

Tipo de artículo: Artículo original  
Temática: Procesamiento de imágenes y señales  
Recibido: 20/04/18 | Aceptado: 05/06/18 | Publicado: 29/06/18

# Método para la reducción del efecto de ruido periódico en imágenes digitales

## *Method for reducing the periodic noise effect in digital images*

Oscar Yuniel Oliva Castillo <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de la Habana, [oolivac@ceis.cujae.edu.cu](mailto:oolivac@ceis.cujae.edu.cu)

\* Autor para correspondencia: [oolivac@ceis.cujae.edu.cu](mailto:oolivac@ceis.cujae.edu.cu)

---

### Resumen

En la actualidad, el creciente uso de cámaras digitales en todas las esferas de la vida diaria, ha incrementado el número de imágenes digitales disponibles en las bases de datos. Sin embargo, factores externos e internos al proceso de formación de la imagen hacen que esta sufra cambios que pueden afectar la calidad de la misma. Estos cambios se denominan ruido. Existen diferentes tipos de ruidos, entre ellos, el ruido periódico. El ruido periódico suele ser causado por interferencias eléctricas o electromagnéticas durante la adquisición de imágenes. Este ruido introduce patrones falsos, deforma la información real, reduce la visibilidad de detalle, el reconocimiento de objetos, la extracción y análisis de información útil de las imágenes afectadas. La reducción de este tipo de ruido es una tarea importante dentro del procesamiento digital de imágenes (PDI), al ser utilizado como pre-procesamiento para otras tareas dentro del PDI, como por ejemplo: compresión, segmentación, reconocimiento, entre otros. En este trabajo se propone un método propio que permita reducir el ruido periódico, permitiendo que el usuario en dependencia de sus conocimientos seleccione el filtro que se debe aplicar para reducir este tipo de ruido.

**Palabras clave:** filtro; reducción; ruido periódico

### Abstract

*At present, the increasing use of digital cameras in all spheres of daily life has increased the number of digital images available in databases. However, external and internal factors to the process of image formation cause it to undergo changes that can affect the quality of the image. These changes are called noise. There are different types of noise, including periodic noise. Periodic noise is often caused by electrical or electromagnetic interference during image acquisition. This noise introduces false patterns, deforms real information, reduces detail visibility, recognizes objects, extracts and analyzes useful information from affected images. The reduction of this type of noise is an important task in digital image processing (DIP), when used as pre-processing for other tasks within the DIP, such as compression, segmentation, recognition, among others. In this work we propose a method to reduce periodic noise, allowing the user depending on their knowledge select the filter to be applied to reduce this type of noise.*

**Keywords:** *filter; periodicnoise; reduction*

---

## Introducción

En la actualidad, el creciente uso de dispositivos de captura de imágenes en todas las esferas de la vida diaria, ha incrementado el número de imágenes digitales disponibles en las bases de datos. Sin embargo, condiciones externas e internas al proceso de captura, afectan la calidad de la imagen. Entre los factores más comunes en [1-3] se mencionan: limitantes del sistema óptico, sensores de los dispositivos, condiciones de iluminación, distancia a los objetos de interés, interferencias o condiciones atmosféricas, entre otros. Estas condiciones hacen que la imagen pueda sufrir cambios afectando algunas características como la nitidez, el brillo y el contraste [2, 4]. Estos cambios se denominan ruido [1, 5-8].

Entre los tipos de ruidos más comunes se encuentran: el ruido gaussiano, impulsivo o “sal y pimienta”, de color o “crominancia” y estructurado [5, 9]. Dentro de esta última clasificación, según [10, 11], se encuentra el ruido periódico, este tipo de ruido suele ser causado por interferencias eléctricas o electromagnéticas durante la adquisición de imágenes. Las interferencias que generan ruidos sobre la imagen, antes, durante o luego de la captura, introduce patrones falsos, deforma la información real, reduce la visibilidad de detalle, el reconocimiento de los objetos y la extracción y análisis de información útil (para profundizar en este aspecto consultar [12, 13]). Su reducción se ha convertido en una tarea casi imprescindible [8, 14-16], al ser utilizado como pre-procesamiento para otras tareas dentro del procesamiento de imágenes digitales, como por ejemplo: compresión, segmentación, reconocimiento, entre otros [17]. Teniendo un aspecto impredecible en el dominio espacial, el ruido periódico tiene una contraparte espectral muy específica, y se revela en el dominio de frecuencia como componentes de punta en las frecuencias específicas (extraído de [10]). Este tipo de ruido puede ser eficazmente reducido corrigiendo los componentes del espectro que hayan sido alterados por el ruido, ver en [6, 7, 18]. Finalmente los pasos para reducir el ruido periódico consisten en: (1ro) la imagen afectada se descompone llevándola al dominio de frecuencia, (2do) se le realiza un filtro reduciendo las altas frecuencias, y (3ro) se sintetiza la imagen al dominio espacial [6, 19-21].

Actualmente existen *softwares* que resuelven el problema de reducir el ruido periódico, entre los más destacados se encuentran: *Cognitech Video Investigator*, *LatentMaster Software*, *Amped FIVE*. Sin embargo el acceso a estas herramientas y su documentación se hace difícil por el alto costo de las mismas en el mercado [22-24]. Existen otras herramientas como Adobe Photoshop, o Gimp que aunque no permiten realizar este proceso directamente, pueden ser extendidas mediante el uso de plugins que dan la funcionalidad de convertir una imagen del dominio espacial al de

frecuencia y viceversa [25-27]. Para realizar el 2do paso: filtrar las altas frecuencias utilizando estas últimas herramientas, es necesario hacerlo manualmente, lo que implica que se debe tener conocimiento sobre procesamiento digital de imágenes y el trabajo en el dominio de frecuencia, de lo contrario se podría perder información de la imagen, o bien incorporar otro tipo de ruido [10].

El objetivo de este trabajo, por lo anteriormente descrito es: desarrollar un método para la reducción del efecto del ruido periódico en imágenes digitales que garanticen tiempo de respuesta aceptable.

### Materiales y métodos o Metodología computacional

Como se describió anteriormente el ruido periódico pertenece al tipo de ruido estructurado, comúnmente causado por la interferencia de componentes electrónicos o electromagnéticos los cuales tienen una amplitud fija [10, 11]. El ruido periódico es una señal repetitiva añadida a la señal principal, surge típicamente durante la adquisición de la imagen [12, 13]. Ejemplo de estos, se observan en la (Figura 1 a)b)c).

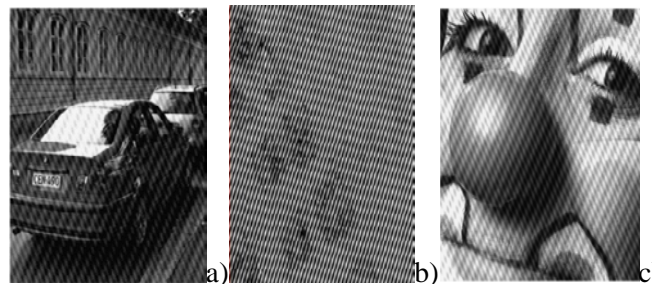


Figura 1: a),b),c) Ejemplos de imágenes afectadas con ruido periódico, tomadas de [8, 10, 28]

Señal Periódica:

Una señal continua  $x(t)$  es periódica si ésta se repite en el tiempo y sigue la función siguiente:  $x(t + T) = x(t)$  donde T es el período en que se repite la señal. En la (Figura 2 a),b)) se observan dos señales que tienen períodos diferentes, la imagen a) con un tiempo t, y la imagen b) con tiempo de 4t.

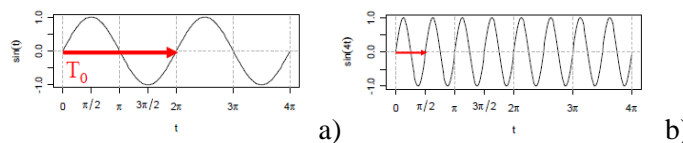


Figura 2: Señal periódica en diferentes frecuencias a) b) [29]

Una señal 2d (imagen) se puede representar:

$$\{1, 2, \dots, M\} \times \{1, 2, \dots, N\}$$

$(x, y)$

Donde  $M$  y  $N$  corresponden a dimensiones de la imagen en número de píxeles

Una imagen con ruido se puede modelar de la siguiente forma según [28]:

$$g(x, y) = f(x, y) + n(x, y)$$

Donde  $f(x, y)$  es el píxel de la imagen original,  $n(x, y)$  es el término del ruido y  $g(x, y)$  es el píxel con ruido resultante.

El ruido periódico puede modelarse con ondas sinusoidales:

En el dominio espacial:

$$r(x, y) = A \operatorname{sen}\left[\frac{2\pi u_0(x + B_x)}{M} + \frac{2\pi v_0(y + B_y)}{N}\right]$$

Donde  $A$  es la amplitud,  $u_0$  y  $v_0$  determinan las frecuencias sinusoidales,  $B_x$  y  $B_y$  son desplazamientos de fase según el origen, [28].

En el dominio de frecuencia (Fourier):

$$R(u, v) = i \frac{AMN}{2} \left[ e^{-i2\pi\left(\frac{u_0 B_x}{M} + \frac{v_0 B_y}{N}\right)} \delta(u + u_0, v + v_0) - e^{i2\pi\left(\frac{u_0 B_x}{M} + \frac{v_0 B_y}{N}\right)} \delta(u - u_0, v - v_0) \right]$$

Donde  $i$  es el valor del píxel en la coordenada  $(M, N)$ ,  $u$  y  $v$  determinan las frecuencias sinusoidales, observar la (Figura 3).

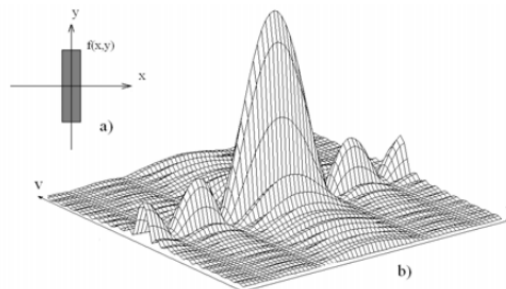


Figura 3: a) Imagen en el dominio espacial, b) en el dominio de frecuencia. Variable  $u$  representa las frecuencias horizontales y la  $v$  las verticales [6]

### ¿Cómo se reduce el ruido periódico?

Según la bibliografía consultada la mejor forma de reducir esta afectación es corrigiendo los componentes en el espectro que hayan sido alterados por el ruido, estos pueden ser calculados observando el espectro de Fourier [11, 12,

14, 30]. Para hacer esto, se sigue según [6, 9, 12, 31] una secuencia de pasos. Primero, se prepara la imagen afectada llevándola a un solo canal, por ejemplo la luminancia, o llevándola a escala de grises. Luego, la imagen afectada se descompone llevándola al dominio de frecuencia, a continuación se le realiza un filtro para reducir las altas frecuencias, y finalmente se sintetiza la imagen al dominio espacial [6], observar la secuencia de pasos en la (Figura 4).

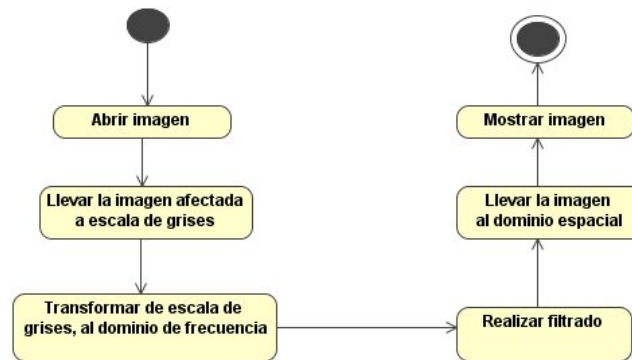


Figura 4: Pasos para la reducción del ruido periódico

Unas de las mejores formas de llevar la imagen al dominio de frecuencia, según [7, 32], es a través de la Transformada de Fourier. La Transformada Discreta de Fourier (DFT) es extremadamente importante en el área de análisis de frecuencia (espectro) porque toma una señal discreta en el dominio espacial y transforma esa señal en su representación de dominio de frecuencia discreta. Sin una transformada de tiempo discreto a frecuencia discreta no podríamos calcular la transformada de Fourier con un microprocesador o sistema basado en DSP<sup>1</sup>[6, 9].

A continuación se describen cada uno de los pasos para reducir el ruido periódico de una imagen digital mencionados en [6]:

### Paso 1- Pre-procesamiento

Si el ruido aparece en los tres canales de color RGB, será necesario separar los canales y corregirlos por separado. Si el ruido solo aparece en el canal de luminancia de la imagen, deberá convertirse la imagen a un espacio de color decorrelacionado, como HSL y aplicar la corrección en el canal correspondiente.

Finalmente, si solo se desea una información general de los valores de la imagen, se convierte a escala de grises, en la (Figura 5) se muestra una imagen de color RGB llevada a escala de grises. Una forma de llevar la imagen a escala de grises, es realizar un promedio de los valores de cada canal. Por ejemplo,  $\text{gris} = (\text{rojo} + \text{verde} + \text{azul})/3$ .

<sup>1</sup>DSP: Procesador Digital de Señales, del inglés: (Digital Signal Processor) es la manipulación matemática de una señal de información para modificarla o mejorarla en algún sentido

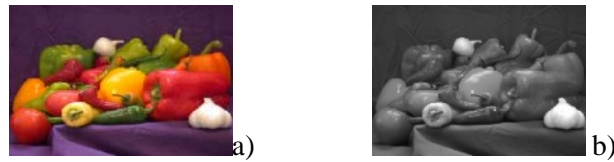


Figura 5: La Imagen a) RGB es llevada a escala de grises b) [6]

### Paso 2- Transformada Discreta de Fourier (DFT)

Transformada de Fourier de  $f(x,y)$  a  $F(u,v)$  (Del dominio espacial al dominio de frecuencia) observar en la (Figura 6) el resultado de aplicar la transformada a una imagen.

$$F(u,v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-2\pi i (\frac{xu}{M} + \frac{yv}{N})}$$

Donde  $M$  y  $N$  corresponden a dimensiones de la imagen en número de píxeles,  $i$  es un número imaginario,  $u$  y  $v$  determinan las frecuencias sinusoidales

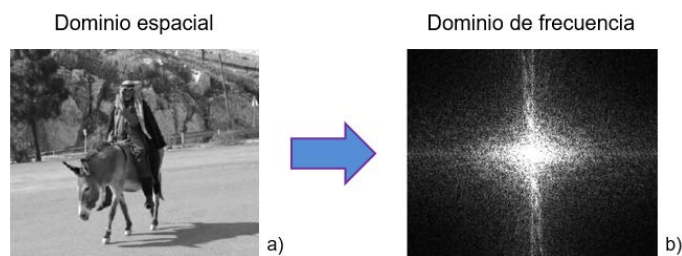


Figura 6: La imagen b) es el resultado de la DFT aplicada a la imagen a) [6]

A la imagen en escala de grises se le realiza la transformada de Fourier para llevar la imagen al dominio de frecuencia.

La Transformada de Fourier produce una imagen de salida con valor numérico complejo que puede visualizarse con dos imágenes, ya sea con la parte real ( $r$ ) e imaginaria ( $i$ ) o con magnitud y fase. La imagen del espectro de Fourier (dominio de frecuencia) tiene un rango mucho mayor que la imagen en el dominio espacial. Por lo tanto, para ser suficientemente precisos, sus valores suelen ser calculados y almacenados en valores flotantes [6, 19].

### Paso 3- Función de Filtro

Las técnicas de filtrado en el dominio de frecuencia se basan en la modificación de la Transformada de Fourier para lograr un objetivo específico y luego calcular la DFT inversa, para llevar la información de nuevo al dominio espacial [14, 30]. La transformada de una imagen refleja las frecuencias de las partes periódicas de la imagen. Para enmascarar

o filtrar las frecuencias no deseadas se puede obtener una nueva imagen aplicando la transformación inversa de Fourier. Un filtro es una matriz con las mismas dimensiones de la transformada de Fourier de la imagen. Los componentes del filtro normalmente varían de 0 a 1. Si el componente es 1, entonces la frecuencia se muestra; si el componente es 0, entonces la frecuencia se atenúa.

El filtrado se puede realizar de dos formas, manual y automático. De la forma manual, el usuario debe editar la máscara en las zonas donde se encuentren las altas frecuencias, pero se debe tener cuidado de no dañar la información original de la imagen. Para la forma automática existen básicamente tres diferentes tipos de filtros [6]: paso bajo, paso alto y filtros de paso de banda. Un filtro de paso bajo atenúa las frecuencias altas y retiene las frecuencias bajas sin alterar. El resultado en el dominio espacial es equivalente al de un filtro suavizado; ya que las altas frecuencias bloqueadas corresponden a cambios bruscos de intensidad, es decir, a los detalles de escala fina y el ruido en la imagen.

El filtro de paso alto, por otro lado, produce una mejora de borde o una detección de borde en el espacio de dominio, porque los bordes contienen muchas frecuencias altas. Las áreas de constante nivel de gris contienen principalmente frecuencias bajas y por lo tanto se suprimen.

El filtro de paso de banda atenúa las frecuencias muy bajas y muy altas, pero conserva un rango de frecuencias. El filtrado de paso de banda se puede usar para mejorar los bordes (Supresión de las bajas frecuencias) mientras se reduce el ruido al mismo tiempo (Atenuación de altas frecuencias).

Un filtro de paso bajo en el dominio de frecuencia significa poner a cero todos los componentes de frecuencia por encima de una frecuencia de corte. Por ello, al identificar la frecuencia de corte correcta, puede reducir el ruido periódico satisfactoriamente.

#### **Paso 4- Transformada Discreta de Fourier Inversa (IDFT<sup>2</sup>)**

Transformada Inversa de Fourier de  $F(u, v)$  a  $f(x, y)$  (Del dominio de frecuencia al dominio espacial), observar en la (Figura 7) el resultado de aplicar la transformada inversa al dominio de frecuencia.

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{2\pi i \left( \frac{xu}{M} + \frac{yv}{N} \right)}$$

---

<sup>2</sup>IDFT: Transformada Discreta de Fourier Inversa, del inglés: (Inverse Discrete Fourier Transform)

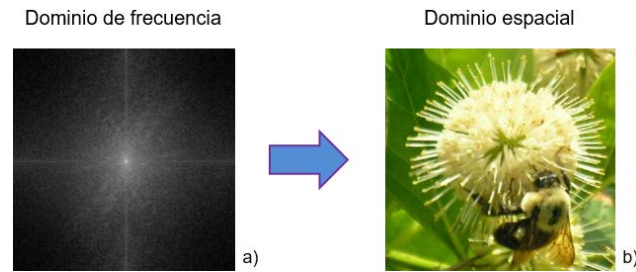


Figura 7: La imagen b) es el resultado de aplicar la IFDT a la imagen a)

La Transformada de Fourier Inversa sintetiza una imagen a partir de su espectro de componentes de frecuencia, también es aplicable a través de una transformada rápida.

En la solución se proponen los siguientes pasos observados en la (Figura 8).

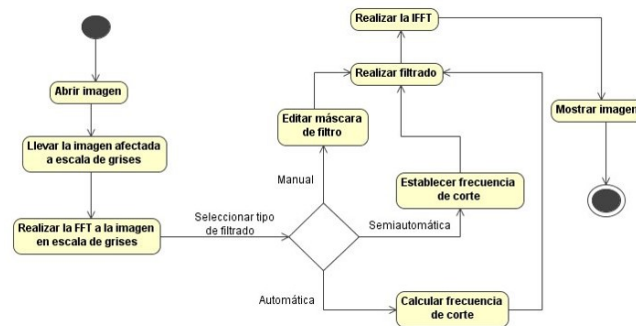


Figura 8: Secuencia de pasos propuesta para reducir el ruido periódico

### Transformada Rápida de Fourier

Como se mencionó anteriormente, la DFT posee una complejidad computacional  $O(n^2)$ [7], pues por cada valor de salida es necesario operar sobre todos los otros valores. Por ello existe una variante de la transformada diseñada para reducir su complejidad. Esta es la Transformada Rápida de Fourier (FFT) [33]. Haciendo uso de varias propiedades de la transformada de Fourier, reduce la complejidad a  $O(n \log n)$ [12, 18] cumpliendo con todas las características de la DFT descritas en el epígrafe en el paso 2.

### Función de filtro

Como se describió en el paso 3, las técnicas de filtrado en el dominio de frecuencia se basan en la modificación de la Transformada de Fourier para lograr un objetivo específico, en este caso, eliminar las altas frecuencias. Se puede eliminar de dos formas manual y automática. Para la forma automática existen tres tipos de filtro: paso bajo, paso alto



y paso banda. Para reducir de ruido periódico se utilizó filtro de paso bajo, que en el dominio de frecuencia significa poner a cero todos los componentes de frecuencia por encima de una frecuencia de corte. De la forma automática la frecuencia de corte  $F_c$  se obtiene de realizar el promedio de la frecuencia máxima  $F_{max}$  con la frecuencia mínima  $F_{min}$  en la ecuación siguiente:

$$F_c = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}$$

En este trabajo se propone otra forma de utilizar el filtro de paso bajo, no solo de la forma automática, sino también otra variante que llamaremos semiautomática, donde el usuario interactúa ofreciendo el valor de la  $F_c$ . En la solución se propone utilizar las tres formas de realizar el filtrado, a través de una máscara que se edita de forma manual, de la forma semiautomática y automática. A continuación se describe cada una de ellas.

### Creación de máscara de forma manual:

La imagen afectada (*Figura 9 a*) se le realiza la FFT, llevando la imagen a un espacio de frecuencia donde se muestra en forma de estrella los umbrales de frecuencias ocasionados por el ruido periódico (*Figura 9 b*), se edita el espectro de forma tal que elimine estas estrellas sin dañar la información original de la imagen (*Figura 9 c*) y seguido de esto se sintetiza la imagen a través de la IFFT (*Figura 9 d*).

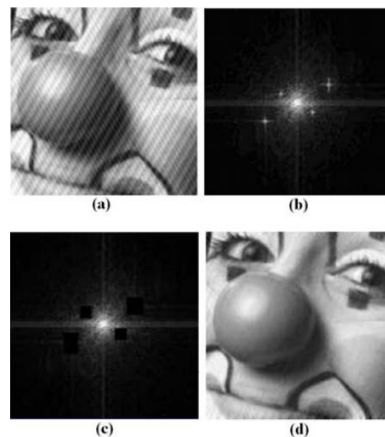


Figura 9: Espectro de la imagen editada manualmente [8]

Para realizar esta máscara es necesario la interacción con el usuario, donde éste, escoge las zonas afectadas y las cubre o rellena.

### Creación de máscara de forma Semiautomática:

Paso 1: Detectar y eliminar los umbrales de frecuencias modificados por el ruido en el espectro que se encuentren por encima de una frecuencia de corte establecida por el usuario (*Figura 18 a,b*).

Paso 2: Proteger la información original de la imagen a partir de un radio de protección establecido por el usuario.

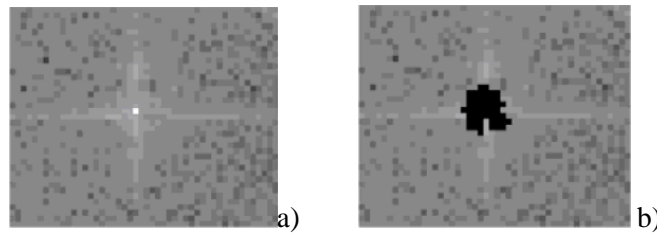


Figura 10: a) umbral de frecuencia detectado b) umbral de frecuencia eliminado a través de una frecuencia de corte [8]

Los puntos blancos en forma de estrella en el espectro (*Figura 18 a*) son los umbrales de frecuencias causados por el ruido. La zona en negro (*Figura 18 b*) corresponde a las frecuencias del espectro que se han eliminado.

### Creación de máscara de forma automática:

Paso 1: Detectar y eliminar los umbrales de frecuencias modificados por el ruido en el espectro que se encuentren por encima de una frecuencia de corte calculada automáticamente según la información de la imagen afectada (*Figura 10 a), b*).

Paso 2: Proteger la información original de la imagen a partir de un radio de protección establecido por el usuario.

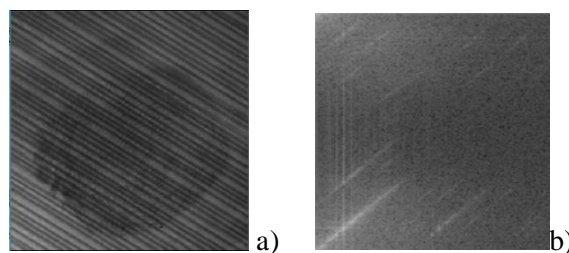
### Tecnologías Seleccionadas:

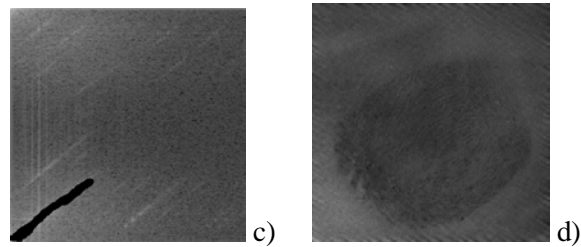
El trabajo se desarrolló en lenguaje de programación C++[34], se seleccionó el entorno de desarrollo integrado (IDE) Microsoft Visual Studio 2012[35, 36]. Para el trabajo con las imágenes se utilizó la biblioteca OpenCV [37, 38] y por último, para realizar la transformada rápida de Fourier se eligió la biblioteca FFTW [39] reduciendo la complejidad de la DFT de  $O(n^2)$  a  $O(n \log n)$ .

## Resultados y discusión

Como se mencionó, en este trabajo el tipo de filtrado se realizó de tres formas manual, semiautomático y automático. Garantizando así, calidad de la imagen resultante, velocidad del proceso y de fácil interacción con el usuario.

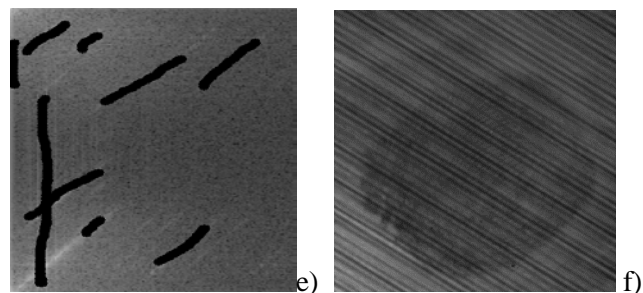
Filtro de forma manual:





La figura a) es un ejemplo de imagen afectada con ruido periódico, a la cual se le realizó la FFT obteniendo como resultado b) la imagen en el espectro (dominio de frecuencia), editando la máscara de filtro se obtiene c) y el resultado del filtrado es la figura d).

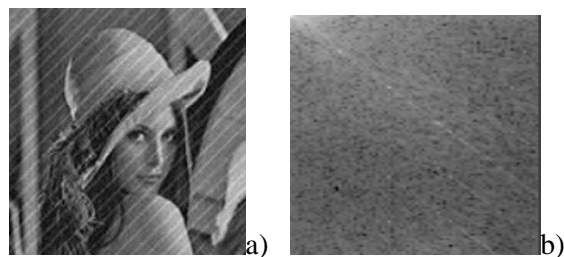
Como se puede apreciar en b) hay varias franjas blancas que se pueden observar en el dominio de frecuencia, por esto, hay que tener cuidado utilizando el filtro de forma manual ya que se puede perder información de la imagen o añadir nuevos ruidos. A continuación un contraejemplo de un buen resultado utilizando la misma figura a).

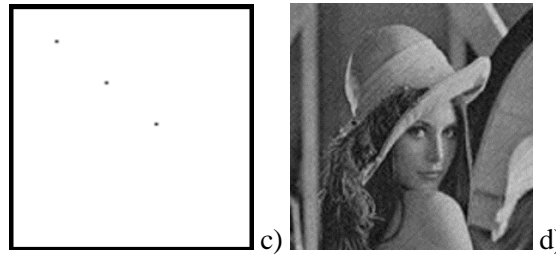


Como se muestra en la figura e) se eliminaron casi todas las franjas blancas, sin embargo, no la más importante, por lo que el resultado f) no fue satisfactorio. Por lo tanto, se puede decir que el resultado de utilizar el filtro de forma manual solo depende de los conocimientos y las habilidades del usuario, obteniendo una imagen con el ruido periódico reducido al realizar el proceso correctamente.

Aunque el resultado pueda tener buena calidad, el proceso manual genera un gran costo de tiempo, por ello se utilizó también el filtro de forma automático.

Filtro de forma automático:

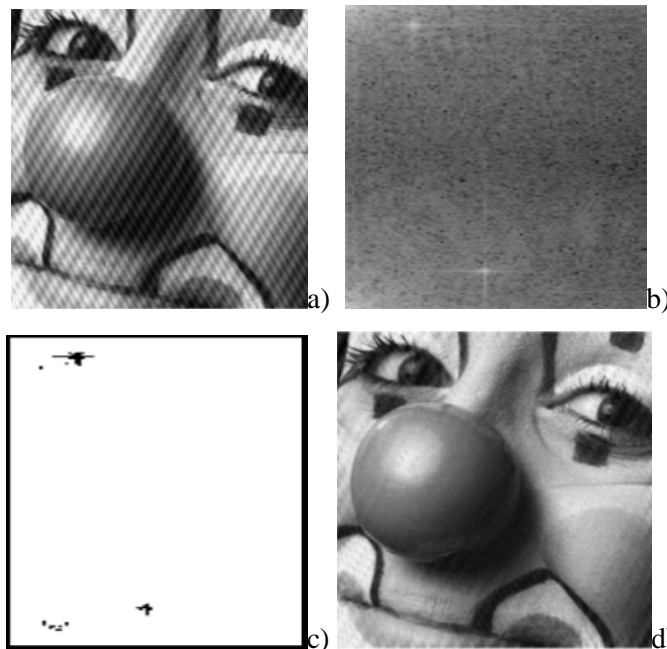




La imagen afectada a) con su espectro b) se le realizó el filtrado automático obteniendo la máscara c) y como resultado del filtrado de b) con c) se obtiene la imagen d).

Este tipo de filtro hace que el proceso de filtrado sea eficiente, reduciendo el tiempo que el usuario tiene que invertir en el mismo. Sin embargo, en ocasiones este tipo de filtrado puede eliminar algunas frecuencias que pertenecen a la información original de la imagen. Por ello se utilizó la forma semiautomática donde el usuario escoge la frecuencia de corte y obtener un mejor resultado.

Filtro de forma semiautomático:



La figura a) muestra una imagen afectada con ruido periódico y b) es el espectro de ésta. La imagen c) es el resultado de la máscara con una frecuencia de corte de 105, obteniendo como resultado de filtrar b) con c) la imagen d).

## Conclusiones

En este trabajo se obtuvo un método para la reducción del ruido periódico en imágenes digitales con la capacidad de

utilizar tres tipos de filtrado. Cada uno con características que proveen un mejor resultado en cuanto al tiempo, calidad de la imagen resultante y complejidad del proceso teniendo en cuenta los diferentes usuarios. Al utilizar el filtro de tipo manual se obtiene una imagen con mejor calidad pero genera costo de tiempo, con el automático, mayor velocidad y reduce un poco la calidad, y al utilizar el semiautomático encuentra un equilibrio entre velocidad del proceso y calidad resultante. Para llevar la imagen al dominio de frecuencia se utilizó la FFT y no así la DFT, obteniendo una transformada mucho más rápida, así como la IFFT para lo contrario.

## Referencias

- [1] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, 4 ed. PixelSoft. Los Altos, California, 2007.
- [2] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing : What Is Digital Image Processing?*, 2 ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, 2002.
- [3] T. Acharya and A. K. Ray, *Image Processing Principles and Applications*. Wiley. Hoboken, New Jersey, 2005.
- [4] X. Liu, M. Okutomi, and M. Tanaka, "Estimation for Blind Denoising," *IEEE transactions on image processing*, vol. 22, no. 12, pp. 5226-5237, 2013.
- [5] S. Alam, "Reduction of signal decorrelation from mechanical compression of tissues by temporal stretching," *Applications to electrograph. Ultrasound Med Biol* vol. 23, no. 2, pp. 95-105, 1997.
- [6] A.-K. Ashraf and A.-E. Helal, "A Novel Methodology for Digital Removal of Periodic Noise Using 2D Fast Fourier Transforms," *Contemporary Engineering Sciences*, vol. 7, no. 3, pp. 103-116, 2014.
- [7] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing : Introduction to the Fourier Transform and the Frequency Domain*, 2 ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, 2002.
- [8] P. Moallem and M. Behnampour, "Adaptive Optimum Notch Filter for Periodic Noise Reduction in Digital Images," *Electrical & Electronics Engineering* vol. 42, no. 1, pp. 1-6, 2010.
- [9] I. Aizenberg, "Frequency Domain Median-like Filter for Periodic and Quasi-Periodic Noise Removal," *SPIE (The International Society for Optical Engineering) Proceeding*, vol. 4667, pp. 181-191, 2002.
- [10] I. Aizenberg and C. Butakoff, "A windowed Gaussian notch filter for quasi-periodic noise removal," *Image and Vision Computing* vol. 26, no. 1, pp. 1347-1353, 2008.
- [11] Y. Xie, L. Chen, and U. G. Hofmann, "Reduction of periodic noise in Fourier domain optical coherence tomography images by frequency domain filtering," *Biomed Tech* vol. 57, no. 1, pp. 830-832, 2012.

- [12] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing : Periodic Noise Reduction by Frequency Domain Filtering* 2ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, 2002.
- [13] M. Hamd, "Auto Detection and Removal of Frequency Domain Periodic Noise," *Computer & Software Engineering*, vol. 978, no. 1, pp. 4799-5627, 2014.
- [14] T. Y. Ji, Z. Lu, and Q. H. Wu, "Optimal soft morphological filter for periodic noise removal using a particle swarm optimizer with passive congregation," *Signal Processing*, vol. 87, no. 11, pp. 2799-2809, 2007.
- [15] T. Y. Ji, Z. Lu, and Q. H. Wu, "Optimal morphological filter design using a bacterial swarming algorithm," *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 452-458, 2008.
- [16] S. Finn, "Echocardiographic speckle reduction comparison," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, vol. 58, no. 1, pp. 82-101, 2011.
- [17] S. Pyatykh, J. Hesser, and L. Zheng, "Image Noise Level Estimation by Principal Component Analysis," *IEEE transactions on image processing*, vol. 22, no. 2, pp. 688-699, 2013.
- [18] S. Wang, *Weighted Fourier Image Analysis and Modeling : Fourier transform*, 1 ed. ProQuest, Wisconsin, 2008.
- [19] K. Watson, "A 2D FFT filtering program for image processing with examples," *U.S. Department Of The Interior Geological Survey*, vol. 1, no. 1, pp. 92-265, 1992.
- [20] M. Grédiac, F. Sur, and B. Blaysat, "Removing quasi-periodic noise in strain maps by filtering in the Fourier domain," 1 ed. Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal: Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications, Université de Lorraine, France, 2015.
- [21] F. Sur, "An A-Contrario Approach To Quasi-Periodic Noise Removal," *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, vol. 978, no. 1, pp. 3841-3845, 2015.
- [22] Syntronics. (2015, Octubre, 2016). *LatentMaster Software*. Available: <http://syntronics.net/latentmaster-software.html>
- [23] FMA. (2013, Octubre, 2016). *Forensic Multimedia Analysis : Amped Five Latent Print Analysts*. Available: <http://forensicphotoshop.blogspot.com/2013/04/amped-five-for-latent-print-analysts.html>
- [24] Cognitech. (2014, Enero, 2017). *Video Investigator: Video enhancement software*. Available: <https://www.cognitech.com/index.php/products/cognitech-trisuite-14/cognitech-video-investigator/>
- [25] GIMP. (2009, Septiembre, 2015). *GIMP Plugin Registry*. Available: <http://registry.gimp.org/node/19596>
- [26] RetouchPro. (2007, Noviembre, 2015). *Using the FFT filter to remove photographic paper texture*. Available: <http://retouchpro.com/tutorials/?m=show&id=185>

- [27] ClearID. (2015, Noviembre, 2016). *ClearID : Forensic Image Clarification & Analysis*. Available: <https://www.oceansystems.com/forensic/forensic-Photoshop-Plugins/specs.php#noise>
- [28] L. Zhang, *Image Restoration*. School of Software Engineering Tongji University: Spring, 2013.
- [29] E. Glynn, "Fourier Analysis and Image Processing," *Scientific Programmer Bioinformatics*, 2007.
- [30] F. Sur and M. Grédiac, "Automated removal of quasi periodic noise using frequency domain statistics," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 24, no. 1, pp. 1-19, 2015.
- [31] V. Govindaraj, S. Saravanakumar, and V. d. Gokul, "Removal of Moiré Pattern Noise in Images using Median and Gaussian Filter," *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, vol. 2, no. 2, pp. 2278-7798, 2013.
- [32] M. S. Nixon and A. S. Aguado, *Feature Extraction and Image Processing : Images, sampling and frequency domain processing*, 1 ed. Linacre House, Jordan Hill, Oxford, 2002.
- [33] A. Hladnik, T. Muck, M. Stanic, and M. Cernic, "Fast Fourier Transform in Papermaking and Printing: Two Application Examples," *Acta Polytechnica Hungarica*, vol. 9, no. 5, pp. 155-166, 2012.
- [34] B. Stroustrup, *The C++ Programming Language*, 3 ed. AT&T Labs. Murray Hill, New Jersey, 1997.
- [35] V. Studio. (2015, Octubre, 2016). *Microsoft Corporation - Microsoft Visual Studio*. Available: <http://www.microsoft.com/visualstudio/esn/>
- [36] V. Studio, *Microsoft Visual Studio 2012 Product Guide*. Microsoft Corporation, 2012.
- [37] OpenCV. (2012, Febrero, 2015). *Intel Corporation OpenCV*. Available: <http://opencv.org/>
- [38] G. Bradski and A. Kaehler, *Learning OpenCV*, 1 ed. O'Reilly Media. Gravenstein Highway North, Sebastopol, 2008.
- [39] M. Frigo and S. G. Johnson, "The Design and Implementation of FFTW3," *IEEE*, vol. 93, no. 2, pp. 216-231, 2005.