

## Análisis de manifestaciones patológicas del concreto en viaductos urbanos

H. J. N. Lima<sup>1</sup> \* , R. S. Ribeiro<sup>2</sup> , R. A. Palhares<sup>3</sup> , G. S. S. A. Melo<sup>1</sup> 

\* Autor de Contacto: [hjnerj@gmail.com](mailto:hjnerj@gmail.com)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.308>

Recepción: 14/06/2018 | Aceptación: 14/11/2018 | Publicación: 30/04/2019

Editor Asociado Responsable: Dr. Paulo Helene

### RESUMEN

El trabajo presenta el estudio de casos de manifestaciones patológicas en estructuras de hormigón, ubicadas en el Eje Rodoviario Norte de Brasilia, por medio de la metodología GDE / UnB, que califica y cuantifica la degradación de daños estructurales. Se realizó la caracterización del estado general de la estructura con la finalidad de servir de subsidio para tomas de decisiones en cuanto a intervenciones rutinarias, para ampliar la vida útil de la estructura. La rutina metodológica consiste en la realización de inspecciones en campo, catálogo de las manifestaciones patológicas estructurales con levantamiento fotográfico, caracterización de las manifestaciones patológicas y clasificación según los factores de ponderación y factores de intensidad de daños de la estructura conforme a la metodología GDE / UnB para obras de arte especiales, calculo y clasificación global de los daños de la estructura.

**Palabras clave:** manifestaciones patológicas; estructura de hormigón; viaductos.

**Citar como:** Lima, H. J. N., Ribeiro, R. S., Palhares, R. A., Melo, G. S. S. A. (2019), "Análisis de manifestaciones patológicas del concreto en viaductos urbanos", Revista ALCONPAT, 9 (2), pp. 247 – 259, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.308>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Brasil.

### Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2020 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2019.

## Analysis of pathological manifestations of concrete in urban overpasses

### ABSTRACT

The paper presents the case study of pathological manifestations in concrete structures, located in the Northern Road Hub of Brasília, using the GDE / UnB methodology, which qualifies and quantifies the degradation of structural damages. The general state of the structure was characterized in order to serve as a subsidy for decision making regarding routine interventions, in order to extend the useful life of the structure. The methodological routine consists of conducting field inspections, catalog of structural pathologies with photographic survey, characterization of pathologies and classification according to the weighting factors and damage intensity factors of the structure according to the GDE / UnB methodology for special works of art, calculation and overall classification of the structure damage.

**Keywords:** pathologies; concrete structure; viaducts.

## Análise de manifestações patológicas do concreto em viadutos urbanos

### RESUMEN

O trabalho apresenta o estudo de caso de manifestações patológicas em estruturas de concreto, localizadas no Eixo Rodoviário Norte de Brasília, por meio da metodologia GDE/UnB, que qualifica e quantifica a degradação de danos estruturais. Foi realizada a caracterização do estado geral da estrutura com a finalidade de servir de subsidio para tomadas de decisões quanto a intervenções rotineiras, de forma a ampliar a vida útil da estrutura. A rotina metodológica consiste na realização de inspeções em campo, catálogo das manifestações patológicas estruturais com levantamento fotográfico, caracterização dos fenômenos patológicos e classificação segundo os fatores de ponderação e fatores de intensidade de danos da estrutura conforme a metodologia GDE/UnB para obras de arte especiais, cálculo e classificação global dos danos da estrutura.

**Palabras clave:** manifestações patológicas; estrutura de concreto; viadutos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La correcta identificación del origen de los problemas patológicos permite al investigador establecer en qué momento del gerenciamiento de la obra ellos ocurrirán, se tuvieron origen en la fase de proyectos; en la especificación del material; en la etapa de ejecución de la construcción por el uso de una mano de obra no especializada; por falta de fiscalización; o si las fallas fueron debidas al uso inadecuado o mantenimiento deficiente.

Ese análisis de identificación y propuesta de ataque a las manifestaciones patológicas es adecuado si se compara al costo de cambios tardíos cuando ya las manifestaciones ocurren, definido en el gerenciamiento de obras por Mattos (2010) y por el PMBOK (2014). En este enfoque al evaluarse el costo de evitar un problema patológico en diferentes fases de una obra, se observa que cuanto más tardío identificamos la posibilidad de un problema o manifestaciones patológicas por falta de planificación, mayor será el costo de su reparación y la posibilidad de colapso estructural.

Según Helene (1997), los costos de intervención crecen exponencialmente cuanto más tarde es dicha intervención y en resumen pueden ser evitados en las siguientes fases:

- a. Fase de proyecto - representa el costo de referencia, entre las medidas que pueden ser verificadas para evitar problemas futuros. Se puede destacar como medidas mitigadoras:
  - Aditivos y adiciones para mejorar la durabilidad del concreto y disminuir la permeabilidad;

- Aumentar el espesor de recubrimiento de la armadura como medida de protección contra la corrosión;
  - Reducir la relación a/c del concreto de forma de disminuir la porosidad de la matriz pasta de concreto y consecuentemente disminuir la permeabilidad;
  - Aumento de la resistencia característica del concreto.
- b. Fase de ejecución – su intervención tardía implica en un costo 5 (cinco) veces superior al costo de una intervención tomada como referencia en la fase de proyecto.
- c. Fase de mantenimiento preventivo - pueden costar hasta 25 veces más que medidas correctas tomadas durante la fase de proyecto estructural. Medidas usuales que podrían evitar el aumento de los costos:
- Pinturas periódicas
  - Impermeabilizaciones
- d. Fase de mantenimiento correctivo - corresponde a la reparación de las estructuras que ya presentan manifestaciones patológicas visibles. A estas actividades se les puede asociar en un costo 125 veces superior al costo de las medidas que podrían y deberían haber sido tomadas en la fase de proyecto. Cabe resaltar que el alto costo no sólo apenas está asociado a los costos de mano de obra y de los materiales del mantenimiento propiamente dicho, también a los costos indirectos relacionados a su intervención, como el tiempo y trastornos de la intervención de la estructura en el período de reparación.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Incidencias patológicas en el concreto

Según Metha (2008) y Ribeiro (2014), las causas patológicas del concreto pueden ser divididas en tres grupos: físicos, químicos y biológicos.

Las causas físicas del deterioro del concreto pueden ser subdivididas en dos categorías: desgaste superficial (o pérdida de peso) por causa de la abrasión, la erosión y de cavitación; fisuración a razón de gradientes normales de temperatura y humedad, presiones de cristalización de sales en los poros, carga estructural y exposición a temperaturas extremas, tales como congelamiento ó fuego. Las causas químicas del deterioro del concreto generalmente son debido a la presencia de sustancias químicas, pudiendo ocurrir por: hidrólisis y lixiviación de los componentes de la pasta de cemento por agua pura; cambios iónicos entre fluidos agresivos y la pasta de cemento; reacciones causantes de productos expandibles, tales como expansión por sulfatos, reacción álcali-agregado y corrosión de la armadura del concreto.

Las causas biológicas están relacionadas principalmente con la presencia de microorganismos, que propician ambientes corrosivos agresivos a la pasta de concreto y al acero, por medio de bacterias oxidantes de azufre o de sulfuros, los cuales aceleran el deterioro de estas estructuras.

### 2.2 Ensayos no destructivos

Muchas veces, además del análisis visual, se hace necesaria la realización de ensayos destinados a ofrecer informaciones relacionadas las condiciones de resistencia y ruptura de componentes de la estructura inspeccionada, además de mayor conocimiento sobre el suelo de fundación.

La decisión de la realización o no de ensayos complementarios a la inspección visual queda a cargo del ingeniero responsable por la elaboración del informe técnico. Los ensayos más conocidos en las estructuras de concreto y albañilería son clasificados como no destructivos y ensayos destructivos según la Tabla 1.

Tabla 1. Ensayos destructivos y no destructivos

No destructivos	Destructivos
Esclerometría; Carbonatación; Control de fisuras con sellos de yeso o vidrios; Ultrasonografía; Ganmagráfia; Prueba de carga; Mediciones de deformaciones y asentamientos.	Resistencia a compresión axial en testigos retirados de la estructura; Resistencia a la tracción en testigos retirados de la estructura; Módulo de deformación del concreto y de morteros; Reconstitución de mezcla de concreto y de mortero; Peso específico, permeabilidad y absorción de agua; Contenido de cloruros; Determinación de la tracción en muestras de armadura retiradas de la estructura; Determinación del potencial de corrosión de muestras de armadura retiradas de la estructura; Resistencia a compresión de ladrillos y bloques individuales; Resistencia a compresión de prismas de ladrillos y bloques.

### 3. ESTADO DEL ARTE DE LA METODOLOGÍA GDE/UNB

El uso de la metodología GDE/UnB es pertinente para el análisis de manifestaciones patológicas una vez que hace posible la comparación, de forma rápida y objetiva, del grado de deterioro de diferentes estructuras de concreto, por medio de datos recolectados en inspecciones visuales en campo.

Diversos autores desarrollaron la metodología y la adaptaron en el transcurso del tiempo para diferentes aplicaciones.

Klein et.al. (1991) fue el precursor de la metodología perfeccionada en la Universidad de Brasilia. El estudio tuvo como objetivo crear e implementar un proceso de inspecciones sistematizadas en estructuras de concreto con la intención de priorizar acciones de reparos de estructuras en la ciudad de Porto Alegre. La metodología clasifica las estructuras en función de la variedad y gravedad de los problemas presentados, a través de la definición de un grado de riesgo. El estudio resultó del convenio firmado entre la Universidad Federal de Rio Grande del Sur y la Prefectura Municipal de Porto Alegre donde fueron clasificadas once obras en función del grado de deterioro por daños impuestos por las manifestaciones patológicas.

Castro et al. (1995) desarrolló una metodología sistémica, adoptando por base de las observaciones realizadas por Klein et.al. (1991). La metodología de Castro, también llamada metodología GDE/UnB, tiene como objetivo adaptar las evaluaciones específicas de puentes y viaductos para cualquier estructura de concreto convencional. En el modelo fueron implementadas formulaciones, perfeccionadas del modelo de Tuutti (1982) de la evolución de la corrosión de armaduras de concreto. Por analogía, el autor logró cuantificar el grado de deterioro en que se encontraban las estructuras para otros procesos de degradación. Posteriormente implementó la metodología de Cuaderno de Inspección, que se trataba de un documento esencial de toma de datos, que contiene la conceptualización de los daños de mayor incidencia y referencias para los valores de Factores de intensidad del daño.

Lopes (1998), utilizó la metodología para desarrollar el estudio de perfeccionamiento del sistema de mantenimiento predial de un edificio comercial. Por medio de la cuantificación de la degradación física fue posible prever de manera confiable el mejor instante para intervenciones de mantenimiento predictivo en las edificaciones. En este estudio fue analizado el grado de deterioro de la estructura individual, asociándolos a los demás componentes, que permiten como resultado un índice de degradación único para la edificación. Entre tanto se verificó la necesidad de realizar

algunas alteraciones en la metodología propuesta por Castro et al. (1995), visando mejorar su aplicabilidad. En este estudio fueron hechas las alteraciones: en las familias de elementos, en la relación de daños, la definición de nuevos factores de ponderación de daños y en la formulación de cálculo del grado de deterioro de un elemento ( $G_{de}$ ). La investigación fue realizada en seis edificios del Banco de Brasil y de forma general mostró ser eficiente para su uso en aplicaciones de edificaciones.

Boldo (2002) relata los resultados de evaluaciones efectuadas en cuarenta edificaciones de estructuras de concreto del Ejército Brasileño, referente a la aplicación de la metodología, que permitió cuantificar el grado de deterioro de estructuras de concreto, mediante parámetros que evalúan las manifestaciones de daños y su evolución. Con la eficiencia de la metodología GDE/UnB para el uso en edificaciones demostrada, este permitió establecer programas de mantenimiento sistemáticos y más eficaces en instalaciones del Ejército.

Fonseca (2007) aplicó la metodología GDE/UnB en estructuras de edificaciones del Instituto Central de Ciencias de la UnB – ICC y propuso alteraciones de la formulación para el cálculo del Grado de deterioro de una familia ( $G_{df}$ ) y del grado del daño (D).

Euqueres (2011) realizó un estudio con 11 inspecciones en estructuras de puentes a fin de validar propuestas de reformulación de cálculo de deterioro de la estructura según la metodología GDE/UnB como forma de basarse en las decisiones referentes a la rehabilitación de la obra inspeccionada y se realizaron inspecciones visuales en todas las estructuras. El autor enfatizó la muestra de las incidencias de las manifestaciones patológicas pertinentes en las estructuras, entre las cuales se puede relatar la corrosión de las armaduras, fisuras por aplastamiento de la pieza, aplastamiento de los aparatos de apoyo, eflorescencia con formación de estalactitas, fallas de vaciado y manchas de humedad.

Medeiros (2015) evaluó las condiciones de durabilidad del Puente sobre el Rio do Carmo en una región de elevada clase de agresividad ambiental. En el estudio fueron realizados ensayos no destructivos de esclerometría, ultrasonido, ensayo de profundidad de carbonatación y ensayo de presencia de cloruros. Las manifestaciones patológicas fueron evaluadas utilizando las metodologías de inspecciones: norma DNIT 010/2004 y la GDE/UnB. Según Medeiros por el análisis de los resultados, comparativamente la metodología GDE/UnB resultó en mayor precisión, debido a la riqueza de detalles en su análisis.

Verly (2015) así como Medeiros (2015) evaluó dos metodologías de inspección de estructuras en cuanto a la evaluación de obras de arte especiales: Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes (DNIT) y la metodología GDE/UnB. Verly realizó inspecciones visuales en 22 viaductos localizadas en Brasilia/DF. Inicialmente fueron propuestas alteraciones en la formulación de la metodología GDE/UnB para una mejor aplicación a obras de arte especiales. Por la incidencia de los diferentes daños en las estructuras inspeccionadas, nuevamente se concluyó que la metodología GDE/UnB presentó resultados con una mejor escala de valores que facilitan la priorización de las estructuras en cuanto a la toma de decisión para intervenciones.

### 3.1 Metodología GDE/Unb

Se realiza una serie de inspecciones al elemento a ser analizado y luego es realizado un informe fotográfico de las manifestaciones patológicas presentadas que son comparadas con el cuadro de referencia para la atribución de valores de daños. Con estos datos es posible desarrollar las rutinas de la metodología GDE/UNB.

La Figura 2 presenta el diagrama de bloque con la secuencia de análisis del modelo de identificación de grado de deterioro de los elementos y los demás parámetros utilizados en la metodología.

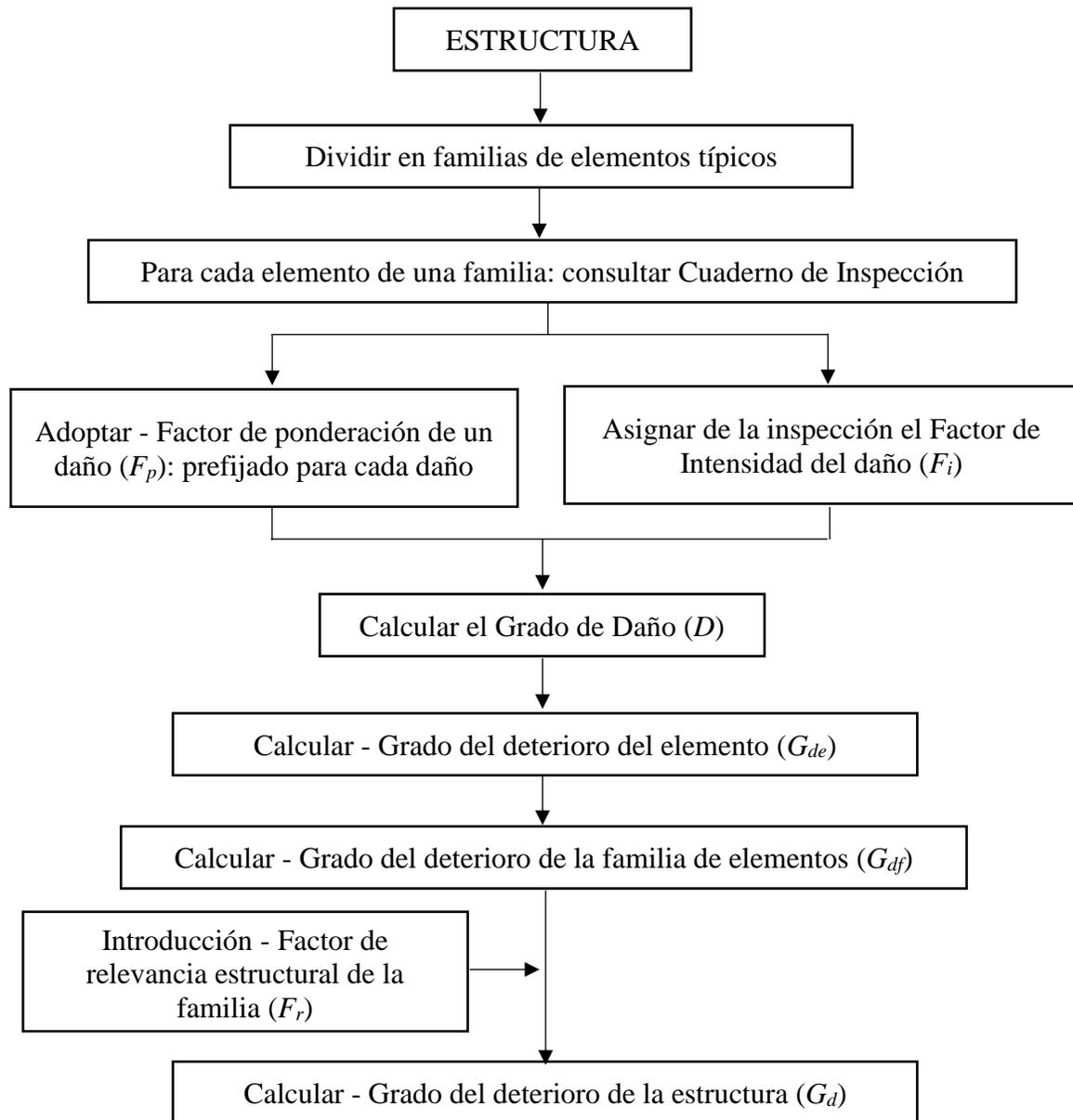


Figura 2. Estructura de la Metodología GDE/UNB

Inicialmente es realizada la conceptualización de los daños y degradaciones típicas. Con ayuda de las Tablas de referencia son atribuidos los valores de los factores de ponderación de los daños ( $F_p$ ) según la familia de elementos y los factores de intensidad de los daños ( $F_i$ ) de los elementos. Después con uso de las formulaciones es realizado el cálculo para la determinación de los grados de daños existentes en cada elemento, de las familias de elementos y del grado de deterioro global de la estructura.

Vale resaltar que la Norma Brasileña que versa sobre la inspección de las obras de arte es la ABNT NBT 9452 (2016) – Inspección de puentes, viaducto y pasarelas de concreto – Procedimiento.

#### 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para el análisis de la metodología y de los resultados fueron realizadas inspecciones en 03 viaductos, todos localizados en la Avenida Eje L, Eje W y Eje Norte. Os 03 están localizados en el sentido perpendicular a las avenidas, entre las super cuadras 103/104 y 203/204 Norte, conforme la Figura 3.



Figura 3. Localización de los 03 viaductos de las supercuadras 103/104 y 203/204 Norte.

Fueron analizados apenas los elementos estructurales del viaducto que estaban visibles. Los elementos analizados son compuestos por estaca, losa, barandas y tablero. Como la longitud entre los apoyos del viaducto es relativamente corta, ninguna estructura presentó pilares intermedios. La metodología fue aplicada y utilizada para cuantificar los daños estructurales, sirviendo así de apoyo para la toma de decisión de las intervenciones.

Como ya hubo muchos mantenimientos de repavimentación de la estructura a lo largo de los años, no fue posible verificar el estado de las juntas de dilatación.

A continuación, son presentados los datos tomados de cada estructura analizada.

#### 4.1 Viaducto 01

El Viaducto 01 queda localizado en el Eixo (eje) L próximo a las supercuadras 103/104 Norte.

Fueron identificadas manchas en los elementos estructurales de concreto armado en contacto con el suelo y a la intemperie, presentadas en la Figura 4. Estas pueden ser causadas principalmente por la infiltración de agua por lluvia del suelo adyacente a la estructura y por la infiltración de agua del pavimento flexible de la pista de rodamiento para la losa. Esta situación puede ser atenuada se tuviera un gotero lateral del piso de apoyo de la baranda que está sobre la losa y la impermeabilización de la capa de concreto sobre la losa antes de la capa de CBUQ del pavimento. Estos fenómenos de impermeabilización deficiente también fueron vistos en las estacas.

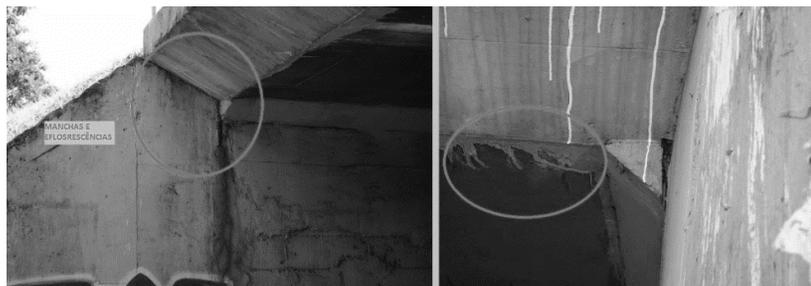


Figura 0. Manchas en la estructura de la Losa

Por el análisis de la Figura 5 fue constatada, en la región de la Losa, muchos lugares con recubrimiento insuficiente de concreto para la protección de la armadura de acero. Como resultado de ese recubrimiento insuficiente se puede percibir que la durabilidad de la armadura fue afectada de forma significativa, por el nivel de deterioro que el acero presentó por estar expuesto a humedad, se observó una reducción de sección del acero.



Figura 5. Recubrimiento insuficiente y deterioro de la Armadura

Fueron verificadas fallas en el vaciado de la superficie de la losa, así como segregación del agregado, por mala colocación del concreto y vibración. Se pudo observar también el fenómeno de deterioro del acero principalmente sobre algunas armaduras longitudinales.

Se verificó otro factor de daño, que, a pesar de interferir en la integridad de la durabilidad en la estructura, no está incluido en la Metodología GDE/UnB que es el impacto de vehículos en la estructura. En este caso específico se observa en la Losa la gran cantidad de marcas de recorrido de la parte superior de camiones de carga.

La pista de rodamiento, en cuanto a la metodología, presentó resultados de mantenimiento y conservación buenos, aparentemente, no presentando desgaste superficial excesivo y ni la presencia de grietas ni huecos.

#### 4.1.1 Análisis del Grado de Deterioro de la Estructura (GD)

A partir de la inspección, fué calculado el Grado de Deterioro de la Estructura. El resultado final del deterioro global de la estructura es definido como el promedio ponderado de los grados de deterioro de las familias de elementos ( $G_{df}$ ), teniendo como pesos los respectivos factores de relevancia ( $F_r$ ) de la Tabla 2. Siendo considerado el grado de deterioro para la estaca de contención 7,8, para la baranda 6,0, para la losa del tablero 34,67.

$$G_d = \left( \frac{\sum_{i=1}^n F_{ri} \cdot G_{df}}{\sum_{i=1}^n F_{ri}} \right) \quad (01)$$

$$G_d = \left[ \frac{(7,8 \cdot 3) + (6,0 \cdot 1) + (34,67 \cdot 4)}{3 + 1 + 4} \right] = \frac{168,08}{8} = 21,01 \quad (02)$$

Grado de deterioro de la estructura ( $G_d$ ) del Viaducto 01 = 21,01

Tabla 2. Factor de Relevancia Estructural de las familias de elementos ( $F_r$ )

Familia	Fr
Barreras, barandas, separadores, pista de rodamiento	1
Juntas de dilatación	2
Travesaños, estacas, alas	3
Losas, fundaciones, vigas secundarias, aparatos de apoyo	4
Vigas y pilares principales	5

La estructura tuvo un  $G_d$  final de 21,01 que según el nivel de deterioro es considerado promedio para valores en el rango 15-50, por lo tanto, para el Viaducto 01 se recomienda definir plazo y la

naturaleza de una nueva inspección y planificar una intervención a largo plazo de no más de 2 años. Vale resaltar que ese plazo para la inspección/intervención es de acuerdo con el método de análisis adoptado, los autores consideran que las intervenciones deben ser inmediatas y las inspecciones periódicas.

#### 4.2 Viaducto 02

El viaducto 02 queda localizado sobre el Eje entre las supercuadras 103/104 y 203/204 Norte.

El viaducto presentó una gran cantidad de manchas en diversas partes de la estructura, la mayoría en la parte que queda expuesta a lluvia sin protección. Figura 6.



Figura 6. Manchas esparcidas por la estructura

En la Figura 7 puede ser observado, diferentes tipos de daños en las barandas entre éstos, falla de vaciado, pérdida del recubrimiento de concreto en los pilares que resultan en la exposición del acero a lluvias y a los agentes corrosivos en la armadura.

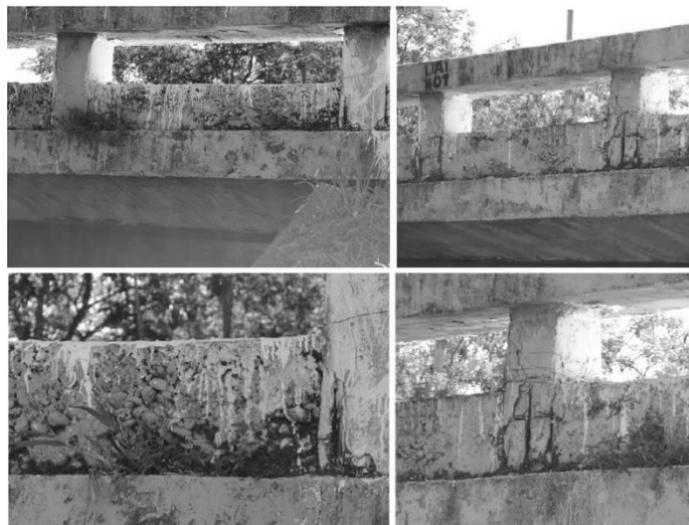


Figura 7. Falla en el vaciado, pérdida de concreto y manifestaciones patológicas en la armadura (Barandas)

En las losas del tablero, también fueron observados varios daños como: falla del vaciado por falta de vibración en el concreto posterior a su colocación; manifestaciones patológicas de la armadura y en algunos lugares, es posible notar un recubrimiento deficiente por la visualización de trechos expuestos de la armadura en pequeñas extensiones. En el área de los bordes de la losa, donde queda la parte más susceptible la acción de la lluvia, se puede percibir manchas acentuadas de gran extensión. También se puede verificar que este fenómeno tiene comprometida la armadura por el deterioro del acero y en algunas partes es posible, visualmente notar, la pérdida de sección.

Fueron observados daños como recubrimiento insuficiente, falla en el vaciado, manchas y ataque a la armadura. En la parte inferior de la viga de la protección, fueron vistos señales de fallas de vaciado, grietas, pérdida del concreto y manifestaciones patológicas de las armaduras en las regiones del acero expuesto.

En la Figura 8 es posible visualizar una grieta vertical y restos de trozos de madera en la región de la estaca, se verifica también la condición del pavimento flexible sobre la losa del viaducto, por la figura, se nota un pequeño hueco y una grieta perpendicular al flujo de la pista, donde hay indicios que haya sido causada por el desgaste del material de la junta de dilatación del tablero.

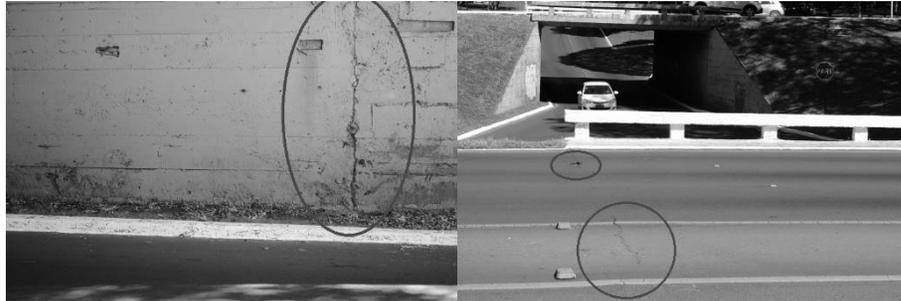


Figura 8. Grieta en la Cortina e incidencias patológicas en la pista de Rodamiento

#### 4.2.1 Análisis del Grado de Deterioro de la Estructura (GD)

El resultado final del deterioro global de la estructura (Gdf), teniendo como pesos los respectivos factores de relevancia (Fr), fué de 37,25, que según el nivel de deterioro es considerado mediano para valores en el rango de 15-50, por lo tanto, para el Viaducto 01 se recomienda definir plazo y naturaleza de una nueva inspección y planificar la intervención a largo plazo, en no más de 2 años. Cabe resaltar que ese plazo para la inspección/intervención es de acuerdo con el método de análisis adoptado, los autores consideran que las intervenciones deben ser inmediatas y las inspecciones deben ser periódicas.

#### 4.3 Viaducto 03

El viaducto 03 queda localizado en el Eje W próximo a las supercuadras 203/204 Norte.

En la Figura 9 se observa dos tipos de daños frecuentes causados por el impacto de vehículos en este tipo de viaducto, tanto relacionado al impacto de un vehículo sobre la baranda de protección cuanto al recorrido de la carrocería de camiones de carga que trafican en la vía con altura superior al lado derecho del viaducto, causando daños en el recubrimiento de la losa y en algunas ocasiones la propia armadura de la estructura.



Figura 9. Daño en la estructura de la baranda de protección y vista general - daño en la losa por recorrido de vehículos debido la altura.

#### 4.3.1 Análisis del Grado de Deterioro de la Estructura (GD)

Aplicando la metodología se encontró un  $G_d$  final de 19,48 que según el nivel de deterioro es considerado mediano para valores en el rango de 15-50, por lo tanto, para el Viaducto 03 se recomienda definir plazo y naturaleza de una nueva inspección y planificar una intervención a largo plazo de no más de 2 años. Vale resaltar que ese plazo para inspección/intervención y de acuerdo con el método de análisis adoptado, los autores consideran que las intervenciones deben ser inmediatas y las inspecciones deben ser periódicas.

### 5. CONCLUSIONES

A partir de las informaciones obtenidas en la literatura técnica, inspecciones de campo y el uso de la metodología GDE/UNB se presentan las conclusiones a continuación, con la finalidad de servir de ayuda para tomar de decisiones en cuanto la priorización de intervenciones de rutina, para que se amplíe la vida útil de sus elementos y de la estructura de forma global.

- En el viaducto 01 el elemento que presentó mayor grado de deterioro fue la Losa con un valor de 34,67, siendo recomendado para la misma definir un plazo y naturaleza de una nueva inspección y planificar la intervención a largo plazo, en menos de 2 años debido a su grado de daño Mediano.
- En el viaducto 01, el  $G_d$  presentó un valor final de 21,01 que según el nivel de deterioro es considerado mediano, por lo tanto, se recomienda definir el plazo y naturaleza de una nueva inspección y planificar una intervención a largo plazo en menos de 2 años.
- En el viaducto 02, el elemento que presentó mayor grado de deterioro fue la Losa con un valor de 62.46 considerado alto, siendo recomendado definir plazo para inspección especializada y planificar la intervención a mediano plazo en un período menor a un año.
- En el viaducto 02, el  $G_d$  presentó valor final de 37,25 que según el nivel de deterioro es considerado mediano, por lo tanto, se recomienda definir plazo y naturaleza de una nueva inspección y planificar una intervención a largo plazo de menores de dos años.
- En el viaducto 03 el elemento que presentó el mayor grado de deterioro fue la baranda, con el valor de 84,53 considerado un nivel alto, recomendando definir plazo para inspección especializada rigurosa y planificar la intervención a corto plazo, en menos de 6 meses.
- En el viaducto 03, el  $G_d$  presentó valor final de 19.48 que según el nivel de deterioro es considerado mediano, por lo tanto, se recomienda definir plazo y naturaleza de una nueva inspección y planificar la intervención a largo plazo en menos de dos años.
- Siendo así el Viaducto 02 fue el que presentó el mayor valor de deterioro de 37.25, toda vez que los viaductos son muy próximos, una justificación plausible para esta diferencia de valores sería el flujo de vehículos que, en este viaducto, es más intenso que los otros dos, causando la disminución de su durabilidad y vida útil de la estructura.
- Los elementos que también sufrieron la mayor incidencia de daños fueron las losas que pueden ser comprobados tanto visualmente por los registros fotográficos de campo como por los resultados de la metodología.

Ante esto, se considera que la metodología atiende a la premisa de colaborar con el ingeniero responsable en la toma de decisión de forma rápida sobre inspecciones de viaductos y otras obras de arte especiales. Sugiere que las inspecciones sean hechas periódicamente y que el mantenimiento también sea periódico a fin de garantizar la seguridad y durabilidad estructural de los elementos analizados.

La reparación y refuerzo de los elementos que necesiten de intervención, deben ser provenientes de proyectos elaborados por profesionales especializados y ejecutados por empresas con capacidad técnica para la actuación en recuperación y refuerzo de estructuras de puentes. Un

punto que debe ser tomado en consideración es que debe ser implementado un sistema de gestión para que sean gerenciadas las obras, inspecciones, monitoreo e intervenciones. El tráfico aumenta constantemente, lo que evidencia la necesidad de control del sistema vial.

## 6. AGRADECIMENTOS

Los autores agradecen al CNPq, a CAPES y a FAP-DF por el apoyo financiero en todas las etapas de esta investigación. Agradecen también al Centro Universitario del Distrito Federal – UDF por el apoyo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), *ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*, Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016), *ABNT NBR 9452:2016 - Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Boldo, P. (2002), *Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 295p.
- Castro, E. K. (1994), *Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 185 p.
- Castro, E. K., Clímaco, J. C. T. S., Nepomuceno, A. A. (1995), “*Desenvolvimento de uma metodologia de manutenção de estruturas de concreto armado*”, 37º. Congresso Brasileiro do Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, Anais, v.1, pp. 293-307, Goiânia.
- Euqueres, P. (2011), *Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 168 p.
- Fonseca, R. P. (2007), *A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 213 p.
- Helene, P. R. L. (1997), *Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto*. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São Leopoldo. Anais, São Leopoldo: ANTAC, 1997. p. 31-42.
- Klein, D. L., Gastal, F. P. S. L., Campagnolo, J. L. (1998), *Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte*. In: XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, 1991, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: UFRGS, 1991, p. 185-197
- Lopes, B. A. R. (1998), “*Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”*”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308 p.
- Mattos, Aldo Dórea (2010), *Planejamento e controle de obras*. Pini.
- Medeiros, A. G. (2015), *Análise de durabilidade da ponte do Rio do Carmo utilizando ensaios não destrutivos, norma DNIT e a metodologia GDE/UNB*. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. URI: <http://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/20496>
- Mehta, P. K; Monteiro, P. J. M. (2008), *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 3º ed., IBRACON, São Paulo, p. 674.
- Ribeiro, D. V. et al. (2014), *Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise*. 1º ed., Campus / Elsevier, Rio de Janeiro, 2014. p. 272. ISBN:978-85-352-

7547-6

Tuutti, K. (1982). *Corrosion of steel in concrete*. Stockholm - Swedish Cement and Concrete Research Institute.

Verly, R. C. (2015), *Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais*. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília.