que será asignado a cada pixel, este valor es representativo del espacio correspondiente de la imagen.

En si este proceso de digitalización convierte a las imágenes en matrices cuyes índices son valores que indican la intensidad de cierta tonalidad. Si la imagen es monocromática (monoscale), esta matriz es m x n donde los índices indican la intensidad del color único de esta imagen (el cual puede ser negro, rosado, azul, etc.). Si la imagen es a color, esta matriz es mxnx3 donde los índices indican la intensidad de los colores de esta imagen. Esta imagen a color está conformada por tres distintas matrices, mxnx1 – mxnx2 – mxnx3, que representan las tres colores Rojo, Verde y Azul (RGB) que unidos conforman a esta.

La importancia de la digitalización de una imagen radica en la utilidad de los procesos que se pueden aplicar a dichas imágenes. Diferentes tipos de tratamientos que se pueden dar a las imágenes son: escalamiento, rotación, ajustes de coloración, detección de bordes, distorsión espacial, etc.

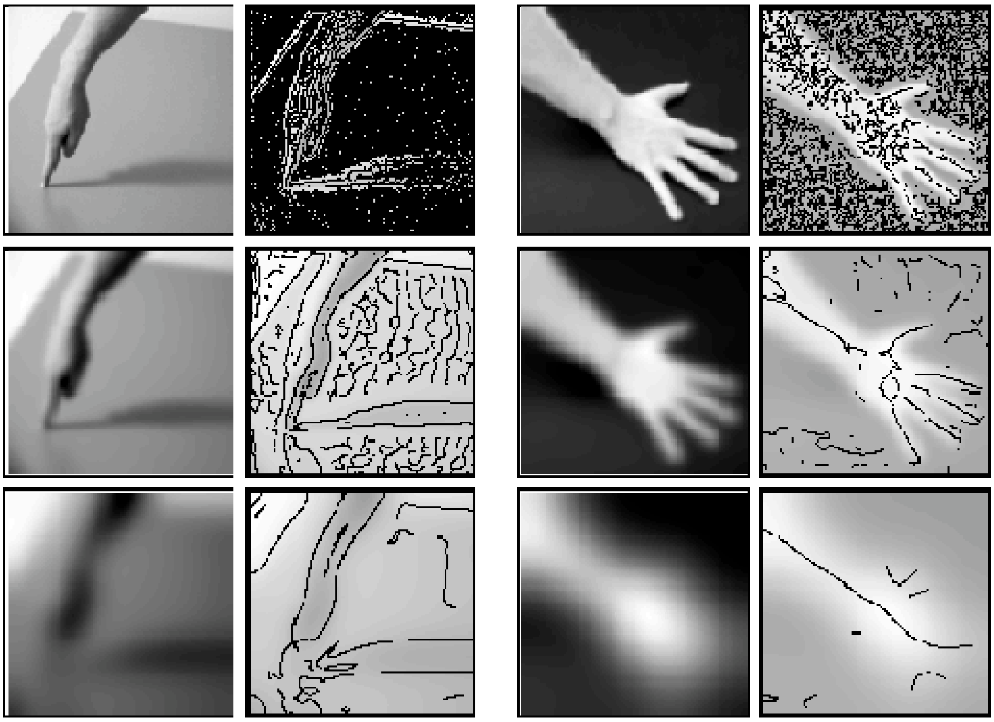


Figura 1. 1 Procesamiento de Imágenes: Detección de Bordes

1.2. Escalamiento

Escalamiento se define como un ajuste de tamaño, sea de aumento o de reducción, manteniendo sus proporciones originales. Esto significa que el ratio de expansión o contracción es constante en toda la imagen.

1.2.1. Escalamiento a Mayor Tamaño

El escalamiento únicamente define la proporcionalidad de las dimensiones en el ajuste de la imagen. Puede ser de igual manera un escalamiento a mayor tamaño (ampliación) o a menor tamaño (reducción). En este trabajo de investigación, nos hemos centrado en el escalamiento a mayor tamaño en proporcionalidad doble (2x).

1.2.2. Aplicación de Imágenes Escaladas

El escalamiento de imágenes se utiliza muy frecuentemente, en muchas áreas de la vida diaria. Se puede observar en las gigantografías publicitarias (por ejemplo en vallas), en la producción de películas (con los efectos especiales), y en documentos de diversa naturaleza.

Figura 1. 2 Aplicación de Escalamiento

CAPÍTULO 2

2. Imágenes en MATLAB

2.1. Introducción

La plataforma de programación MATLAB R2008b es una herramienta que permite la manipulación de imágenes. MATLAB obtiene imágenes digitales y las organiza en datos matriciales. Como ya se describió anteriormente, estas matrices son mxn para el caso monocromático y mxnx3 para el caso a colores. En ambos casos, todos los índices de las matrices de las imágenes adquiridas están en formato uint8 (valores de 0 a 255). Esto complica ciertas manipulaciones matemáticas y el uso de ciertas funciones preestablecidas de MATLAB y por tanto es una necesidad convertir estos datos a double.

2.2. Escalamiento en MATLAB

La propiedad de escalamiento que determina la razón de expansión o contracción es constante en toda la imagen y esto nos permite utilizar filtros invariables en el espacio.

Para este filtrado MATLAB provee herramientas de paquete muy útiles. En cualquier otra ambiente, la realización de una convolución (parte esencial del filtrado) hubieses sido una tarea engorrosa y complicada, sin embargo en MATLAB este tipo de operaciones matemáticas vienen incluidas de paquete en el producto.

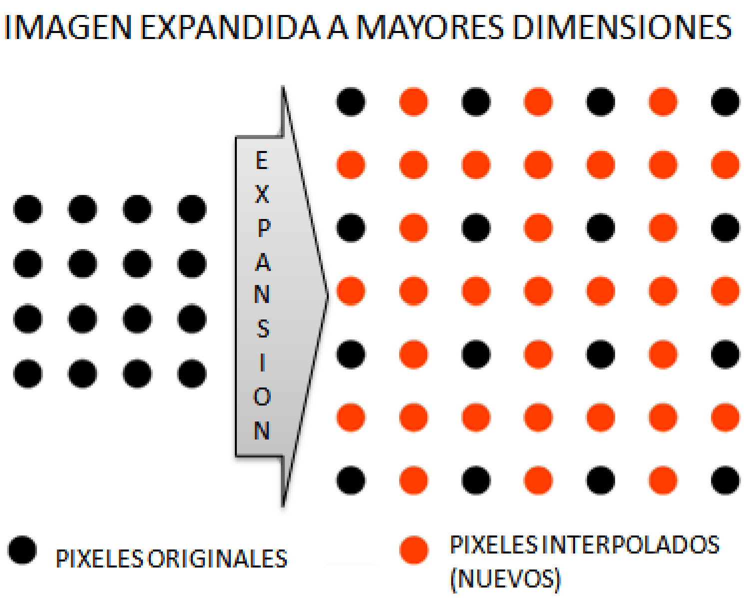
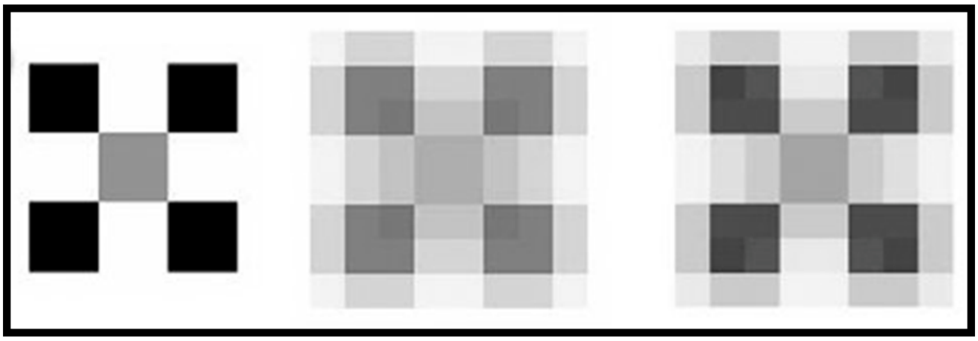


Figura 2.1 Modelo Simplificado del Escalamiento de una Imagen.



Replicación de Pixeles — Interpolación Bilineal — Interpolación Bicúbica

Figura 2.2 Muestra de Algoritmos Estudiados en este proyecto.

2.2.1. Padding

El primer paso en el escalamiento a mayor tamaño es agrandar la imagen al tamaño deseado. Esto se logra rellenando (padding) con ceros la matriz de la imagen original. Para un escalamiento 2x2 de una imagen (4 veces su tamaño), se coloca una fila de ceros en el tope de la matriz y se coloca una fila de ceros debajo de cada fila de la matriz imagen. Se hace lo mismo para las columnas. El resultado es una imagen que parece ser vista a través de una rejilla cuadriculada negra.

$$A = \begin{bmatrix} & \vdots & \vdots & \\ \cdots & a_{i,j} & a_{i,j+1} & \cdots \\ \cdots & a_{i+1,j} & a_{i+1,j+1} & \cdots \\ & \vdots & \vdots & \end{bmatrix} \qquad A_{padded} = \begin{bmatrix} & \vdots & \vdots & \vdots & \\ \cdots & a_{i,j} & 0 & a_{i,j+1} & \cdots \\ \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots \\ \cdots & a_{i+1,j} & 0 & a_{i+1,j+1} & \cdots \\ & \vdots & \vdots & \vdots & \end{bmatrix}$$

Figura 2.3 Matriz antes y después del Padding

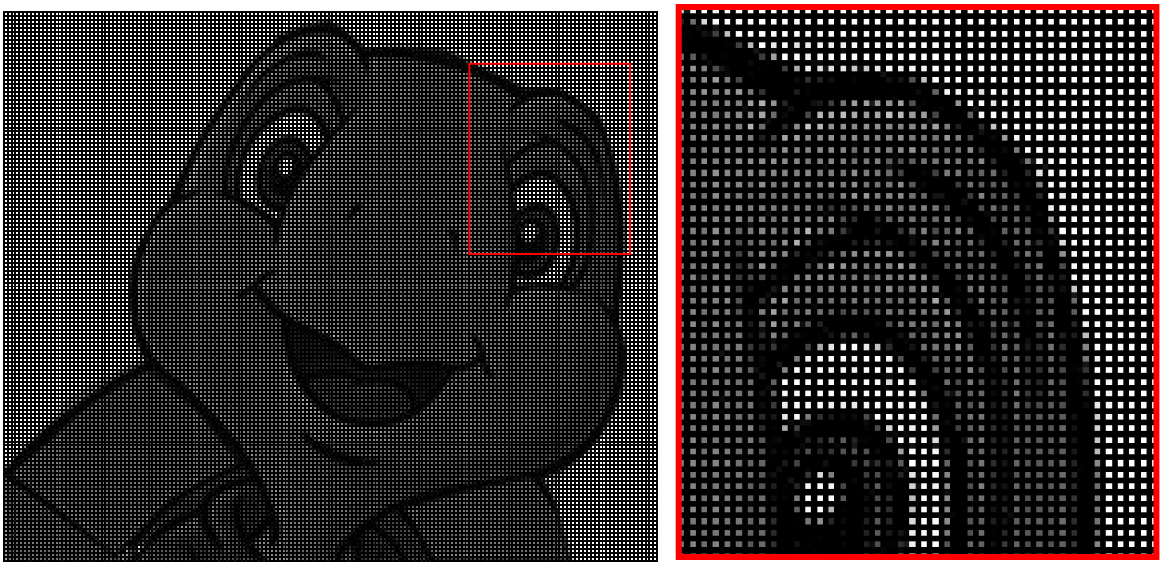


Figura 2.4 Imagen después del Padding

2.2.2. Replicación de Pixeles

2.2.2.1. Descripción de Método

El método de replicación de pixeles hace exactamente lo que su nombre indica. Copia (replica) de un dato en una posición *i,j* de la matriz de la imagen original a los pixeles adyacentes que fueron agregados por el padding. Se ha utilizado un filtro caja (box filter) en el proceso de convolución.

El filtro caja consiste en una matriz de tamaño *n*x*n* siendo *n* el número entero que determina el escalamiento que se aplicará a la imagen original.

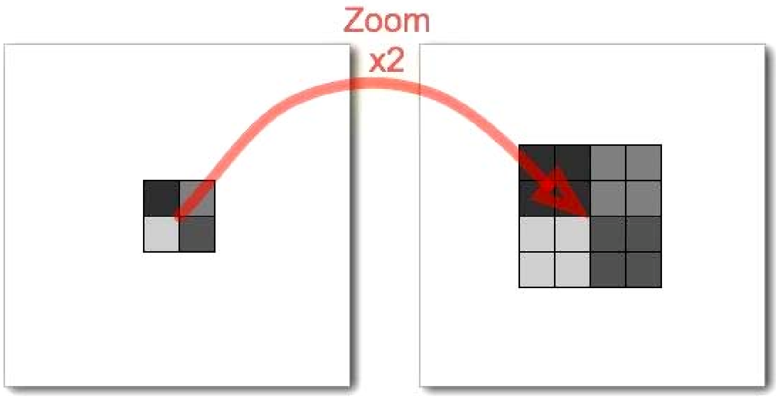


Figura 2.5 Replicación de Pixeles.

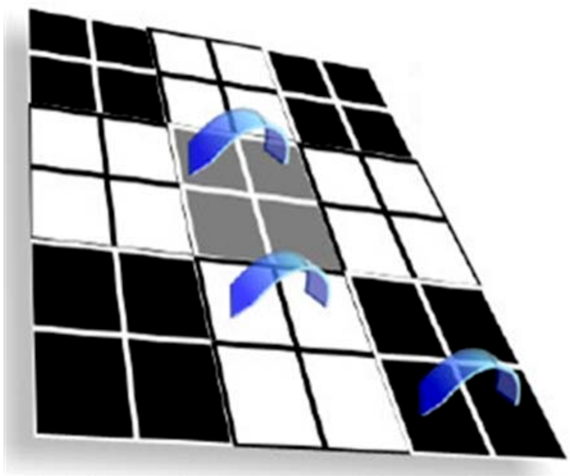


Figura 2.6 Replicación de Pixeles.

2.2.2.2. Ventajas y Desventajas

Este tipo de escalamiento no ocupa muchos recursos ya que genera poca demanda a ciclos de procesamiento. Esto lo hace computacionalmente rápido y eficiente. Por esta razón es el mayoritariamente usado en software gráfico para la realización de acercamientos o Zooms en tiempo real sobre archivos de imágenes.

La imagen resultante tiene un aspecto de mosaico, con bordes muy definidos. Comúnmente se conoce este efecto mosaico como “pixeleado.” Se puede observar este fenómeno en la Figura 2.1 donde se puede comparar la imagen original con la imagen que ha sido escalada usando el método de replicación por pixeles.

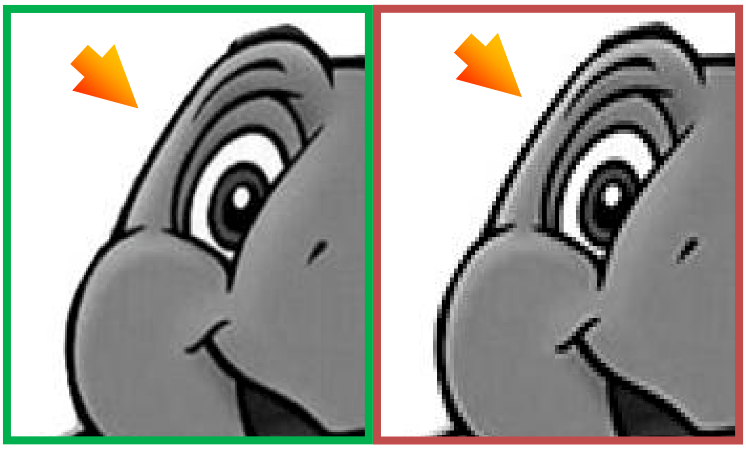


Figura 2.7 La imagen de la izquierda es la original, la imagen de la derecha has sido escalada con el método de replicación de pixeles.

2.2.3. Interpolación Bilineal

2.2.3.1. Descripción de Método

El método de Interpolación Bilineal es una composición de dos interpolaciones unidimensionales (lineales). La interpolación Bilineal considera los 2x2 (es decir 4) pixeles más cercanos (de la imagen original) para poder asignarle un valor del pixel desconocido. Calcula el promedio de los cuatro pixeles para llegar al valor interpolado.

Se ha implementado un filtro Bartlett para realizar la convolución necesaria.

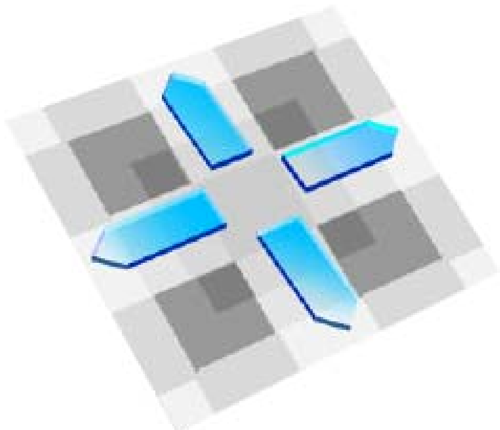


Figura 2.8 Interpolación Bilineal. Crea un nuevo pixel basado en los vecinos *horizontales y verticales* del área ya hecha padding.

2.2.3.2. Ventajas y Desventajas

La imagen resultante de un escalamiento usando el método de Interpolación Bilineal es una que tiene los bordes suavizados, por lo que la imagen tiene un aspecto más real.

Este tipo de escalamiento ocupa más recursos ya que son necesarios más cálculos que vuelven lenta la obtención de la imagen nueva.

2.2.4. Interpolación Bicúbica

2.2.4.1. Descripción de Método

El método de interpolación bicúbica es similar a la interpolación bilineal, solo que en vez de tomar los 2x2 valores de los pixeles más cercanos, tomas los 4x4 (toma 16 valores) para promediar y encontrar el valor que se deberá asignar al pixel desconocido.

Este método no se implementó en MATLAB, sino en Adobe Photoshop CS4.

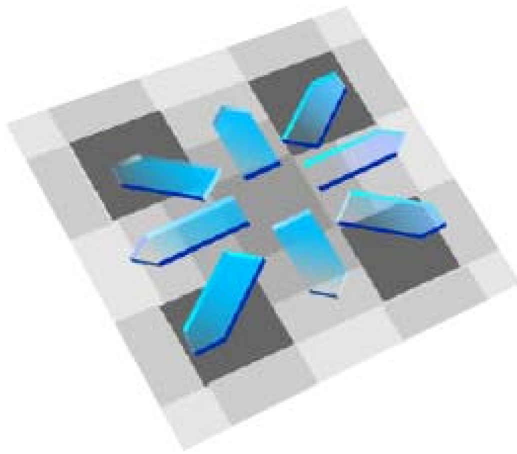


Figura 2.9 Interpolación Bicúbica. Crea un nuevo pixel basado en los vecinos *horizontales, verticales y diagonales* del área ya hecha padding.

2.2.4.2. Ventajas y Desventajas

La Interpolación Bicúbica ocupa una mayor cantidad de recursos, comparado con la Bilineal y la de Replicación de Pixeles debido al aun mayor número de cálculos que se deben realizar para obtener la imagen.

La imagen resultante tiene bordes suaves, y es considerada superior a los otros dos métodos, razón por la cal es utilizada en programas que se especializan en el tratamiento de imágenes como el Adobe Photoshop.

2.2.5. Trimming (Acabado de Imagen)

Los procesos de escalamiento que dependen del Padding, sufren una variación en su composición, ya que, en la imagen escalada tiene un borde negro. Es necesario eliminar estas filas y columnas negras para que la imagen resultante sea lo más similar a la imagen original.

El trimming (palabra en inglés que significa “recortar”) se hace al finalizar el escalamiento. Matlab permite eliminar estos bordes negros eliminando dichas columnas y filas de ceros de la matriz que representa la imagen.

CAPÍTULO 3

3. Análisis Cuantitativo y Cualitativo de los Datos

3.1. Introducción

Las imágenes escogidas para este estudio fueron:

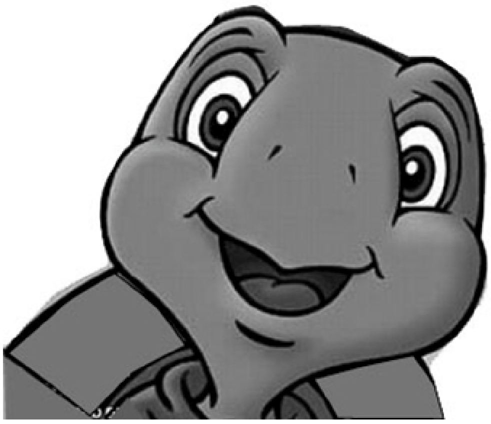


Figura 3.1 *Tortuga ESPOL*

La imagen recortada de un anuncio del CENACAD para impulsar a los estudiantes a calificar a los docentes.\

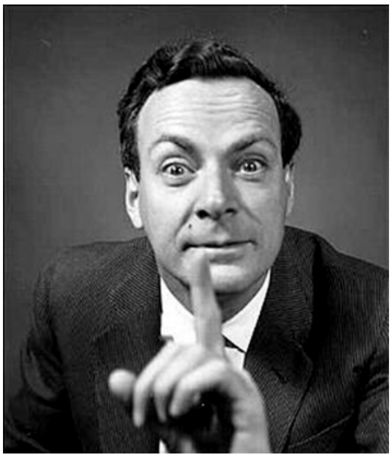


Figura 3.2 Richard P. Feynman

La Imagen del famoso físico Richard P. Feynman fue tomada de los archivos en línea que mantiene su hija Michelle Feynman.

Figura 3.3 Vaporex Inhalador

Imagen publicitaria del producto Vaporex Inhalador fue prestada para este estudio por Dyvenpro S.A.

Figura 3.4 Lena Soderberg

La famosa imagen de Lena Soderberg, tanto usada en Procesamiento de Imágenes también tiene su aparición en nuestro proyecto.

Figura 3.5 John Lennon

Imagen de John Lennon. Tomada de los archivos de Abbey Road Council en internet.

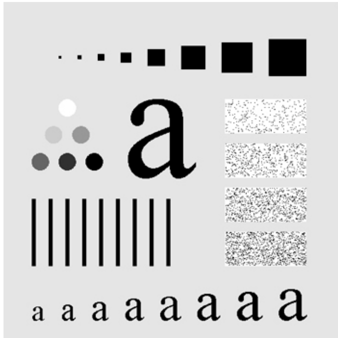


Figura 3.6 Patrón de Prueba

La imagen Patrón de Prueba contiene un conjunto de elementos que permiten en análisis de bordes, difuminado, etc.

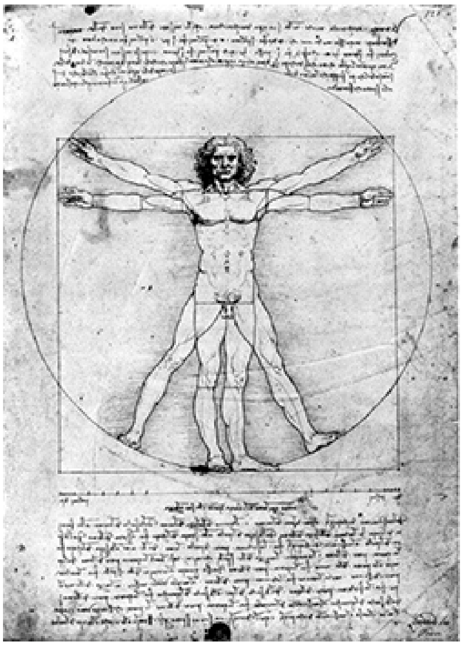


Figura 3.7 Hombre de Vitruvio

El Hombre de Vitruvio es un famoso dibujo acompañado de notas anatómicas de Leonardo da Vinci realizado alrededor del año 1492 en uno de sus diarios.

Figura 3.8 Flor

La imagen de la flor fue tomada de un compilatorio de fotos botánicas del Museo de Montreal. Contiene una excelente transición de contraste.

Figura 3.9 il Crepuscolo

La imagen IL CREPUSCOLO de Claude Monet tomada de los archivos de internet del Museo Metropolitano de Arte de la ciudad de Nueva York

3.2. El Análisis

Las imágenes anteriores serán procesadas mediante el siguiente esquema:

1. Se tiene la imagen original cuya dimensión máxima no exceda 350 pixeles.
2. Se la transforma a escala de grises usando software comercial (Photoshop CS4) *< img.jpg >*
3. Se la escala a la mitad de sus resolución mediante software comercial (Photoshop CS4) *< img_small.jpg >*
4. Se toma esta imagen *< img_small.jpg >* y se la escala por interpolación bicúbica al doble mediante software comercial (Photoshop CS4) *<img_photoshop_bicubic.jpg >*
5. Se toma la imagen < img_small.jpg > y se le aplica escalamiento por Replicación de Pixeles (Box Filter) mediante MATLAB con el software creado en esta investigación. < img_box.jpg >
6. Se toma la imagen < img_small.jpg > y se le aplica escalamiento por Interpolación Bilineal (Bartlett Filter) mediante MATLAB con el software creado en esta investigación. < img_bart.jpg >
7. Se calcula el Mínimo Error Cuadrático Medio Normalizado de las tres imágenes escaladas:

   < img_box.jpg >

   < img_bart.jpg >

< img_photoshop_bicubic.jpg >

Versus la imagen original < img.jpg >.

8. En este momento, el GUI creado en MATLAB permite analizar Cualitativamente (Examen Visual) y Cuantativamente (Revisión de los Errores Cuadráticos Medios Normalizados).

Figura 3.10 Análisis Cualitativo y Cuantitativo de la Imagen Original vs Imagen Escalada Bartlett de Richard P. Feynman.

3.2.1. Mínimo Error Cuadrático Medio Normalizado

Se comparan las imágenes resultantes de los métodos de escalamiento con la imagen original utilizando el método de MSE (Minimum Square Error) Normalizado. Esta es una técnica de análisis numérico que es usada para estimaciones y cuando hay residuos (errores estimados).

Nosotros lo emplearemos para cuantificar las diferencias entre la imagen original y las imágenes escaladas, por lo que haremos énfasis en el sentido residual del MSE ya que este asigna un número que indica cuán lejos o errados están los datos observados de los datos originales. Un MSE de cero indica que no hubo error y cualquier número mayor indica que hay diferencia entre lo que debería haber con lo que hay, mientras mayor sea el numero, mayor será en error.

$$Norm\ MMSE = \frac{\min((f(i,j) - f'(i,j))^2)}{\min\ (\ \mathrm{f}(\mathrm{i},\mathrm{j})^2)}$$

Figura 3.11 Formulación del Mínimo Error Cuadrático Medio Normalizado.

3.2.2. Examen Visual

El análisis visual comparativo entre dos imágenes es una tarea muy subjetiva. Esta idea nos puede llevar a pensar que no es el método adecuado de análisis de un trabajo investigativo como este, sin embargo hay que tomar en cuenta los aspectos determinantes del problema de este trabajo.

1. Las imágenes, en su gran mayoría de aplicaciones, existen para que ojos humanos las perciban, ya sea para publicidad, medicina u otras áreas.
2. Los ojos humanos solo detectan 80 escalas de grises, por tanto ciertos “errores” que se captan en métodos numéricos serán absolutamente imperceptibles para un ser humano.

Tomando en cuenta esto, no vale el esfuerzo proponer un algoritmo de escalamiento en extremo complicado y engorroso para que las mejoras nunca sean percibidas dadas las limitaciones del ojo humano.

Por tanto, un análisis visual cualitativo será mandatorio al final de investigaciones futuras sobre los resultados que este programa demuestra.

3.3. Resultados

Los resultados cuantitativos para las imágenes procesadas se muestran en la figura 3.12

Mínimo Error Cuadrático Medio Normalizado (N MMSE)

IMAGEN	REPLICACION DE PIXELES (CAJA)	INTERPOLACION BILINEAL (BARTLETT)	PHOTOSHOP (BICUBICO)
TORTUGA ESPOL	0,005625	0,005862	0,001497
RICHARD P. FEYNMAN	0,009209	0,008871	0,004625
VAPOREX INHALADOR	0,007151	0,007352	0,004067
LENA SODERBERG	0,006736	0,006841	0,003407
JOHN LENNON	0,062490	0,047045	0,047503
TEST PATTERN	0,010269	0,011111	0,006953
HOMBRE DE VITRUBIO	0,015710	0,013146	0,012361
FLOR	0,000946	0,000954	0,000515
IL CREPUSCULO	0,006245	0,006278	0,004422

Figura 3.12 Resultados Cuantitativos para las imágenes estudiadas.

A continuación algunos resultados visuales.

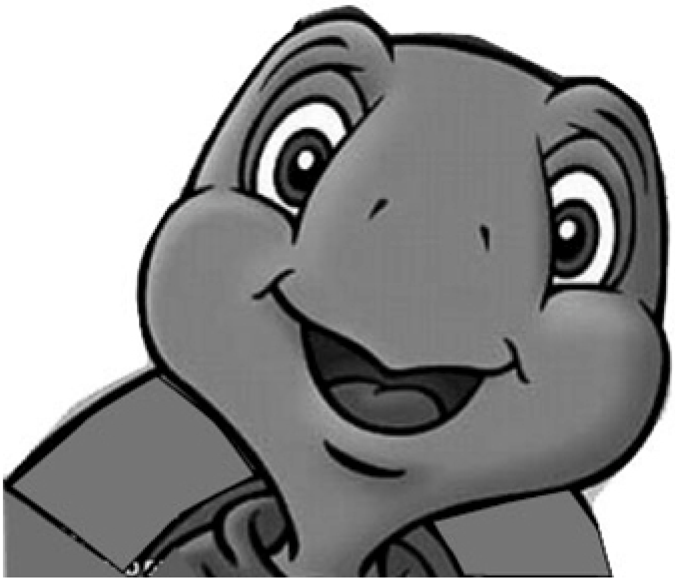


Figura 3.13 Tortuga Espol Imagen Original.

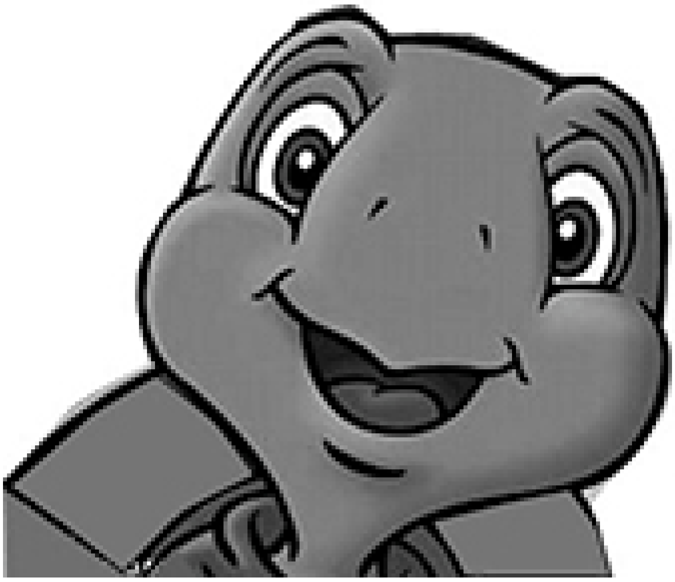


Figura 3.14 Tortuga Espol escalada por Replicación de Pixeles.

Figura 3.15 Tortuga Espol escalada por Interpolación Bilineal

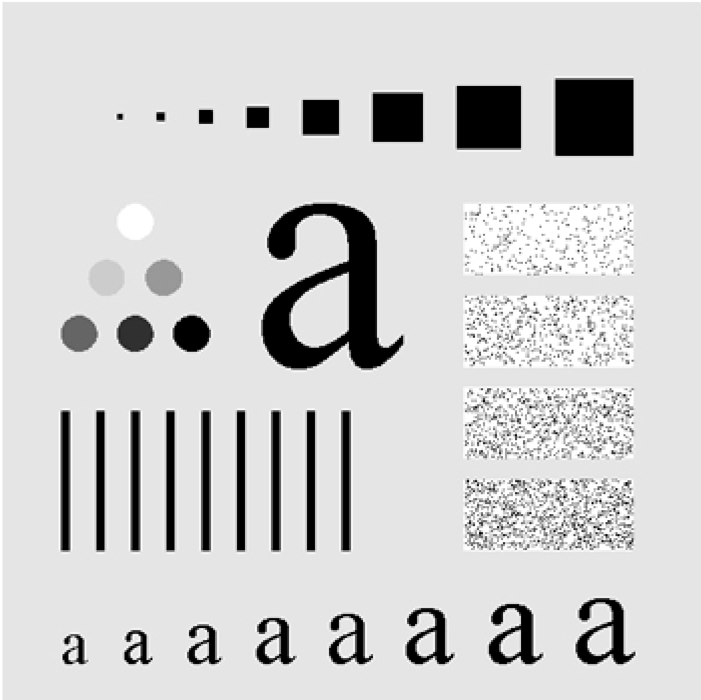


Figura 3.16 Patrón de Prueba imagen original

Figura 3.17 Patrón de Prueba escalado por Replicación de Pixeles

Figura 3.18 Patrón de Prueba escalado por Interpolación Bilineal

CONCLUSIONES

Existen muchos métodos de escalamiento, es importante conocer las ventajas y desventajas de ellos antes de implementarlos para maximizar los recursos.

MATLAB es una herramienta versátil y flexible que permite la manipulación de datos fácilmente. En la actualidad existen fuentes de apoyo para la comprensión de este programa.

Es importante utilizar una variedad surtida de imágenes, para observar como varia el NMSE según el caso.

Se puede observar según la tabla de la figura 3.12, que, ningún método en particular resulta en menos error que otros, sino que depende de la imagen usada. En las imágenes de la Tortuga Espol, Lena Soderberg, Richard P. Feynman y Vaporex Inhalador el método de escalamiento que produjo el menor error es el Bicubico de Photoshop. En la imagen de

Como recomendación, queda a criterio del usuario del programa como realizar comparaciones de la calidad visual de las imágenes escaladas usando los diferentes métodos.

Mínimo Error Cuadrático Medio Normalizado (N MMSE)

IMAGEN	REPLICACION DE PIXELES (CAJA)	INTERPOLACION BILINEAL (BARTLETT)	PHOTOSHOP (BICUBICO)
TORTUGA ESPOL	0,005625	0,005862	0,001497
RICHARD P. FEYNMAN	0,009209	0,008871	0,004625
VAPOREX INHALADOR	0,007151	0,007352	0,004067

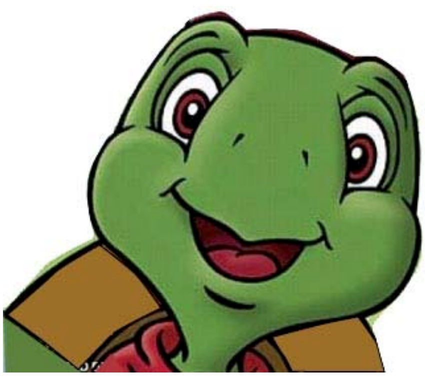
FACULTAD DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACION

APLICACIÓN GUIDE EN MATLAB:

Estudio Comparativo del Escalamiento de una Imagen Monocromática Usando los Métodos de Replicación de Pixeles (Caja) e Interpolación Bilineal (Bartlett)

MANUAL DEL USUARIO

Carlos Quezada – María José Mera



2009

ANEXOS

ANEXO 1

Índice

1. Ingreso a la aplicación

1. Ingrese a MATLAB.
2. Ubique el directorio a aquel directorio donde haya guardado el ***.m*** y ***.fig*** del proyecto.
3. Encuentre el archivo ***imscale.m*** y ejecútelo.

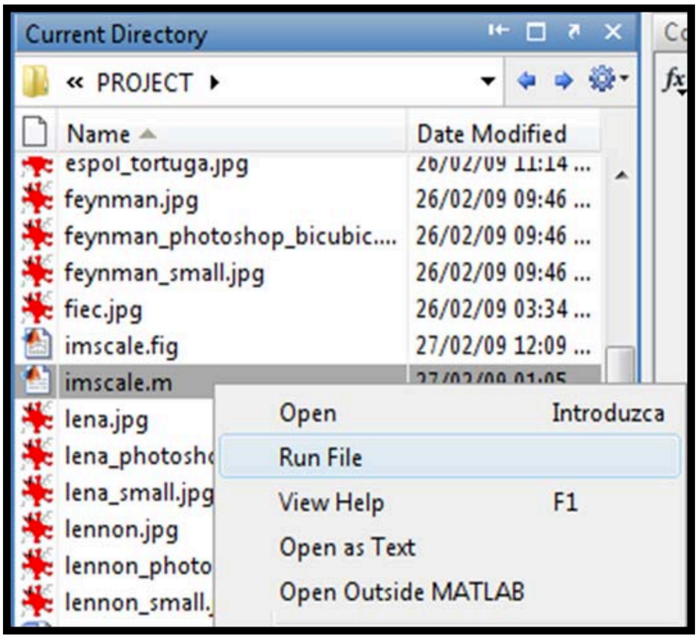


Ilustración 1

2. Partes de la aplicación.

A continuación, la aplicación:

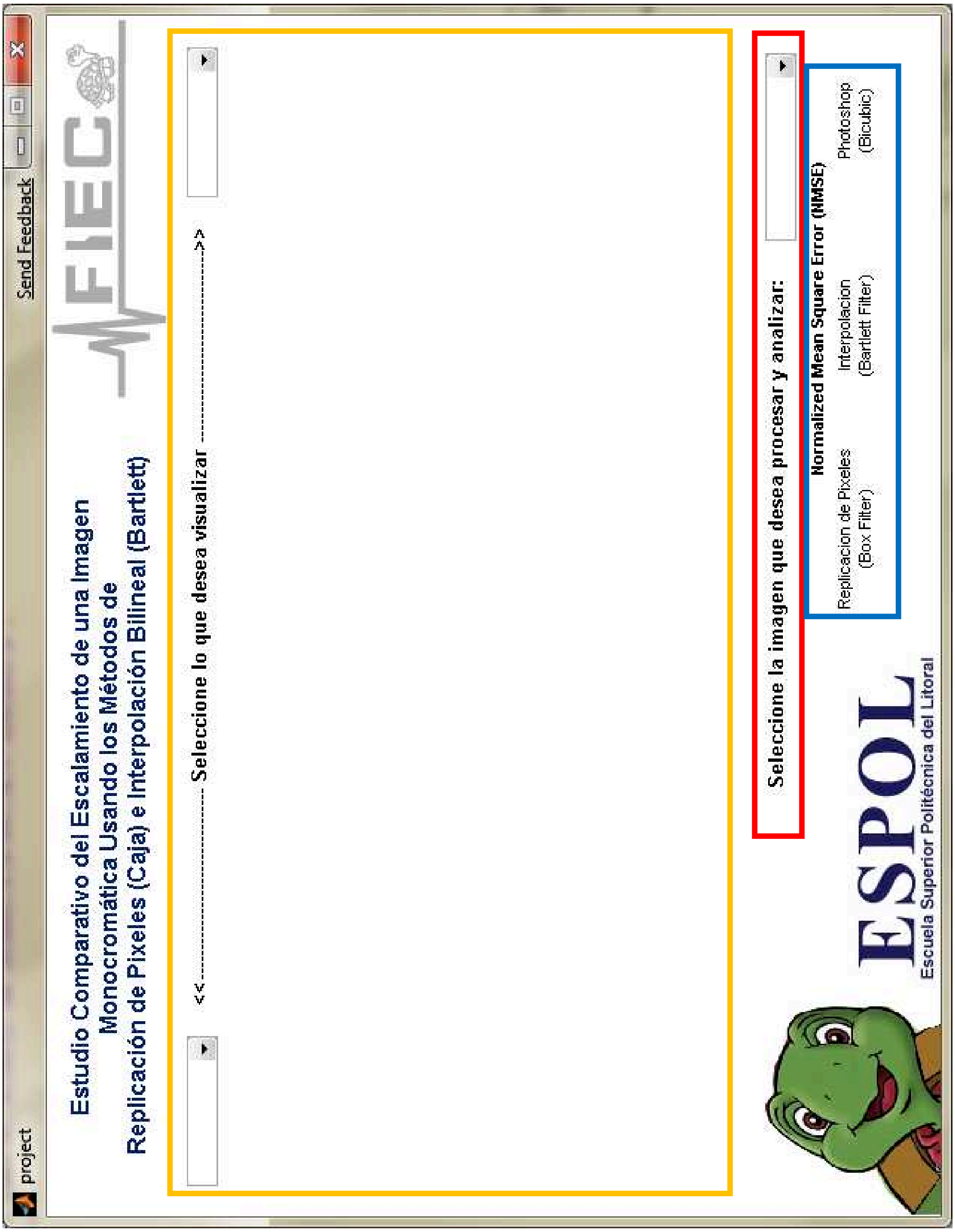


Ilustración 2

2.1 Menú de Imágenes

Esta es la zona ROJA de la ilustración 2.
Seleccione una de las imágenes mostradas en el menú desplegable para iniciar el estudio.

Ilustración 3

2.2 Menú de display de resultados

Esta es la zona NARANJA de la ilustración 2.
Tanto en la derecha como la izquierda se encuentran menús desplegables que permiten escoger las siguientes opciones:

- <Blank>
- Original
- Padding
- Box Filter
- Bartlett Filter
- Photoshop Bicubic

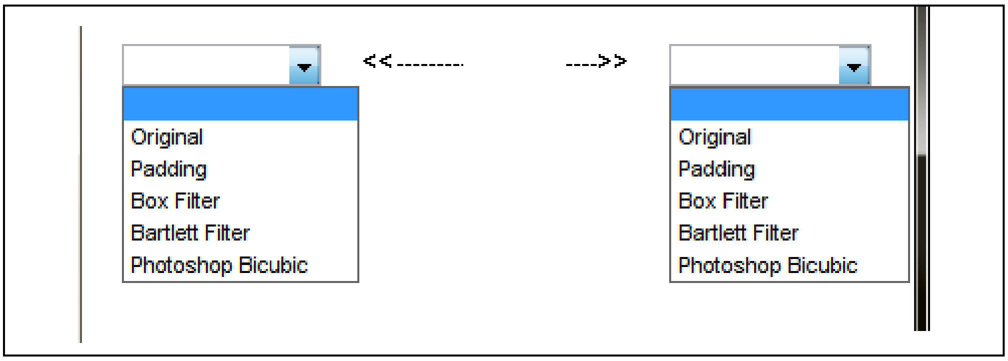


Ilustración 4

Una vez escogida la imagen en 2.1, se pueden mostrar cualquiera de las posibles combinaciones de resultados tanto en la derecha y la izquierda.

Ilustración 5

2.3 Display del Min NMSE.

Esta es la zona AZUL de la ilustración 2.
Min NMSE = Mínimo Error Cuadrático Medio Normalizado

El Min NMSE calculado tomando como referencia la imagen original vs las imágenes procesados por el escalamiento en las tres opciones (Replicación de Pixeles, Interpolación Bilineal e Interpolación Bicúbica – Photoshop)

Este aparece en la parte inferior derecha de la ventana de la aplicación.

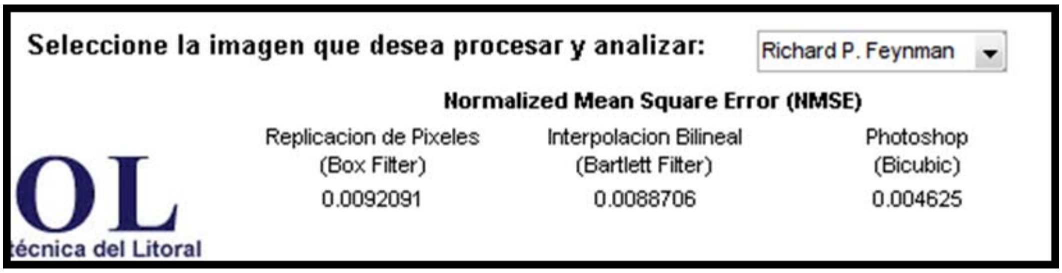


Ilustración 6

ANEXO 2

INTERPOLACION BILINEA (BARTLETT)

```
function scaled_image_bartlett = bartscale(padded_image,x_scale,y_scale)

% Creacion del Filtro Bartlett
row_vector = zeros(1, x_scale*2-1);
col_vector = zeros(y_scale*2-1, 1);

x_length = length(row_vector);
for i=1:x_length
    if (i <= x_scale)
        row_vector(i) = i;
    else
        row_vector(i) = x_length-i+1;
    end
end

y_length = length(col_vector);
for i=1:y_length
    if (i <= y_scale)
        col_vector(i) = i;
    else
        col_vector(i) = y_length-i+1;
    end
end

bartlett = 1/(x_scale*y_scale) .* (col_vector * row_vector);
            % Filtro Bartlett listo para convolucion

% Se realiza el filtrado de Bartlett
scaled_image_bartlett = conv2(padded_image,bartlett);

% Se retiran los bordes negros de la imagen.

for i=1:x_scale
    scaled_image_bartlett(size(scaled_image_bartlett,1),:) = [];
end

for i=1:y_scale
    scaled_image_bartlett(:,size(scaled_image_bartlett,2)) = [];

for i=1:x_scale-1
    scaled_image_bartlett(:,1) = [];
end

for i=1:y_scale-1
    scaled_image_bartlett(1,:) = [];
end

end
```

REPLICACION DE PIXELES (BOX)

```
function scaled_image_box = boxscale(padded_image,x_scale,y_scale)

% Creacion del Filtro de Caja (Box Filter)
box = ones(y_scale,x_scale);    %Filtro de Caja listo para Convolucion

% Se realiza el filtrado de Caja (Box)
scaled_image_box = conv2(padded_image,box);

% Se retiran los bordes negros de la imagen.
scaled_image_box(size(scaled_image_box,1),:) = [];
scaled_image_box(:,size(scaled_image_box,2)) = [];

for i=1:y_scale-1
    scaled_image_box(1,:) = [];
end

for j=1:x_scale-1
    scaled_image_box(:,1) = [];
end

end
```

PADDING

```
function padded_image = padding(image,x_scale,y_scale)

padded_image = zeros(size(image, 1)*y_scale+1, size(image, 2)*x_scale+1);
for i=1:size(image, 1)
    for j=1:size(image, 2)
        padded_image(y_scale*i, x_scale*j) = image(i, j);
    end
end

end
```

ERROR CUADRATICO MEDIO NORMALIZADO

```
function NormalizedMSE = nmse(reference,input)

[ref1 ref2] = size(reference);
[in1 in2] = size(input);

m1 = min(ref1,in1);
m2 = min(ref2,in2);
MSE = mean(mean(mean(((reference(1:m1,1:m2)-input(1:m1,1:m2)).^2))));
NormalizedMSE = MSE / mean(mean(mean(reference(1:m1,1:m2).^2)));

end
```

BIBLIOGRAFIA

1.Smith, S.W.; The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing; Second Edition; CaliforniaTechnical Publishing; 1999.

2. Madisetti, V.K.; Williams, D.B.; Digital Signal Processing Handbook; CRC Press; 1999.

3.Ingle, V.K. ; Proakis, J. G ; Digital System Processing Using MATLAB V.4, PWS Pulishing Company, 1997.

4. http://www.leptonica.com/scaling.html

5. http://www.dpreview.com/learn/?/Glossary/Digital_Imaging/