

Evaluación de discontinuidades tipo grietas y fisuras en estructuras de hormigón empleando un analizador de vibraciones y procesamiento digital de imágenes

Brayan Tarazona, Camilo Sandoval

Ingeniería Electromecánica

Unidades Tecnológicas de Santander

Bucaramanga, Colombia

btarazona@correo.uts.edu.co, csandoval@correo.uts.edu.co

Descriptors— Mechanical vibrations, Visual inspection of structures, wavelet transform, algorithm and discontinuities.

Resumen— En esta investigación se realiza una evaluación de discontinuidades tipo grietas y fisuras en estructuras de hormigón como alternativa para su identificación, en la cual se expone el diseño y construcción de un analizador de vibraciones, para la caracterización de los datos obtenidos por medio de un sensor laser modelo M70LL de MEL tras la aplicación la transformada wavelet; el procesamiento de los datos obtenidos se realiza mediante un análisis estadístico de promedios y desviación de cada placa, para normalizar los resultados empleando un cartograma dividido en 64 espacios (correspondientes a cada zona evaluada), representados por uno de 5 colores (azul, verde, amarillo, terracota y rojo) el cual a mayor intensidad, evidencia la posibilidad de anomalía en esa zona. Con estos resultados se busca corroborar la presencia de anomalías estructurales presentes por medio de un sistema de visión artificial, basado en técnicas de procesamiento digital de imágenes.

Palabras clave— Vibraciones mecánicas, Inspección visual de estructuras, transformada wavelet, visión artificial y discontinuidades.

Abstract— In this research, an evaluation of cracks type discontinuities in concrete structures is made as an alternative for their identification, in which the design and construction of a vibration analyzer is exposed, for the characterization of the data obtained by means of a sensor laser model M70LL of MEL after the application of the wavelet transform; the processing of the obtained data is done by means of a statistical analysis of averages and deviation of each plate, to normalize the results using a cartogram divided into 64 spaces (corresponding to each evaluated area), represented by one of 5 colors (blue, green, yellow, terracotta and red) which, at a higher intensity, evidences the possibility of anomaly in that area. With these results, it is sought to corroborate the presence of structural anomalies present through an artificial vision system, based on digital image processing techniques.

I. INTRODUCCIÓN

EN la sociedad moderna [1], la construcción empleando concreto el cual es el material de construcción más popular hasta el momento y ha contribuido significativamente a la infraestructura en constante expansión, no obstante, este material sufre daños debido a cargas externas causadas por las fluctuaciones de temperatura y carga dinámica y estática [2]. Existen diversos sondeos de defectos de concreto [3] y estudios en estructuras de hormigón como colapsos [4], análisis de confiabilidad de la durabilidad [5], estático y dinámico no lineal [6], numérico [7], sísmico probabilístico [8], detección de daños por congelación y descongelación [9], análisis de imágenes [10] y análisis de vibraciones [11], método basado en ondas [12], entre otras para detectar fisuras, grietas [13] y porosidades.

El análisis de vibraciones [14] en estructuras de hormigón tiene fundamentalmente dos vertientes de aplicación. Por un lado, el modelar o medir la respuesta de la estructura ante ciertos tipos de excitaciones, puede servir para evaluar potenciales daños sufridos, estimando con ello el nivel de daño estructural e incluso, la posición en la que se presenta este debilitamiento [15]. Por otro lado, la transformada wavelet [16] ha sido empleada para el modelado de una grieta de fatiga en una estructura plana en el cual se realiza el Análisis Modal realizado a varios Modelos de Elementos Finitos de una armadura plana con el objeto de detectar la presencia de una grieta transversal en uno de sus elementos a partir del análisis de los desplazamientos nodales del primer modo a flexión por medio de la transformada de Wavelet [17]. Una alternativa paralela al estudio por medio de vibraciones, es la

implementación de algoritmos en visión [18] empleado Matlab, el cual permite el procesamiento de imágenes [19], con la confianza de utilizar algoritmos científicamente probados y robustos para trabajar con imágenes binarias, transformaciones geométricas, morfológicas y manipulación de color como alternativa para la identificación o detecciones de alteraciones estructurales [20].

Tomando en cuenta lo anterior, el presente trabajo plantea una comparación entre dos métodos no destructivos para la evaluación de discontinuidades tipo fallas y grietas en estructuras de hormigón por medio de un analizador de vibraciones [21] y un sistema de detección autónomo mediante el procesamiento digital de imágenes [22].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales

1) Estructuras de Hormigón (Ver figura 1.)

Se diseñan 5 placas como material de estudio con las siguientes características:

- Concreto de 3000 PSI,
- Fraguado Durante 27 días
- Dimensiones 0.80 m * 0,80 m * 0,04 m
- Peso de 65 kg cada una.



Fig. 1 Placa de Estudio 01

2) Analizador de Vibraciones

a) Componentes del sistema de Análisis de Vibraciones

En el diseño y construcción del medidor se empleó un computador portátil, un sensor laser de desplazamiento MEL M70LL para la recepción de datos con un rango de medida

desde 0.5mm hasta 200mm, resolución hasta de 0.05 μ m, ancho de banda hasta 100kHz y Opciones de salida: Analógica o digital en corriente y tensión, también ETHERNET, compatible con la Tarjeta NI USB 6001 comunicadas entre sí, por medio de la unidad electrónica MEL M70LL de forma manera analógica o digital mediante el estándar RS-232. Adicionalmente, se utilizó una maleta plástica tipo pelican para albergar todos los componentes del sistema de manera práctica y portátil.

B. Equipo de Excitación

Para excitar las placas el cual fue necesaria la utilización de la mesa de vibraciones del Laboratorio de Diseño de Maquinas de las Unidades Tecnológicas de Santander [23].

3) Sistema de visión Artificial

En el sistema de visión artificial, basado en técnicas de procesamiento digital de imágenes se emplean los siguientes equipos: un computador portátil, una cámara profesional y el software Matlab para la construcción del algoritmo de procesamiento.

C. Metodos

La evaluación de las discontinuidades se planteó en dos métodos como alternativa para la identificación o detecciones de alteraciones estructurales así:

1) Metodología para el Análisis de Vibraciones

Para la realización de las pruebas con el analizador, cada una de las placas se secciono en 64 cuadros del mismo tamaño, 8 filas y columnas de 10 cm cada una, acotadas con el fin de evaluar de forma específica la placa (Ver figura 1) y generar un cartograma con el fin de evidenciar las discontinuidades.

Mediante el algoritmo procesador ON-LNE (Ver Figura 2), se adquieren y transforman los datos entregados por el sensor de desplazamiento mediante la tarjeta de adquisición de datos, la aplicación DAQ assistant comunica la tarjeta de adquisición con el software LabVIEW, seguidamente mediante las librerías de Matlab (Matlab script), se decodifican los datos mediante la transformada wavelet, para obtener los coeficientes de estos. Los valores obtenidos se almacenan en forma de datos de coordenadas para graficar, la cantidad de datos almacenados se toman por el sistema durante 10 segundos, luego de dar inicio a la ejecución de programa en LabVIEW.

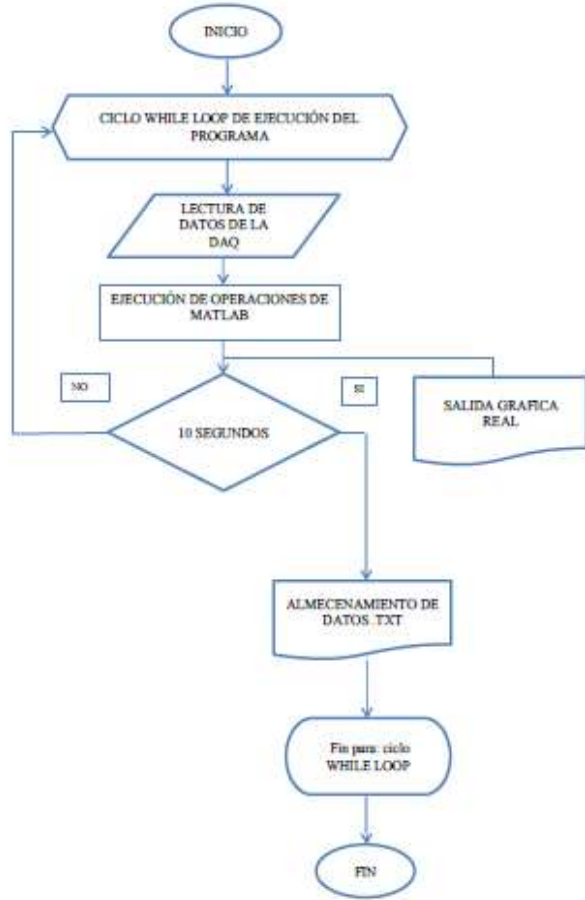


Fig. 2 Algoritmo de procesamiento ON-LINE

Posteriormente por medio de un algoritmo de procesamiento de datos OFF-LINE (Ver figura 3) para tratamiento de información el cual se dividió en dos etapas: en la primera parte se emplea el software Matlab utilizando los datos obtenidos y determinando las siguientes características de: valores pico, valores de energía, valores RMS y coeficientes wavelet. La segunda fase emplea el programa Excel para realizar un análisis estadístico, calculando el promedio y la desviación de cada fila y columna, precedido por el cálculo de porcentaje de desviación sobre el promedio de cada fila para determinar el valor de cada una, con esos datos se procede a determinar el valor numérico de cada zona. Finalmente se normalizan los datos, el valor de cada zona se divide con el valor numérico mayor en la placa a estudiar, esto permite ponderar cada zona de 0-1 siendo el valor máximo el 100 %.

Con el resultado de los datos analizados en la normalización se genera un Cartograma con ponderaciones de 0 – 0,2 con una intensidad de color Azul; 0,21-0,4 Verde; 0,41—0,6 Amarillo; 0,61-0,8 Terracota y 0,801 a 1 (La intensidad del color

aumenta de acuerdo a la posibilidad de existencia de discontinuidad tipo grieta o fisura).

1) Metodología para el desarrollo del Sistema de visión Artificial

El Sistema de visión artificial para el procesamiento de imágenes tiene como objetivo mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean hacer notar. Se realiza un registro fotográfico (130 fotos) por un fotógrafo profesional con una cámara Nikon D5300 con Wi-Fi + Lente 18-55 mm 24,2 mpx.

De las tomas fotográficas se seleccionaron las adecuadas teniendo en cuenta tres aspectos: Nitidez (iluminación), Posición (Ubicación y enfoque) y Calidad, con el fin de evitar errores a la entrada del algoritmo desarrollado en Matlab. En la figura 4 se evidencia el diagrama de flujo del paso a paso al que fue sometida cada una de las imágenes desde la lectura de la imagen, tratamiento de escalas de grises, filtro especial, generar los arreglos morfológicos, realizar el histograma, binarizar la imagen arreglada, calcular el área para finalmente entregar los resultados de la imagen tratada.



Fig. 3 Algoritmo de procesamiento OFF-LINE

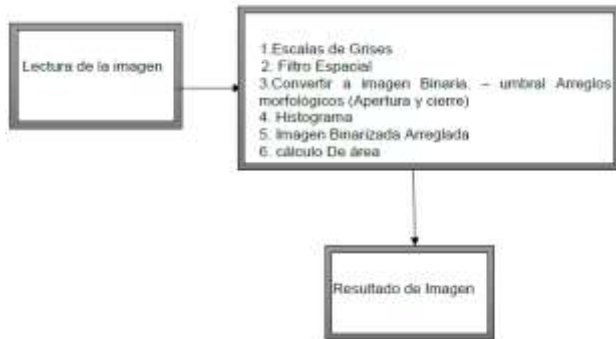


Fig. 4 Diagrama de flujo del procesamiento de imagen

Para el diseño del algoritmo se plantea un diseño experimental de modo que proporcione la información buscada con el menor número de experimentos. Cuando el objetivo es medir como influyen k factores en una identificación de discontinuidades, en imágenes mediante el procesamiento digital de imágenes en Matlab.

F1= Arreglos morfológicos (APERTURA Y CIERRE) = (square “cuadrado” Crea un elemento estructurador cuadrado cuyo ancho es w píxeles, w debe ser un entero no negativo, disk “disco” Crea un elemento estructurante plano en forma de disco, donde R especifica el radio. R debe ser un entero no negativo.

F2= Filtro espacial= (average “Promedio” Devuelve un filtro de promedio el argumento puede ser un vector que especifique el número de filas y columnas en cuyo caso es una matriz cuadrada, disk “Promediado circular” Devuelve un filtro de promediado circular dentro de la matriz cuadrada del lado) crea un filtro predeterminado en dos dimensiones.

Con un diseño factorial 2^2 se estudia el efecto de dos factores considerados dos niveles en cada uno. Cada replica de este diseño consiste en 2×2 combinaciones o tratamientos que se pueden denotar de diferentes maneras,

Las pruebas que se van hacer son de 4 ensayos por placa. $4 \times 6 = 24$ PRUEBAS

1. Y11=PRUEBA 1= PROTOTIPO (Disk, square)
2. Y21=PRUEBA 2= PROTOTIPO (Disk, disk)
3. Y12=PRUEBA 3= PROTOTIPO (Average, square)
4. Y22=PRUEBA 4= PROTOTIPO (Average, disk)

Se realizan 4 prototipos resultado del diseño experimental para elegir el mejor y así facilitar la identificación de la grieta y adicionalmente nos arroja el área de las grietas de las placas de hormigón. se tuvo en cuenta

los Arreglos morfológicos, y el filtrado espacial como resultado del diseño experimental. En la figura 6 se puede ver el ejemplo del prototipo 1 algoritmo para el Sistema artificial de visión en Matlab.

```
close all
clear all
clc

%% Leer la imagen
[a b] = uigetfile({'*.jpg','All Files'});
I = imread(b a);
I1 = imread('Fotos\Placa 1-7.jpg');
%% Convertir la imagen a escala de grises
Igray = rgb2gray(I);
%% Filtro Espacial Promedio
H = especial('average',[10 10]);
Ifilter1=imfilter(Igray,H);
imshow(Ifilter1)
%% Convertir a imagen Binaria
imgBW=im2bw(Ifilter1,0.6); %Convierte la imagen en imagen binaria
mediante el umbral.
se= strel('disk',7);
I3 = imopen(imgBW,se);
I3 = imclose(I3,se);
I3=~I3;
I4= bwareaopen(I3,5000);
[L Ne]=bwlabel(I4);
RGB = label2rgb(L,'jet','k');
caracteristicas = regionprops(I4,'Centroid','Area');
label = 1:Ne;

% Figuras
figure(1),imshow(I),title('Imagen original');
figure(2),imshow(Igray),title('Imagen en escala de grises');
figure(3),imshow(Ifilter1),title('Imagen filtrada');
figure(4),imshow(I3),title('histograma');
figure(5),imshow(I4),title('Imagen binarizada');

imhist(Ifilter1);
figure(6),imshow(RGB),hold on

prop = regionprops(I4,'Centroid','Area','BoundingBox','PixelIdxList',
'PixelList');
areas=[prop.Area];

for cnt=1:length(prop)
text(prop(cnt).Centroid(1),prop(cnt).Centroid(2),num2str(label(cnt)),'FontSize',15,'color','white');
end
```

Fig. 5 Algoritmo Sistema Artificial de Visión

III. PRUEBAS Y RESULTADO

A. ANALIZADOR DE VIBRACION

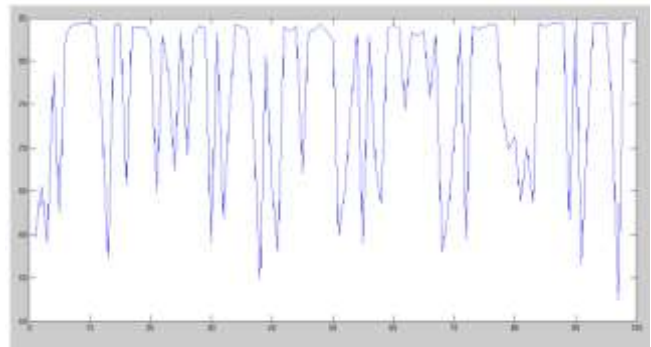


Fig. 6. Captura de zona escáner

Se realiza una serie de inspecciones a cada placa, se obtuvieron un total de 320 perfiles gráficos mediante el escaneo, 64 por placa. En la figura 7 se puede observar los puntos capturados al escanear una zona específica, procesada previamente por la transformada de wavelets.

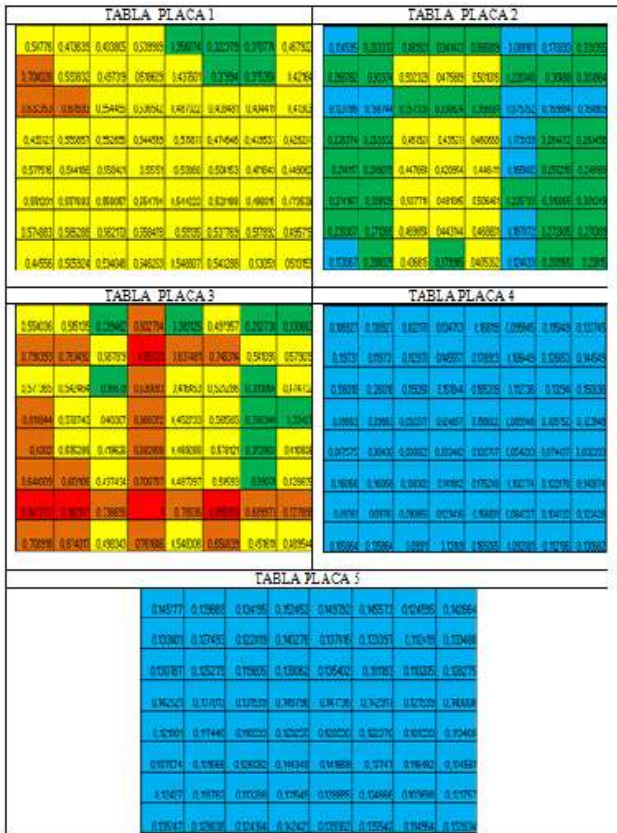


Fig. 7 Cartograma Característica RMS

Los datos de cada zona escaneada son procesados Matlab para calcular los valores de las características de valores pico, RMS, energía y coeficientes de wavelet para ser nuevamente tratados en una hoja de cálculo de Excel con el fin de realizar el proceso de normalización por medio de un cartograma facilitando el reconocimiento de las zonas con presencia de grietas y fisuras en las placas de hormigón.

En la figura 8 se observan los resultados del proceso de normalización efectuado en las 5 placas con la característica RMS, organizados en una sola imagen permitiendo el reconocimiento por intensidad de color de las zonas que presentan algún tipo de anomalía o discontinuidad superficial en las estructuras de hormigón, cabe resaltar que la porosidad no representa una variación significativa al momento de realizar la normalización.

En la figura 9 se observan los resultados del proceso de normalización efectuado en las 5 placas con la Característica Promedio De Coeficiente De Wavelets. Al igual que en la figura anterior, se agrupan los resultados gráficos de las estructuras de hormigón utilizadas en el ensayo no destructivo, para realizar una identificación de las zonas con discontinuidades como grietas y fisuras de una forma más sencilla y rápida.

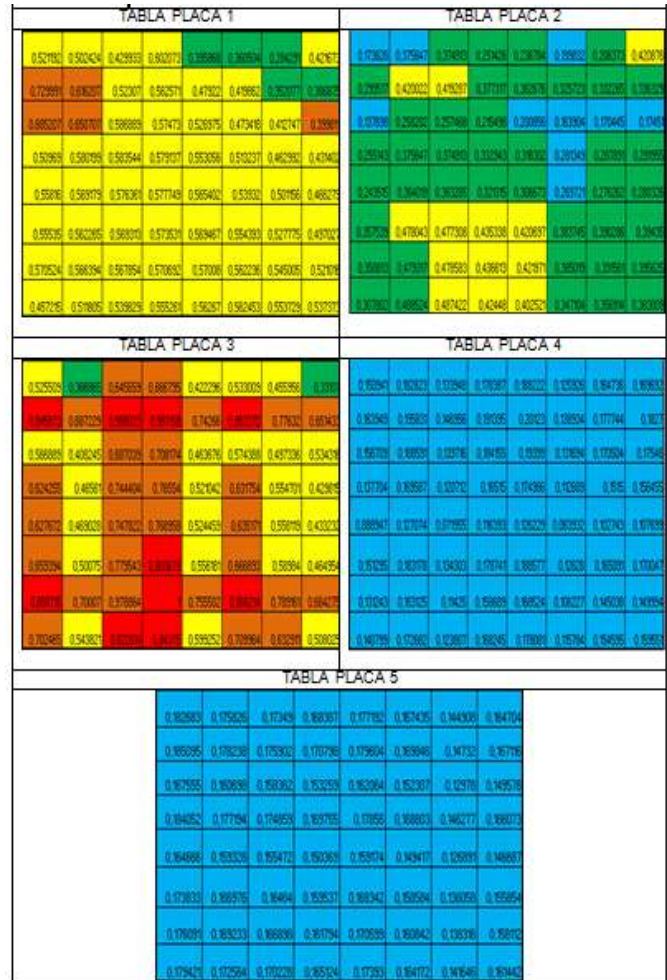


Fig. 8 Cartograma Característica Coeficiente de Wavelet

En la figura 10 se observan los resultados del proceso de normalización efectuado en las 5 placas con la Característica Valores pico al igual que en las dos figuras anteriores, salvo que en esta normalización la variación en la intensidad de color es muy baja.

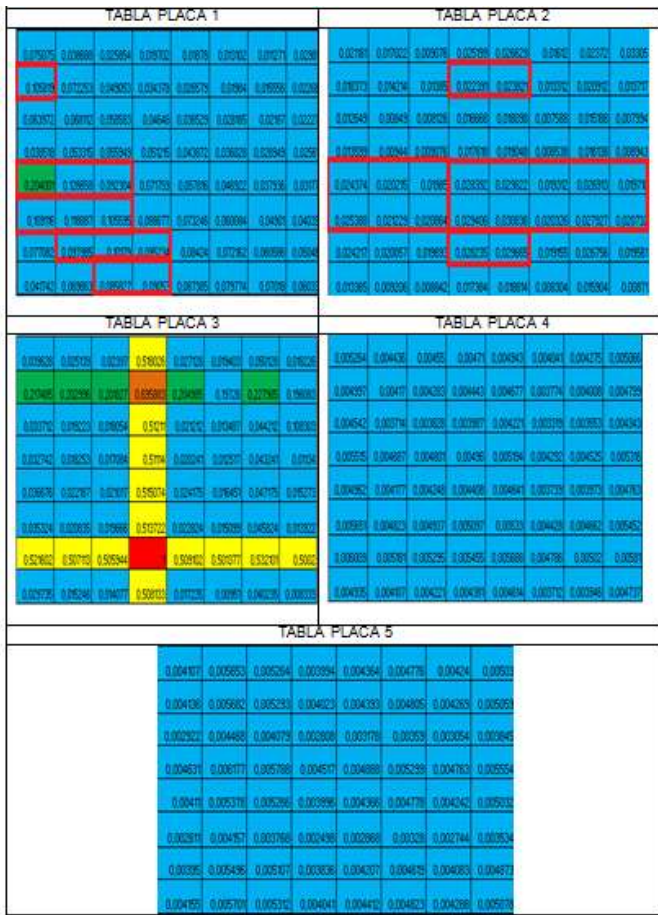


Fig. 9 Cartograma Característica de Valores pico

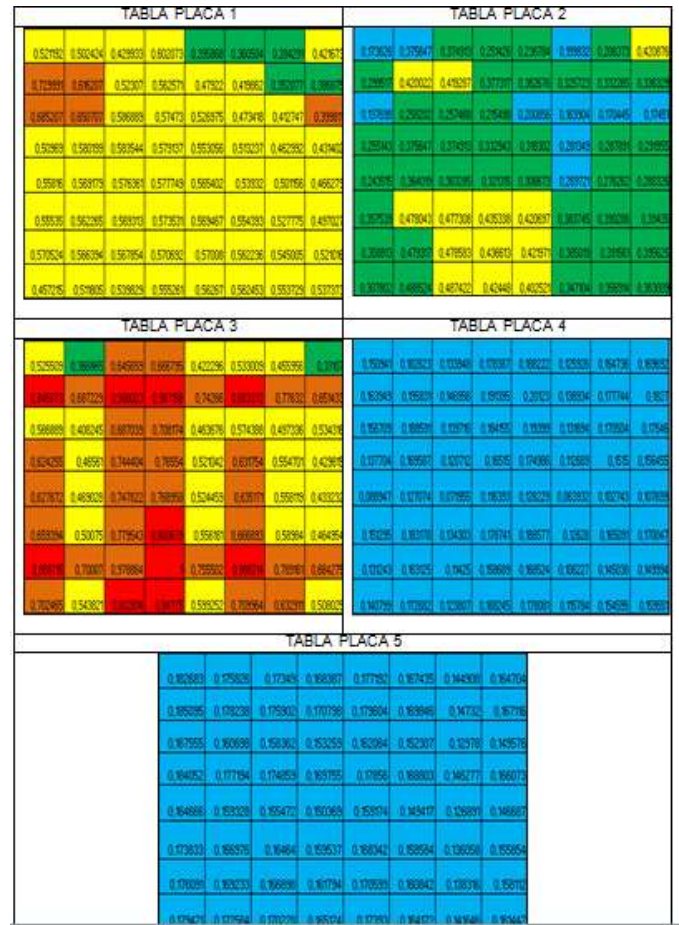


Fig. 10 Cartograma Característica de Energía

Y por último en la figura 11 se observan los resultados del proceso de normalización efectuado en las 5 placas con la Característica de Energía. Como en la figura 8 y 9, se refleja a su vez una variación en el cartograma visualmente permisible gracias al cambio de intensidad de color a diferencia de la figura 10.

A. SISTEMA ARTIFICIAL DE VISION

Se realizaron 4 prototipos resultado del diseño experimental para elegir el mas acertado y así facilitar la identificación de la discontinuidad del arreglo morfológico y el filtrado espacial como resultado del diseño experimental.

En la figura 12 se evidencia el tratamiento de imagen realizado a la placa 3 con el prototipo de algoritmo 1.

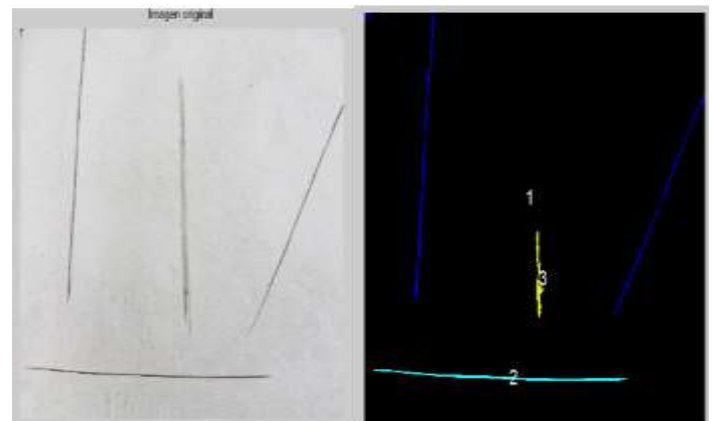


Fig. 11 Tratamiento de imagen placa 3 algoritmo 1

En la figura 13 se evidencia el tratamiento de imagen realizado a la placa 3 con el prototipo de algoritmo 2.



Fig. 12 Tratamiento de imagen placa 3 algoritmo 2

En la figura 14 se evidencia el tratamiento de imagen realizado a la placa 3 con el prototipo de algoritmo 3.

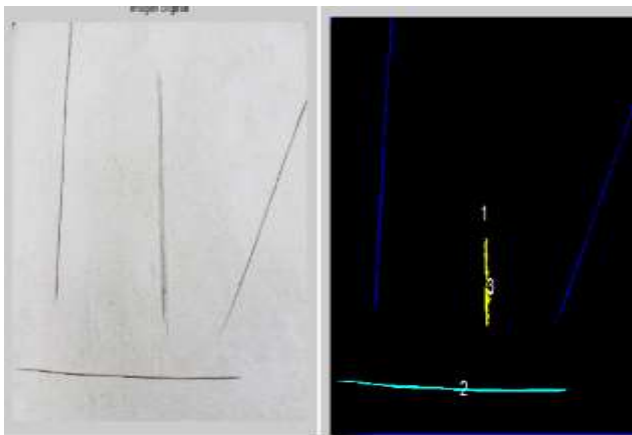


Fig. 13 Tratamiento de imagen placa 3 algoritmo 3

Y finalmente en la figura 15 se evidencia el tratamiento de imagen realizado a la placa 3 con el prototipo de algoritmo 2.

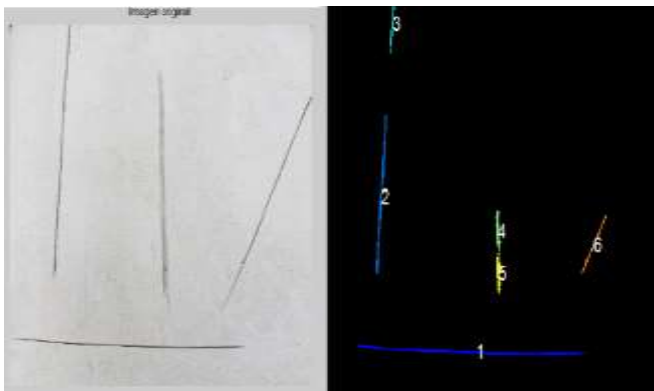


Fig. 14 Tratamiento de imagen placa 3 algoritmo 4

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar una interpretación de los resultados obtenidos en las inspecciones se efectúa una comparación entre los datos obtenidos por medio del analizador de vibraciones y el sistema de visión artificial en la placa 3 que es la que visualmente presenta mayor afectación por discontinuidades. En la figura 8 se encuentran los cartogramas de las 5 placas estudiadas basadas en la característica RMS, el cartograma representativo de la placa 3 presenta un aumento de color en la zona horizontal y vertical de toda la placa, si observamos la figura 12, 13, 14 o 15 referentes a los 4 prototipos de resultado final de tratamiento de imagen por medio del sistema de visión artificial, se evidencia claramente unas discontinuidades tanto horizontales como verticales. La figura 16 refleja de una manera mejor la comparativa entre el prototipo 1 de algoritmo que es el de mejor resolución al momento de efectuar el tratamiento de imágenes de los 4 aplicados y el resultado final del analizador de vibración.

Las placas 1 y 2 presentan un comportamiento similar en las zonas de discontinuidades entre el resultado final del sistema de visión artificial y el analizador de vibraciones. Las placas 4 y 5 visualmente no presentan ninguna discontinuidad, lo que se evidencia tanto en el tratamiento de imágenes como en los cartogramas.

Los resultados de la comparativa para los valores promedio de coeficientes de wavelet son muy parecidos a las características RMS en cada una de las 5 placas, evidenciando discontinuidades en las placas 1, 2 y 3 en las mismas zonas detectadas en las imágenes tratadas con el sistema de visión artificial y ninguna discontinuidad en las placas 4 y 5.

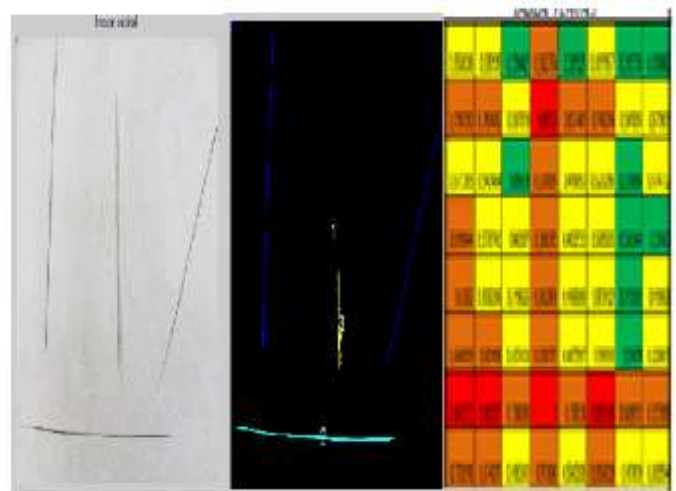


Fig. 15 Comparativa sistema visión artificial y analizador de vibraciones placa 3

Con las características de los valores pico, la similitud con los valores RMS y Coeficientes de wavelet son mínimos en cada una de las 5 placas, evidenciando pocas discontinuidades en las placas 1, 2 y 3 y ninguna discontinuidad en las placas 4 y 5, las cuales se reflejan claramente en las zonas detectadas en las imágenes tratadas con el sistema de visión artificial

Finalmente, la característica de Energía, no tiene ninguna similitud con las discontinuidades detectadas en las placas 1, 2 y 3 las cuales se reflejan claramente en las zonas detectadas en las imágenes tratadas con el sistema de visión artificial y ninguna discontinuidad en las placas 4 y 5.

V. CONCLUSIONES

La normalización realizada con los datos de las características RMS y Promedios de coeficientes de Wavelets entregados por el analizador de vibración, reflejan en el cartograma las zonas de discontinuidades por fallas tipo grietas y fisuras, que, al momento de ser corroboradas por el sistema de visión artificial, basado en el tratamiento de imágenes evidencia de forma clara cada una de las zonas afectadas, coincidiendo con las mismas zonas detectadas por el analizador.

Los datos de las características Valores pico y Energía de Wavelets entregados por el analizador de vibración y posteriormente normalizados, No reflejan claramente en el cartograma las zonas de discontinuidades por fallas tipo grietas de y fisuras, tampoco hay similitud con los resultados obtenidos con las características RMS y valores promedio de coeficientes de wavelets y los resultados del sistema de visión artificial.

La característica RMS y PROMEDIO CW efectivamente me sirven para evaluar por medio del análisis de vibraciones Fisuras y grietas en estructuras de hormigón, sus valores y cartogramas son similares y corresponder a los sitios en los cuales se evidencia alguna discontinuidad con el sistema artificial visual.

Por otro lado, se descartan las características de ENERGIA y VALORES PICO, ya que en el estudio realizado no evidencia con claridad los lugares afectados, su cartograma es confuso y no tiene precisión con los sitios en los cuales se evidencia alguna discontinuidad con el sistema artificial visual.

Se recomienda, desarrollar estudios con diferentes diseños geométricas de estructuras de hormigón, que permitan realizar un análisis más detallado de la tipología de discontinuidades tipo falla y grietas utilizando en ensayos no destructivos

diferentes al análisis de vibración y a el tratamiento de imágenes, para permitir un comparación amplia y un revisión crítica sobre los diferentes métodos enfocados en la prevención en términos de salud estructural

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen las contribuciones de J. Marín y D. Marín en el proyecto de “Diseño y construcción de un analizador de vibraciones para la detección de grietas y fisuras en estructuras de hormigo”, el cual fue base para el desarrollo del artículo. Agradecer también a M. L. Ríos y J. C. Triana por su contribución intelectual en el proyecto titulado “detección de discontinuidades superficiales en placas planas de hormigón mediante ensayos no destructivos a través de procesamiento digital de imágenes en Matlab”, el cual fue el soporte para corroborar los datos obtenidos con el proyecto anterior.

VI. REFERENCIAS

- [1] A. L. G. A. H. G. Manuel de Jesus Fabela Gallegos, «Alguna investigacion recientes sobre el proceso de cortes de pavimentos,» *SCT*, vol. 114, 1999.
- [2] C.-M. H. Y.-P. C. S.-L. C. Jui-Lin Peng, «Study on collapse of steel-reinforced concrete structure caused by self-weight during construction,» *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 156, pp. 276-286, 2018.
- [3] G. M. M. P. Christos Mourlas, «Accurate and computationally efficient nonlinear static and dynamic analysis of reinforced concrete structures considering damage factors,» *Engineering Structures*, vol. 178, pp. 258-285, 2019.
- [4] J. E. P. V. B. Majid Ebad Sichani, «Probabilistic seismic analysis of concrete dry cask structures,» *Structural Safety*, vol. 73, pp. 87-98, 2018.
- [5] R. G. Sean Blaney, «Sounding of subsurface concrete defects using frequency response of flexural vibration,» *Cement and Concrete Composites*, vol. 92, pp. 155-164, 2018.
- [6] A. .. Y. Shatilov, «Vibration-based Damage Detection of the Reinforced Concrete Column,» *Procedia Engineering*, vol. 150, pp. 1867-1871, 2016.
- [7] C.-I. W. T. T. C. H. H.-C. Y. H.-J. L. C.-C. C. Yuan-Sen Yang, «Image analysis method for crack distribution and width estimation for reinforced concrete structures,» *Automation in Construction*, vol. 91, pp. 120-132, 2018.
- [8] J. Sliseris, «Numerical analysis of reinforced concrete

- structures with oriented steel fibers and re-bars.» *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 194, pp. 337-349, 2018.
- [9] H. Zhang, «Durability reliability analysis for corroding concrete structures under uncertainty,» *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 101, pp. 26-37, 2018.
- [10] Z. I. K. G. H. H. A. J. Muhammad Usman Hanif, «Damage assessment of reinforced concrete structures using a model-based nonlinear approach – A comprehensive review,» *Construction and Building Materials*, vol. 192, pp. 846-865, 2018.
- [11] X. L. J. L. ., Q. W. B. X. J. D. Yi Wang, «Debonding damage detection of the CFRP-concrete interface based on piezoelectric ceramics by the wave-based method,» *Construction and Building Materials*, vol. 210, pp. 514-524, 2019.
- [12] L. K. H. Katelyn Freeseaman, «Nondestructive analysis techniques for freeze-thaw damage detection in concrete slabs using shear waves,» *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2018.
- [13] E. A. S. C. M. S. S.-H. Hyunjun Kim, «Comparative analysis of image binarization methods for crack identification in concrete structures,» *Cement and Concrete Research*, vol. 2017, pp. 53-61, 2017.
- [14] T. K.S.C.Kuang, «Crack sensing and healing in concrete beams based on wire-crack sensors and healing tube,» *Construction and Building Materials*, vol. 132, pp. 395-411, 2017.
- [15] M. R. B. R. K. Mohammad Reza Jassas, «Forced vibration analysis of concrete slabs reinforced by agglomerated SiO₂ nanoparticles based on numerical methods,» *Construction and Building Materials*, vol. 211, pp. 796-806, 2019.
- [16] S. P. Fletcher, «The development of the quaternion wavelet transform,» *Signal Processing*, vol. 136, pp. 2-15, 2017.
- [17] S. P. Arun Mohana, «Crack detection using image processing: A critical review and analysis,» *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, pp. 787-798, 2018.
- [18] I. M. d. Transporte, *Evaluacion de puentes mediante el analisis de vibraciones*, Queretaro, 1999.
- [19] J. R. Matienzo, «Deteccopm de ña ´resemcoa de grietas cerradas en elemento tipo viga mediante la transformada de wavelet,» *Ingenieria Mecanica*, vol. 11, pp. 41-47, 2008.
- [20] D. M. B. T. Jeferson Marin, *Diseño y construccion de un analizador de vibraciones para la deteccion de grietas y fisuras en estructuras de hormigon*, Bucaramanga, 2015.
- [21] J. F. J. L. P. Cardenas, *Diseño de un sistema de reconocimimiento de placas utilizando Matlab*, Mexico, 2009.
- [22] M. L. R. G. J.C. Triana Mancilla, *Deteccion de discontinuidades superficiales en placas planas de hormigon mediante ensayos no destructivos a traves de procesamiento de imagenes en matlab*, Bucaramanga, 2017.
- [23] F. N. J. P. P. Jossep Hernandez, *Diseño y construccion de una mesa de vibraciones en tres ejes para el Laboratorio de Diseño de Maquinas de las Unidades tecnologicas de Santander*, Bucaramanga, 2015.