

EVALUACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA IDENTIFICAR DETERIORO EN PUENTES DE CONCRETO

Ricardo Cruz¹, Luz Quintero^{1}, Elkin Espinosa², Carlos Galán²*

1: Profesor Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

2: Estudiante Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

*Contacto: luzquint@uis.edu.co

RESUMEN

Colombia posee una infraestructura considerable de puentes debido a sus características topográficas variadas. Se tiene conocimiento que en el país un 29% de los puentes en vías principales es de concreto pre-esforzado y un 19% de acero y concreto. Estas estructuras se deterioran continuamente a gran velocidad debido entre otros factores, a las condiciones a las que encuentran expuestos: tipos de cargas y sobrecargas, condiciones ambientales, deterioros por afectación química, daños físicos, movimientos sísmicos y corrosión del acero de refuerzo entre otros, generando costos considerables en la inspección y mantenimiento. Los altos riesgos involucrados en los puentes, los impactos económicos generados por un colapso y los pocos signos externos de la corrosión del refuerzo hacen difícil su inspección, haciendo que la evaluación de estas estructuras tenga que ser mucho más rigurosa con el fin de aumentar la probabilidad de detectar problemas oportunamente. Para identificar con mayor certeza y precisión el deterioro en puentes, varios investigadores en este campo siguen metodologías no destructivas y hacen propuestas para la inspección con el fin de recomendar la prueba o pruebas más efectivas que permitan evaluar la vulnerabilidad estructural de los puentes. En el presente trabajo se realizó una revisión de las técnicas no destructivas que pueden ser utilizadas en la inspección de elementos representativos de los puentes con y sin defectología típica, simulando diferentes grados de daño en los refuerzos (barras y torones), así como delaminaciones. Lo anterior permitió evaluar las técnicas seleccionadas teniendo en cuenta criterios técnicos y económicos.

Palabras Clave: *Concreto, Ensayos no destructivos, Puentes*

ABSTRACT

Colombia has a considerable infrastructure of bridges due to the steep topography. In the country, 29% of the bridges on main routes are pre-stressed concrete while 19% are steel and concrete. These structures deteriorate continuously at a high rate due many factors, including: the conditions that are exposed, types of loads and overloads, environmental conditions, deterioration by chemical exposure, physical damage, seismic activity and steel reinforcement corrosion and others, generating significant costs in the inspection and maintenance. The risks involved with these types of bridges are few external signs of corrosion and difficulty of visual inspection; therefore, inspection of pre-tensioned structures have to be detailed and rigorously performed to increase the probability of detecting corrosion problems. In order to identify with greater certainty and precision the deterioration in bridges, several researchers in this field are developing nondestructive methods and making proposals for the inspection in order to

recommend the most effective test that allow evaluation and assessment the structural vulnerability of the bridges. In this paper, we conducted a review of non-destructive techniques that can be used in the inspection of representative elements of the bridges with and without typical defectology, simulating different degrees of damage to the reinforcements (bar and strands), and the presence of delaminations. This allowed us to evaluate selected techniques taking into account technical and economic criteria.

Keywords: *Concrete, Non –destructive testing, Bridges*

1 INTRODUCCIÓN

Una metodología no destructiva adecuada para la inspección de puentes de concreto que están en servicio, mediante el uso de ensayos no destructivos, podría estar compuesta por técnicas que permitan ubicar y evaluar los sistemas de refuerzos, aquellas que evalúen la calidad y la resistencia de la matriz de concreto y otras que permitan identificar y analizar discontinuidades como grietas, vacíos, delaminaciones y deterioro que ha sufrido el concreto durante su servicio.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se hizo una evaluación de las técnicas no destructivas que permiten identificar deterioro en puentes de concreto reforzado y pre-esforzado. El estudio partió de una revisión bibliográfica sobre todas las técnicas que brindan información del estado de la estructura. Con el fin de evaluar las técnicas seleccionadas se diseñaron y elaboraron cuatro losas de concreto, de 1m x1m x0.1m con varillas o barras corrugadas y torones de ½” (0.0127m) con y sin defectología típica, las cuales fueron colocadas teniendo en cuenta las profundidades de los refuerzos indicados en la Norma Sismo Resistente NSR. Se realizó un diseño de mezcla para 35MPa, con a/c=0.35, tamaño máximo de agregado ¾” (0,019m) y aditivo plastificante.

Como resultado de la revisión bibliográfica se planteó la evaluación por los métodos de inspección visual, el esclerómetro (realizando mediciones en posición a 0° para las losas 1,2 y 3 y -90° para la losa 4), el ultrasonido (velocidad de pulso ultrasónico, VPU, empleando vaselina industrial como acoplante y transductores con frecuencia de 54 Khz con los métodos directo e indirecto sobre las losas 1,2 y 3), el profometer Scanlog, (haciendo barrido sobre toda la superficie de lo losa, con ubicación de la sonda en posición paralela a los refuerzos y hallando los errores en la medición del diámetro y recubrimiento de concreto del refuerzo), termografía infrarroja pasiva (aplicado sobre la losa 4, utilizando como medio de calentamiento el sol, con exposiciones de 7 horas), como técnicas relevantes para el presente estudio. Paralelamente, se elaboraron cilindros de 0,10m de diámetro y 0,20 m de altura, para realizar el ensayo de resistencia a la compresión del concreto de cada losa elaborada, durante su tiempo de curado.

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Revisión de las técnicas no destructivas aplicables.

Aunque la bibliografía consultada permitió identificar una amplia gama de técnicas aplicables, en la Tabla 1, se incluye información sólo de las seleccionadas para ser evaluadas en una primera fase de esta investigación.

Tabla1. Características de algunas técnicas no destructivas empleadas en evaluación de concreto

TÉCNICAS PARA EVALUAR PRESENCIA DE CORROSIÓN Y UBICAR BARRAS DE REFUERZOS				
TÉCNICA	APLICACIÓN	PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	NORMA
Profometer	Localización de barras, medición del diámetro y espesor de recubrimiento de concreto del refuerzo.	Se basa en la medición del cambio de un campo electromagnético causado por el acero embebido en el concreto.	Dispositivo con panel de operación, sonda universal y el ScanCar.	-DGZf P B2 * -DIN 1045
TÉCNICAS PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO				
TÉCNICA	APLICACIÓN	PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	NORMA
Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)	Evaluación de la uniformidad del concreto, presencia de grietas y vacíos. Permite establecer correlaciones con la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.	La velocidad de un haz de ondas ultrasónicas al atravesar un material depende de la densidad y de sus propiedades elásticas. Una alta velocidad indica alta calidad de concreto en términos de densidad, uniformidad y homogeneidad.	Generador de impulsos eléctricos; transductores emisor y receptor,	ASTM C597-02 EN12504-4 NTC4325
Martillo de rebote para ensayos de hormigón	Determinación de puntos débiles y resistencia a la compresión del hormigón	El rebote elástico de una masa depende de la dureza de la superficie sobre la cual incide. La dureza del material (concreto) está relacionada con su resistencia a la compresión.	El equipo consiste en una pesa tensada con un muelle, la pesa es lanzada contra el hormigón, midiendo el índice de rebote.	NTC 3962 ASTM C80 5-85
TÉCNICAS PARA ANALIZAR GRIETAS, VACÍOS, DELAMINACIONES				
TÉCNICA	APLICACIÓN	PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	NORMA
Termografía infrarroja	Detección de discontinuidades y defectos, a través de cambios en temperatura superficial de la muestra.	Se basa en la detección de cambios del flujo de calor ocurridos en un material, debido a la presencia de anomalías internas.	Cámara termográfica con una lente de infrarrojos.	ASTM: E 1311, E 1213, E 1543

3.2 Elementos representativos de puentes de concreto

En la presente investigación se seleccionó como elementos representativos de los puentes de concreto, las losas. Fueron diseñadas y elaboradas cuatro de ellas con el fin de hacer la evaluación de las técnicas previamente seleccionadas. Se presentan a continuación características básicas de las losas.

3.2.1 Losa 1

Esta losa cuenta con tres barras y tres torones en buen estado, ubicadas a diferentes profundidades con el fin de evaluar la sensibilidad de las técnicas para identificarlas cuando hay variación en el recubrimiento, ver Figura 1.

3.2.2 Losas 2 y 3

Estas fueron obtenidas de igual manera que la mostrada en la figura 1, incluyendo variaciones en el estado del refuerzo. La losa 2 tiene 6 varillas de ½” con 4.4cm de recubrimiento con la siguiente defectología: **(1)** sana **(2)** **(3)** **(4)** bajo, medio y alto grado de corrosión **(5)** pérdida de espesor leve **(6)** fractura y pérdida de espesor severa. La losa 3 tiene 6 torones de ½” con 4.4cm de recubrimiento con la siguiente defectología: **(1)** sano, **(2)** **(3)** con hilos del torón fracturados, **(4)**disminución severa diámetro, **(5)**disminuciones de diámetro del 55, 45 y 30%, y finalmente **(6)** torón fracturado. Algunas imágenes del estado de deterioro de las barras y torones usados se muestran en el Figura 2.

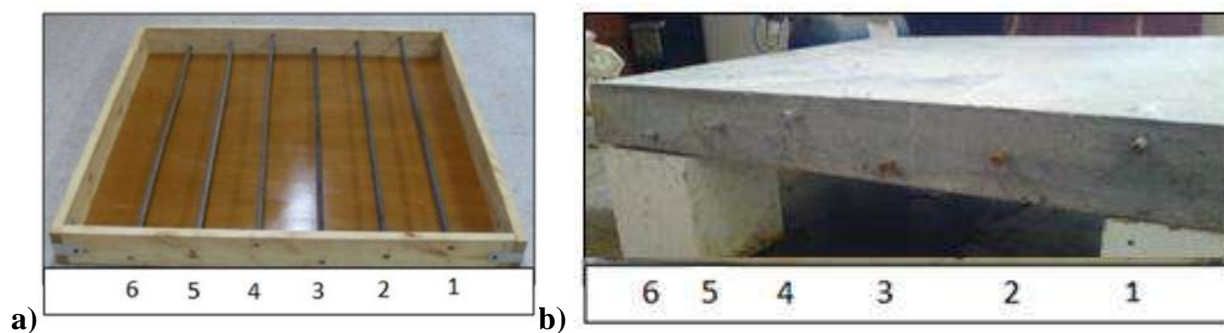


Figura 1. Losa de concreto con barras y torones a profundidades de 1.9cm, 4.4cm y 6.9 cm sin defectos(a) foto de refuerzos en el molde con diferente profundidad: (1) barra 1.9 cm (2) barra 4.4 cm (3) barra 6.9 cm (4) torón 1.9 cm (5) torón 4.4 cm (6) torón 6.9cm. (b) losa de concreto fraguada.



Figura 2. Estados de deterioro de barras y torones

3.2.3 Losa 4

Con el fin de simular delaminaciones en el concreto la losa 4 se diseñó incluyendo láminas de poliestireno a diferentes profundidades.

3.3 Evaluación de las técnicas

La inspección visual, el esclerómetro y la VPU, permitieron hacer la evaluación de la calidad del concreto, confirmando su homogeneidad y resistencia, lo cual fue paralelamente verificado realizando pruebas destructivas. La VPU y el esclerómetro, además permitieron observar el efecto del refuerzo sobre los resultados obtenidos, presentándose variaciones en las lecturas obtenidas.

La evaluación de la presencia, localización y diámetro del refuerzo así como el espesor de recubrimiento de concreto se evaluó mediante el Profometer Scanlog en las losas 1, 2 y 3. Al evaluar los refuerzos a 19, 44 y 69 mm de profundidad se encontró que en la medición del diámetro de las barras se presentó un error máximo de 6.3% y en los torones de 25.52%. En cuanto a la medición del diámetro, el valor medido tiene una influencia al aumentar el valor del recubrimiento desde 19mm hasta 44mm, generando un error hasta de 8.74% en barras y de 24.7 % en torones. Se comprobó la limitación del equipo al medir diámetros de refuerzos con recubrimientos de 69mm.

La termografía infrarroja permitió evaluar la presencia de las discontinuidades presentes en la losa 4.

4 CONCLUSIONES

En el desarrollo de la primera fase de la presente investigación se seleccionó con base en criterios técnicos y económicos un grupo de técnicas no destructivas, para ser evaluadas las cuales fueron indicadas en la tabla 1.

Con respecto a la evaluación del Profometer Scanlog, este presentó mayor dificultad en la evaluación de los torones de pre-esfuerzo que en las barras de refuerzo debido probablemente a su geometría característica, presentándose mayores errores experimentales.

Al seleccionar una técnica para evaluación de estructuras de concreto, se debe tener en cuenta su alcance, pues en algunos casos la respuesta es limitada y específica al principio físico que fundamenta la técnica y/o a la zona de análisis, como es el caso de la VPU método indirecto, la cual aunque permite estimar la resistencia a la compresión del concreto su alcance está limitado a la parte superficial del concreto evaluado.

La evaluación de las técnicas permitió concluir que aunque cada técnica aporta información importante sobre la calidad y/o la condición del concreto ó sus refuerzos, es indispensable una adecuada combinación de éstas para conocer el estado global real de un puente.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jones, L.H., “Inspection Methods & Techniques to Determine Non Visible Corrosion of Prestressing Strands in Concrete Bridge Components”, Master of Science, Lehigh University, 254p, 2010.
2. Government of India Ministry of Railways, “Guidelines on non-destructive testing of bridges”, B & S Directorate, 133p, 2009.
3. Tuncbilek, K., “Technology combines NDT methods to inspect prestressed concrete for corrosion”, Materials performance, Vol. 51, No. 11,5p, Noviembre 2012.