

MANIPULACIÓN DEL ESPECTRO DE UNA FUNCIÓN BIDIMENSIONAL PARA REALCE DE DEFECTOS SUPERFICIALES EN PIEZAS METÁLICAS

González Javier¹, Calvo Camilo², Cruz José³, Tolosa Jorge⁴

Resumen. Este trabajo tiene el objetivo de mostrar los resultados obtenidos a través de la manipulación del espectro de una función bidimensional para realzar los defectos superficiales en piezas metálicas. La función bidimensional corresponde a una imagen de intensidades tomada sobre una pieza metálica y a través de la transformada discreta de Fourier bidimensional se ha trasladado al dominio de la frecuencia para ser alterada por un banco de filtros.

Palabras Claves: Filtrado digital, dominio de la frecuencia, Piezas Metálicas.

Abstract. This paper shows results obtained through the manipulation of two-dimensional spectrum from a function for enhance the surface defects in metal parts. Bidimensional function corresponds to an intensity image taken on a metal part and through the two-dimensional discrete Fourier transform is moved to the frequency domain to be changed by a filter bank.

Keywords: Digital filtering, frequency domain, Metallic part.

Recibido: Abril, 2012

Aceptado: Junio, 2012

I. INTRODUCCION

Una imagen digital es una función bidimensional $A(x,y)$ en el dominio del espacio, que se describe a través de una matriz que posee un conjunto de valores discretos de intensidades de luz reflejada por un objeto. El procesamiento básico de una imagen digital se puede realizar, en el dominio del espacio, a través de la convolución discreta en la cual interviene la función $A(x,y)$ y una función denominada máscara $H(x,y)$ y se obtiene una función de salida $B(x,y)$ [1]. Ver ecuación 1.

$$B(x, y) = A(x, y) * H(x, y) \quad (1)$$

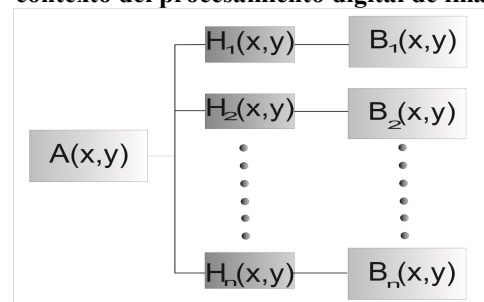
El proceso basado en la convolución discreta, descrito en la ecuación 1 también se denomina filtrado digital y la función $H(x,y)$ puede tomar diferentes valores que dependen de su aplicación. Tradicionalmente se han utilizado diferentes tipos de máscaras u operadores como: Prewit, Sobel, Kirsch y Gabor, en diversas aplicaciones del procesamiento digital de imágenes [2].

Como un método de aplicación del proceso de convolución, se han desarrollado los bancos de filtros, en el cual se tiene una función de entrada $A(x,y)$ y es procesada por un arreglo en paralelo de filtros $H_n(x,y)$, como se ilustra en la figura 1.

FIGURA 1

Manipulación del espectro de una función bidimensional para realce de defectos superficiales en piezas metálicas

Estructura de un banco de filtros aplicado al contexto del procesamiento digital de imágenes



El arreglo de filtros $H_n(x,y)$, son un grupo de funciones diseñadas previamente con la finalidad de extraer o resaltar características, en el dominio del espacio, de la función de entrada $A(x,y)$. Dentro de las principales características que son analizadas en el procesamiento digital de imágenes, es la textura, definida como la propiedad de los píxeles de presentar cambios en sus valores asociados a las irregularidades de la superficie del objeto [3].

Cada uno de los filtros $H_n(x,y)$ poseen una función base con sus respectivas expansiones en el dominio del espacio y de la frecuencia. Los bancos de filtros espaciales se utilizan en aplicaciones diversas como estrategias para eliminación de ruido (*denoising*) [4,5], análisis del proceso de diezmado [6], compresión de

¹González Barajas Javier, Magister en Ingenierías - Área Electrónica, UIS. Docente – Investigador. Facultad de Ingeniería Electrónica. Universidad Santo Tomás. Bogotá. Colombia. (e_mail: Javiere_gonzalez@yahoo.com.mx).

²Calvo Camilo, Fac. Ing. Electrónica. Universidad Santo Tomás. Bogotá Colombia. (e_mail: cam_calvo@ieee.org).

³Cruz José Manuel, Facultad de Ingeniería. Electrónica. Universidad Santo Tomás. Bogotá Colombia. (e_mail: joseman61@hotmail.com).

⁴Tolosa Jorge Andrés, Facultad de Ingeniería Electrónica. Universidad Santo Tomás. Bogotá Colombia. (e_mail: georgetpr@hotmail.com).

imágenes [7,8,9], codificación de imágenes [10], segmentación de imágenes[11], marcas de agua [12], restauración de imágenes [13].

En el análisis de texturas, a través del uso de banco de filtros, ha sido reportado en la literatura con resultados positivos para aplicaciones de segmentación [14], reconocimiento de objetos [15], extracción de información de la magnitud y fase del espectro [16] y recuperación de imágenes [17,18].

Para el estudio de defectos superficiales de piezas metálicas, se han desarrollado aplicaciones del procesamiento digital de imágenes, aplicadas principalmente para el pre-procesamiento de las imágenes adquiridas para la inspección superficial de elementos, a través de operaciones morfológicas en el dominio del espacio [19]. En aplicaciones industriales, como es el caso de la inspección de superficies, el estudio de las texturas ha sido de gran utilidad para la identificación de patrones [20], para la caracterización de regiones con patrones dinámicos [21]. En el caso del estudio superficial de metales, ya se ha evidenciado resultados del uso del procesamiento digital de imágenes para la caracterización de corrosión superficial en piezas metálicas [22].

Tradicionalmente las aplicaciones del procesamiento digital de imágenes, para inspección superficial de piezas metálicas, son implementadas en el dominio del espacio. Por lo cual se propone en este trabajo el diseño e implementación de una técnica basada en banco de filtros para la manipulación en el dominio de la frecuencia de piezas metálicas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño del banco de filtro, se debe tener en cuenta que la función de entrada $A(x, y)$ posee un espectro $A(u, v)$ el cual puede ser calculado a través de la transformada discreta de Fourier bidimensional (FFT2) (Ecuación.2).

$$A(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} A(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M}\right)} \quad (2)$$

Para obtener una modificación del espectro de la función de entrada $A(x, y)$, se procede a multiplicar su función en el dominio de la frecuencia $A(u, v)$, por la función $H(u, v)$ que desempeña el papel de una máscara en el dominio espectral. Ver Ecuación.3.

$$B(u, v) = A(u, v) \cdot H(u, v) \quad (3)$$

El nuevo espectro, contenido en la función $B(u, v)$, es el resultado del producto del espectro de la función de entrada y la máscara aplicada. La

nueva imagen se obtiene a partir de la transformada bidimensional de Fourier Inversa (IFFT2). Ver Ecuación 4.

$$B(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{M-1} B(u, v) e^{j2\pi\left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M}\right)} \quad (4)$$

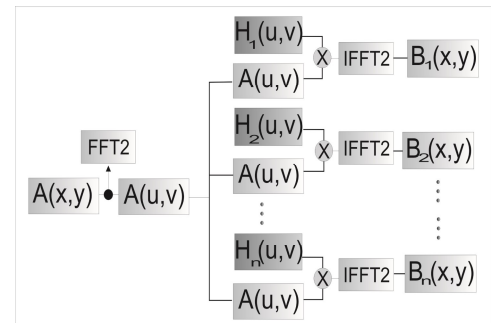
Teniendo en cuenta el procesamiento en el dominio de la frecuencia de una imagen digital, se diseña la arquitectura del banco de filtros que opera basados en máscaras $H_n(u, v)$, como se aprecia en la figura 2.

El sistema implementado (ver figura 2) se basa en el diagrama de bloques expuesto en la figura 1. El sistema toma una imagen adquirida en intensidades de grises $A(x, y)$ de dimensiones $N \times N$ y extrae su espectro $A(u, v)$ a través de la FFT2. El espectro $A(u, v)$ es sometido a un conjunto de máscaras $H_n(u, v)$ las cuales son funciones diseñadas para modificar el espectro. Se han diseñado dos tipos de máscaras básicas: pasa bajos y pasa altos.

La máscara pasa bajo se caracteriza por tener una función descrita en la ecuación 5. Donde L es el radio que delimita la banda de paso y n es un número entero.

FIGURA 2

Manipulación del espectro de una función bidimensional para realce de defectos superficiales en piezas metálicas
Diagrama de bloques del diseño del sistema de filtrado en el dominio de la frecuencia. El sistema toma una imagen de entrada $A(x,y)$ y aplica, en el dominio de la frecuencia, un conjunto de máscaras $H_n(u,v)$



El índice n está definido para $1 < n < N/L$. Siendo N la dimensión de la matriz de entrada $A(x, y)$. El papel que juega el índice n es el de aumentar el área del ancho de banda de la máscara a medida que se incrementa su valor.

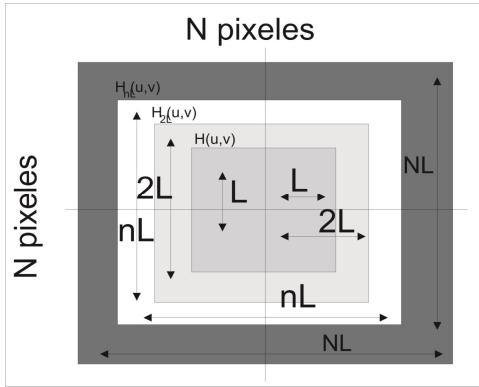
$$H_n(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{si } u < L \cdot n \text{ y } v < L \cdot n \\ 0 & \text{si } u > L \cdot n \text{ y } v > L \cdot n \end{cases} \quad (5)$$

La figura 3 ilustra el comportamiento de la máscara pasa bajos $H_n(u, v)$ a medida que se incrementa el valor n . La finalidad de la máscara pasa bajos es la de atenuar las altas frecuencias que posee la función $A(u, v)$ y solo permitir estudiar cómo influyen las bajas frecuencias en la imagen y determinar que características están relacionadas con las bajas frecuencias.

FIGURA 3

Manipulación del espectro de una función bidimensional para realce de defectos superficiales en piezas metálicas

Comportamiento de la máscara pasa bajos $H_n(u, v)$. Al inicio la máscara tiene una dimensión de $2L \times 2L$ y se puede apreciar que, para cada iteración el área, de la máscara pasa bajos aumenta acorde a nL .



Para el caso de la máscara pasa altos, se ha diseñado una función descrita en la ecuación 6.

$$H_n(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{si } u < L * n \text{ y } v < L * n \\ 1 & \text{si } u > L * n \text{ y } v > L * n \end{cases} \quad (6)$$

La finalidad de la máscara pasa altos consiste en permitir estudiar que características de la imagen se realzan con las altas frecuencias.

III. RESULTADOS

Las imágenes de prueba fueron adquiridas a través de un microscopio *Celestron 4302* con resolución de 1.3M pixeles y un zoom óptico de 150x. El radio inicial de la máscara pasa bajos fue $L=1$ y para cada iteración L aumentaba en una distancia de 10 pixeles. La dimensión de la imagen es de 1024 x 1024 pixeles. En la figura 4 se aprecia una imagen de prueba adquirida de la superficie de una pieza metálica sin defectos, solo se aprecian los pequeños canales de la muestra.

FIGURA 4

Manipulación del espectro de una función bidimensional para realce de defectos superficiales en piezas metálicas

Imagen de prueba tomada de una superficie sin defectos.

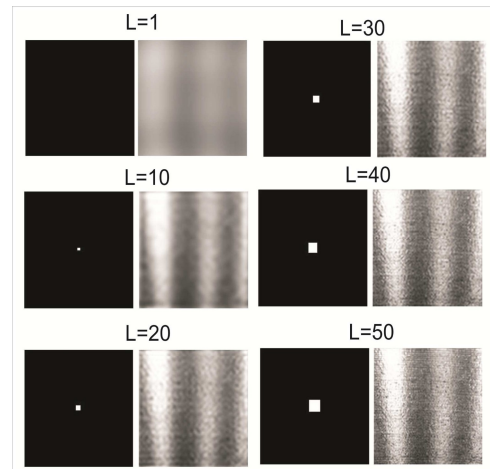


En la figura 5 se aprecia el resultado de la aplicación de la máscara pasa bajos para cuatro diferentes valores de L .

FIGURA 5

Manipulación del espectro de una función bidimensional para realce de defectos superficiales en piezas metálicas

Resultado obtenido con la máscara pasa bajos $H_n(u, v)$, para $n=1, n=10, n=30$ y $n=50$. A partir de $n=40$ se puede obtener una imagen clara del sujeto

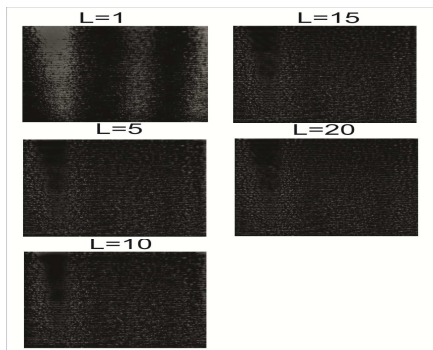


Se puede ver en la figura 5, que a partir de $L=50$, la imagen es suficientemente clara. El resultado de este primer experimento permite determinar el conjunto de bajas frecuencias que están relacionadas con las características propias de la superficie de la pieza metálica sin defectos. El mismo experimento se realiza con la máscara pasa alto y el resultado se puede apreciar en la figura 6.

FIGURA 6

Manipulación del espectro de una función bidimensional para realce de defectos superficiales en piezas metálicas

Resultado obtenido con la máscara pasa altos $H_n(u,v)$, para $n=1$, $n=2$, $n=3$ y $n=4$



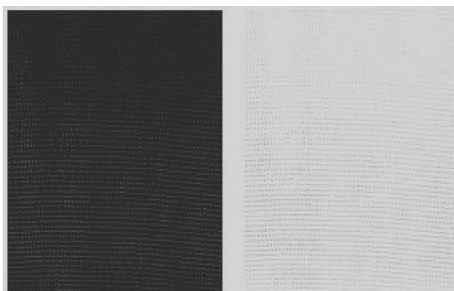
La figura 6 permite ver que las altas frecuencias están altamente relacionadas con los bordes característicos de los canales de la pieza. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con las máscaras pasa bajos y pasa altos, se puede determinar el rango de frecuencias que determinan las características propias de la pieza metálica. Al unir estos dos tipos de filtros se puede obtener un filtro pasa banda.

En la figura 7 se puede apreciar el resultado obtenido de procesar la imagen de prueba con un filtro pasa banda y su resultado obtenido al extraer su versión negativa.

FIGURA 7

Manipulación del espectro de una función bidimensional para realce de defectos superficiales en piezas metálicas

Resultado obtenido de procesar la imagen de prueba con el filtro pasa banda construido a partir de las máscaras para alto y pasa bajo (izquierdo). Posteriormente se ha realizado a extraer la versión negativa de la imagen procesada (derecho)



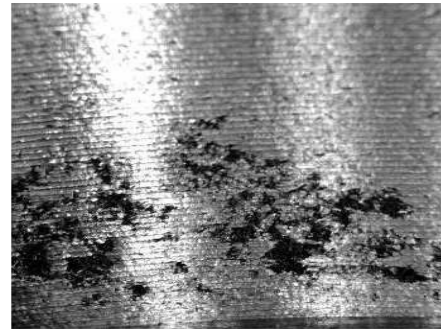
El resultado obtenido con el filtro pasa banda permite obtener un realce de la textura asociada a los patrones propios de la pieza metálica sin defectos. Este proceso facilita la posterior realización de operaciones de binarización y segmentación de la imagen. Este resultado permite obtener el ancho de banda de las componentes espectrales asociadas a los patrones normales de la pieza bajo estudio.

Esta información aportada por el filtro pasa banda, puede ser utilizada para detectar imperfecciones como las que se pueden apreciar en la imagen adquirida sobre la superficie de la pieza, como se ilustra en la figura 8.

FIGURA 8

Manipulación del espectro de una función bidimensional para realce de defectos superficiales en piezas metálicas

Imagen tomada de una superficie con defectos

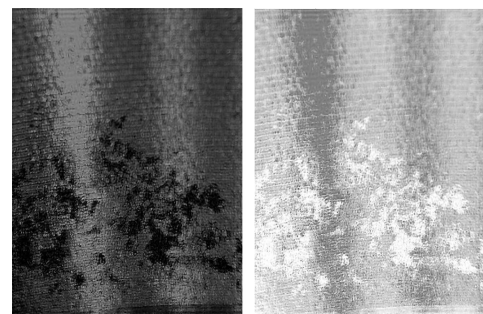


La imagen que contiene defectos superficiales se ha procesado por un filtro rechaza banda, diseñado a partir de las máscaras para altos y pasa bajos. El filtro rechaza banda cumple la función contraria al pasa banda y se ha aplicado a la imagen con defectos para atenuar las frecuencias de los patrones normales de la pieza. El resultado obtenido se ilustra en la figura 9.

FIGURA 9

Manipulación del espectro de una función bidimensional para realce de defectos superficiales en piezas metálicas

Imagen tomada de una superficie con defectos procesada con un filtro rechaza banda, con la finalidad de atenuar los patrones normales y resaltar los defectos superficiales.



Como se pudo apreciar en la figura 9, se han atenuado las frecuencias de los patrones normales y como resultado se puede detallar los defectos superficiales. Esta operación permite la fácil detección de alguna textura que no pertenezca a los patrones de la pieza sin defecto.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha generado una aplicación basada en la aplicación de bancos de filtros

basados en la generación de máscaras pasa bajos y pasa altos que procesan una imagen en el dominio de la frecuencia. Los resultados presentados han demostrado la utilidad del banco de filtros en el contexto de imágenes utilizadas para la inspección superficial de piezas metálicas.

La manipulación del espectro de la imagen digital, a través de los filtros para banda y rechaza banda, permitió poder resaltar los píxeles que hacen de los patrones normales de la pieza metálica, facilitando un posterior proceso de binarización y segmentación de la imagen. Al conocer las componentes espectrales propias de los patrones normales de la pieza, se ha facilitado la implementación de un filtro rechaza banda con la finalidad de atenuar estos patrones.

El filtro rechaza banda cumple con la labor de resaltar las componentes espectrales de los defectos superficiales, permitiendo posteriores procesos de binarización y segmentado.

V. AGRADECIMIENTOS

Los resultados obtenidos en este trabajo fueron logrados dentro de los objetivos del proyecto “Diseño e implementación de una herramienta para la caracterización de defectos superficiales en piezas metálicas a través del procesamiento digital de imágenes”, financiado por la convocatoria interna de proyectos de grupos de investigación, realizada por la unidad de investigación y postgrados de la Universidad Santo Tomás.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

- [1] **GONZALEZ , WOODS R.** (2008). “*Procesamiento Digital de Imágenes*”. New Jersey, USA: Prentice Hall, pp120 - pp144.
- [2] **PAJARES G.** (2008). “*Ejercicios Resueltos de Visión por Computador*”. México D.F., México: Alfaomega-RaMa, pp115-pp142.
- [3] **PAJARES G.** (2002). “*Visión por Computador*”. México DF, México: Alfaomega. p250.
- [4] **ZAO-CHAO BAO; XIN-GE YOU; CHUN-FANG XING; QING-YAN HE.** (2007). “*Image Denoising by using Non-Tensor Product Wavelets Filter Banks*”, Machine Learning and Cybernetics, 2007 International Conference on, vol.3, no., pp.1734-1738, 19-22.
- [5] **WEIHUA LIU; MINGYI HE; PENGLANG SHUI; YUANYUAN CHENG.** (2009). “*Residue-based fusion of denoised images by different filter Banks*”, Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on , vol., no., pp.2420-2423, 25-27.
- [6] **KHAN, M.A.U.; KHAN, M.K.; KHAN, M.A.** (2005). “*Comparative Analysis of Decimation-Free Directional Filter Bank with Directional Filter Bank: In Context of Image Enhancement*”, 9th International Multitopic Conference, IEEE INMIC 2005 , vol., no., pp.1-8, 24-25.
- [7] **KOTTERI, K.A.; BELL, A.E.; CARLETTA, J.E.** (2004). “*Design of multiplierless, high-performance, wavelet filter banks with image compression applications*”, Circuits and Systems I: Regular Papers, IEEE Transactions on , vol.51, no.3, pp. 483- 494.
- [8] **QUIRK, M.D.; BRISLAWN, C.M.** (2004). “*Existence of optimal paraunitary finite impulse response filter banks for continuous objective functionals [JPEG-2000 image compression applications]*”, Digital Signal Processing Workshop, 2004 and the 3rd IEEE Signal Processing Education Workshop. 2004 IEEE 11th , vol., no., pp. 44- 48, 1-4.
- [9] **GORNALE, S.S.; HUMBE, V.T.; JAMBHORKAR, S.S.; YANNAWAR, P.; MANZA, R.R.; KALE, K.V.** (2007). “*Multi-Resolution System for MRI (Magnetic Resonance Imaging) Image Compression: A Heterogeneous Wavelet Filters Bank Approach*”, Computer Graphics, Imaging and Visualisation, 2007. CGIV '07 , vol., no., pp.495-500, 14-17.
- [10] **LOTFY, M.; RASHWAN, A.** (2006). “*A Comparative Study of Multirate Filter-Bank Structures for Wavelet Image Coding*”, Radio Science Conference, 2006. NRSC 2006. Proceedings of the Twenty Third National, vol.0, no., pp.1-8, 14-16 March.
- [11] **ERER, I.; KENT, S.; KARTAL, M.** (2008). “*SAR image segmentation using 2D four channel filter bank with lattice structure*”, Radar Conference. RADAR '08. IEEE , vol., no., pp.1-4, 26-30 May.
- [12] **MIYAZAKI, A.** (2003). “*On the evaluation of wavelet filter banks for wavelet-based image watermarking*”, Image and Signal Processing and Analysis. ISPA 2003. Proceedings of the 3rd International Symposium on , vol.2, no., pp. 877- 882 Vol.2, 18-20 Sept. 2003.
- [13] **ZHANG, X.; WANG, S.** (2006). “*Image restoration using truncated SVD filter bank based on an energy criterion*”, Vision, Image and Signal Processing, IEE Proceedings - , vol.153, no.6, pp.825-836, December.
- [14] **HONG, P.S.; KAPLAN, L.M.; SMITH, M.J.T.** (2003). “*Hyperspectral image segmentation using filter banks for texture augmentation*”, Advances in Techniques for Analysis of Remotely Sensed Data, 2003 IEEE Workshop on, vol., no., pp. 254- 258, 27-28 October.
- [15] **YOUSUN KANG; KIDONO, K.; NAITO, T.; NINOMIYA, Y.** (2008). “*Multiband image segmentation and object recognition using texture filter Banks*”, Pattern Recognition. ICPR 2008. 19th International Conference on , vol., no., pp.1-4, 8-11 Dec. 2008.
- [16] **VO, A.P.N.; ORAINTARA, S.; NGUYEN, T.T.** (2007). “*Using Phase and Magnitude Information of the Complex Directional Filter Bank for Texture Image Retrieval*”, Image Processing. ICIP 2007.

- IEEE International Conference on , vol.4, no., pp.IV-61-IV-64, Sept. 16 2007-Oct. 19 2007.
- [17] **VO, A.P.N.; NGUYEN, T.T.; ORAINTARA, S.** (2006). “*Texture image retrieval using complex directional filter bank*”. Circuits and Systems, 2006. ISCAS 2006. Proceedings. IEEE International Symposium on , vol., no., pp.4 pp.-5498, 0-0 0.
- [18] **ZHENYU HE; XINGE YOU; YUAN YAN TANG; WANG, P.; YUN XUE.** (2006). “*Texture Image Retrieval Using Novel Non-separable Filter Banks Based on Centrally Symmetric Matrices*”, Pattern Recognition. ICPR 2006. 18th International Conference on , vol.4, no., pp.161-164, 0-0 0.
- [19] **HASHIM, H.S.; PRABUWONO, A.S.; SHEIKH ABDULLAH, S.N.H.** (2010). “*A study on pre-processing algorithms for metal parts inspection*”. Energy, Power and Control (EPC-IQ), 1st International Conference on , vol., no., pp.195-198, Nov. 30 2010-Dec. 2 2010.
- [20] **NGAN, H.Y.T.; PANG, G.K.H.** (2009). “*Regularity Analysis for Patterned Texture Inspection*”. Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on , vol.6, no.1, pp.131-144, Jan.
- [21] **CHUANZHEN LI; JINGLING WANG; LONG YE; HUI WANG.** (2009). “*A Novel Method of Dynamic Textures Analysis and Synthesis*” Computational Sciences and Optimization. CSO 2009. International Joint Conference on , vol.2, no., pp.328-332, 24-26 April 2009.
- [22] **GARZÓN R., J., C. BARRERO, K. E. GARCÍA, F. PÉREZ, J. GALEANO, A. SALAZAR, AND H. LORDUY.** (2006). “*Morphological analysis and classification of types of surface corrosion damage by digital image processing*”. Revista Colombiana de Física 38, no. 2: 557-560.