

# Identification and analysis of pathologies in bridges of urban and rural roads

## Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales

Nilson Tadeu Mascia\*<sup>1</sup>, Artur Lenz Sartorti\*\*

\* Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP. BRAZIL

\*\* Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP). BRAZIL

Fecha de recepción: 04/ 12/ 2010  
Fecha de aceptación: 06/ 03/ 2011  
PAG. 05 - 24

### Abstract

A concern with a great number of bridges with significant pathological problems was the motivating factor to carry out this research. Small and medium size bridges have significant relevance for the economic and social development of the country, because they must ensure the transit of people, vehicles with raw material and local produce. However, the precarious conditions of bridges in the urban and rural areas make the displacement difficult, causing discomfort and unsafety for users. Furthermore, the transportation costs for producers and the maintenance for the local government continue to increase. This article intends to show the conservation conditions of small and medium sized bridges in the urban and rural region of Campinas (SP)-Brazil. Thus, this study is based on the analysis of four bridges of this region, in which is presented several examples in situ of the pathological manifestations in concrete, steel and wood bridges. This article also focuses on the design of bridges and its relationship with the pathological condition establishing concepts that could be applied to the corrective method and the pathology identification in concrete, steel and wood bridges. Finally, it aims to conclude that the most appropriate way to avoid a pathological state is preventive maintenance.

Keywords: Bridges, pathology, concrete, steel, wood

### Resumen

La preocupación con un gran número de puentes con importantes problemas patológicos fue el factor de motivación para llevar a cabo esta investigación. Puentes de tamaños mediano y pequeño tienen relevancia significativa en el desarrollo económico y social del país, pues deben garantizar el tránsito de personas, vehículos, materias primas y productos locales. Sin embargo, las precarias condiciones de los puentes en las zonas urbanas y rurales hacen difícil el desplazamiento, causando incomodidad e inseguridad para los usuarios. Por otro lado, los costos de transporte para los productores y el mantenimiento para los gobiernos locales continúan aumentando. Este artículo tiene la intención de evaluar las condiciones de conservación de puentes pequeños y medianos en la región urbana y rural de Campinas (SP)-Brasil. Así, este estudio se basa en el análisis de cuatro puentes de esta región, en los que se presentan varios ejemplos sobre el terreno de las manifestaciones patológicas en puentes de concreto, acero y madera. Este artículo también se centra en el diseño de puentes y la relación con su estado patológico estableciendo conceptos que podrían aplicarse al método correctivo y a la identificación de la patología en puentes de concreto, acero y madera. Por último, el objetivo es concluir que la forma más adecuada para evitar un estado patológico es el mantenimiento preventivo.

Palabras Clave: Puentes, patología, concreto, acero, madera

## 1. Introducción

La importancia de los puentes en el desarrollo y en las relaciones humanas ha sido el objetivo principal del impulso para el conocimiento en la construcción y mantención de dichas estructuras.

## 1. Introduction

The importance of bridges for the development and human relationship has been the main reason for the advance impulse in knowledge of construction and maintenance of these structures.

<sup>1</sup> Autor de correspondencia / Corresponding author:  
E-mail: nilson@fec.unicamp.br

En general el propósito inicial de un puente es superar un obstáculo para luego continuar el camino. Sin embargo, tomando en cuenta la literatura técnica sobre clasificaciones de puentes, es necesario considerar aspectos de diseño, tales como obstáculos superados, vistas laterales, cantidad de vanos libres, área de soporte que constituye el material, naturaleza del tránsito, etc.

En general, se reconoce que técnicamente existe un énfasis en los grandes puentes con sistemas estructurales complejos, sin considerar adecuadamente los puentes pequeños y de tamaño mediano. Sin embargo miles de pequeños puentes conectan a un sinnúmero de personas, ofreciéndoles acceso a oportunidades de recursos necesarios y a un flujo de producción.

Desgraciadamente, es posible notar que la mayoría de los puentes rurales y urbanos presentan condiciones patológicas críticas, poniendo en riesgo la seguridad de la sociedad y produciendo pérdidas económicas.

Este artículo intenta colaborar con las tareas de identificación de patologías en puentes pequeños y de tamaño mediano. Para tal efecto, es necesario revisar los factores relativos a los diseños de puentes y patologías en estructuras de madera, acero y concreto. El trabajo de identificación de la patología de un puente es presentado, en conjunto, con un caso de estudio realizado en cuatro puentes de Campinas (SP) en el sudeste de Brasil.

## 2. Preparación del diseño del puente

Los diseños de los puentes se caracterizan por la complejidad y la información que debiera ser sintetizada por el diseñador. Entonces, para diseños grandes y especiales, se requiere un equipo multidisciplinario. La calidad de un puente puede ser medida en función de su resultado funcional, estructural, económico y estético. Por lo tanto, un profesional requiere de conocimientos de ingeniería en transporte, estructuras, geotécnica, topografía, hidráulica, arquitectura y también se requieren otros especialistas para cada proyecto.

Cuando se observa el aspecto estructural, es evidente que el adecuado diseño estructural de un puente es de vital importancia, puesto que interferirá con su factibilidad, costos, funcionalidad y estética. Sin embargo, la eficiencia estructural no es siempre considerada como una cualidad, sino como un pre-requisito para un correcto diseño, en comparación con otras características tales como funcionalidad, hidráulica, ingeniería geotécnica y estética.

In general the initial purpose of a bridge is to transpose an obstacle and then the continuation of the road. Nevertheless, taking into account technical literature on bridge classifications, it is necessary to consider several design aspects, such as transposed obstacles, side view, number of clear span, bearing area constituent material, traffic nature, etc.

In general, it is acknowledged, technically, that there is an emphasis on large bridges with complex structural systems, without a proper consideration to the small and medium sized bridges. However, thousands of small bridges connect many people, offering them an access opportunity to necessary resources and a flow of production.

Unfortunately, it is possible to notice that a majority of rural and urban bridges presents critical pathological conditions, offering risks to society's safety and producing financial losses.

This article aims to collaborate on the pathology identification task in small and medium sized bridges. For this purpose, it is necessary to review the issues related to bridge designs and pathologies in wood, steel and concrete structures. The exemplification work on bridge pathology identification is presented along with a case study of four bridges in Campinas (SP) region in southeastern of Brazil.

## 2. Bridge design preparation

Bridge designs are characterized by complexity and information that should be synthesized by the designer. Thus, in great and special designs, a multidisciplinary team is required. The quality of a bridge can be measured with respect to its functional, structural, economic and esthetic success. Therefore, a professional need for transportation, architecture, structure, geotechnical engineering, topography, hydraulics and other specialists are necessary for each project.

When observing the structural aspect, it is noticed that the adequate bridge structural design is of major importance, as this will interfere with its feasibility, cost, functionality and aesthetics. However, structural efficiency is not always considered as a quality, but as a prerequisite for a correct design compared with other characteristics such as functionality, hydraulics, geotechnical engineering and aesthetics.

Para el diseño de un puente-camino, los valores resultados del diseño y los estados límites máximos de vida útil debieran cumplir con la norma brasilera ABNT: NBR 8681 (2003), en la cual, por ejemplo, la clasificación es realizada para resultados excepcionales, variables y permanentes. Según la norma ABNT: NBR 7187 (2003) para el diseño y ejecución de un Puente de hormigón reforzado o pre-tensado, los resultados activos dentro de los puentes son presentados dentro de los siguientes grupos con características relacionadas al diseño de los puentes.

Cuando los resultados activos son determinados a través de rutinas de cálculos, se verifican las fuerzas internas y secciones resistentes en el procedimiento de diseño, tomando en cuenta efectos locales y globales.

La determinación de fuerzas internas en las estructuras de los puentes no es una tarea sencilla y requiere de la experiencia y habilidad del ingeniero. El conocimiento de la estática estructural, en conjunto con una serie de combinaciones permite al diseñador determinar la distribución de carga.

Liebenberg (1993) también afirma que, incluso con procesadores de datos y actualizaciones computacionales, los procesos interactivos de análisis estructural, tales como el método de elementos finitos permiten a los diseñadores de puentes llegar a aproximaciones más realistas y a substituir cálculos numéricos complejos.

Hambly (1990) describió los cálculos de dimensionamiento revisando el conjunto de ecuaciones de equilibrio, en el total de una estructura o en parte de ella, comprobando la resistencia de cada sección y evaluando la condición de vida útil así como efectos secundarios.

Luego de dimensionar y detallar cada paso, la mayor preocupación debiera ser la selección del método constructivo.

La construcción y ensamblaje de un puente requiere de estudios acuciosos. En este estudio en particular, se debe considerar todas las medidas a ser tomadas, paso a paso, para garantizar aspectos de seguridad en la construcción, según indican Pinho y Bellei (2007). Otra inquietud es la ubicación de recursos en el método constructivo, como destacó Liebenberg (1993), debido a que el método de construcción es un factor muy importante en la selección de la alternativa estructural de un puente. Existen numerosos métodos de construcción para súper-estructuras tales como el hormigón vaciado en obra, elementos de hormigón pre-fabricado y vanos sucesivos.

### 3. Patologías estructurales

De acuerdo con Ripper y Souza (1998) se ha designado como Patología Estructural, el campo de la Ingeniería en Edificaciones que estudia los orígenes,

In the design of a road bridge, design values of actions, ultimate and serviceability limit states should follow in accordance with the Brazilian code ABNT: NBR 8681 (2003) in which, for instance, the classification of actions is made for exceptional, variable and permanent ones. According to ABNT: NBR 7187 (2003) on reinforced and pre-stressed concrete bridge design and execution, the active actions within bridges are presented with these three action groups with features related to the design of bridges.

When active actions are determined by calculating routines, internal forces and resistant section are verified in the design procedure taking into account local and global effects.

The determination of internal forces in bridge structures is not an easy task and demands experience and skill of the engineer. The knowledge of structural static in conjunction with action combinations allows the designer to determine loading distribution.

Liebenberg (1993) also states that even with data processing and computing updates, structural analysis interactive processes such as finite element method enabled designs of bridges to become more realistic and substituted numerable and difficult calculations.

Hambly (1990) described sizing calculations such as checking the set of equilibrium equations, in total or part of structure, checking each section resistance and checking serviceability condition and second-order effects.

After sizing and detailing each step, the constructive method selection should be the main concern.

Bridge building and assembly require very careful studies. In this particular study, all step-by-step actions to be performed must be considered in order to guarantee the safety aspects of the construction, according to Pinho and Bellei (2007). Another concern is the resource allocation on the construction method, as Liebenberg (1993) highlighted, because the construction method is a very important factor on bridge structural solution choices. There are several construction methods for superstructures such as in situ concrete, precast concrete elements and successive spans.

### 3. Structural pathologies

According to Ripper and Souza (1998), what is designated for Structural Pathology is the Building Engineering field that studies origins,



formas manifiestas, consecuencias y mecanismos de ocurrencia de fallas y sistemas de daños en las estructuras. También es parte de ella el área de la Ingeniería que trata patologías, incluyendo sistemas, mecanismos, causas y orígenes de fallas en obras civiles, es decir estudia las partes que componen el diagnóstico del problema.

Las patologías estructurales que se presentan en los puentes varían en intensidad e incidencia, provocando muchas veces altos gastos de reparación, como describió Raina (2003). En un aspecto similar, siempre existirán consideraciones estéticas y, a menudo, reducciones de la capacidad de resistencia, a veces conduciendo a una parcial o total falla estructural. Dado el constante aumento de situaciones de patología estructural, se ha investigado en esta área, no sólo en busca de la sistematización patológica, sino que también en el fomento de nuevos conceptos tecnológicos. Algunos nuevos conceptos, no tan difundidos sino hasta hace poco, son el rendimiento, durabilidad, entorno, conformidad, ciclo de vida útil y mantención.

Es posible definir el ciclo de vida material, como el período durante el cual sus características químicas y físicas permanecen sobre los límites mínimos especificados para su función. El ciclo de vida, puede ser extendido en forma significativa con un adecuado programa de mantención estructural.

El estudio de la Patología Estructural involucra el análisis detallado del problema, describiendo sus causas, formas manifiestas, mecanismos de ocurrencia, mantención estructural y profilaxis. Con una correcta estimación del caso, es posible que el profesional involucrado pueda definir una de las cuatro medidas terapéuticas para un caso de condición patológica. Según Sartorti y Mascia (2010) el terapeuta es responsable por el estudio de las correcciones y soluciones al problema. Existe un consenso que para alcanzar una alternativa correcta de aplicación terapéutica, se debe realizar un estudio detallado indicando el diagnóstico real del origen patológico. En la Tabla 1 se muestran las terapias a ser adoptadas, de acuerdo a cada caso. Maldonado et al. (2009) también establecieron que una evaluación correcta de los eventos que ocurren en una estructura, llevan a una intervención que dependerá, entre otros factores, del material disponible, costo de mano de obra y tiempo límite de ejecución.

manifest forms, consequences and mechanisms of failure occurrence and structure damage systems. Also, the Engineering area which leads with pathologies is a part of it that studies systems, mechanisms, causes and origins of civil construction failures, i.e., that studies the parts which compose the problem diagnosis.

Structural pathologies presented with bridges vary in intensity and incidence, many times causing high costs for their correction, as commented by Raina (2003). Under a similar aspect, there will always be aesthetics committal and often, resistance capacity reduction, sometimes leading to a partial or total structure failure.

With the constant increase in the structural pathological problems, Structure Pathology has been searched, not only for the pathology systematization but also the promotion of new technical conceptions. New concepts, not so widespread until recently, are the performance, durability, environment, conformity, service life cycle and maintenance.

It is possible to define material life cycle as the period when its chemical and physical characteristics remain above the minimal limits specified for its function. Its life cycle may be extended significantly with a correct program of structural maintenance.

Structural pathology study envelops a detailed problem analysis, describing its causes, manifest forms, occurrence mechanisms and structural maintenance and prophylaxis. With a correct case estimate, it is possible for the involved professional to define one of the four common therapeutic measures in case of a pathological condition. According to Sartorti and Mascia (2010) therapeutic is responsible for studying these problem corrections and solutions. It is agreed that, for a correct choice and therapy appliance, there should be a detailed study showing the real diagnosis for the pathology origin. In Table 1, therapies are shown to be adopted, according to the case. Maldonado et al. (2009) also argued that a correct evaluation of the events occurring in the structure leads to an intervention that will depend, among other factors, the materials available, cost of labor and time limit.

| Tratamiento/Treatment                                | Característica/Characteristic  |
|--|--|
| Recuperación<br>Recovery                             | Se entiende como recuperación la ejecución de procedimientos necesarios para la recobrar la capacidad resistente y soporte de la estructura<br>As a recovery, it is understood as the necessary procedures for the bearing and strength capacity recovery of structure |
| Restauración<br>Restoration                          | Es una intervención que sólo restablece las condiciones estéticas de la estructura<br>An intervention that only reestablishes the esthetical conditions of the structure   |
| Reforzamiento<br>Reinforcement                       | Corresponde a las actividades para aumentar la resistencia de la estructura o su capacidad de soporte<br>It is the promoted activities for the structure resistance increase or bearing capacity   |
| Limitación de vida útil<br>Serviceability Limitation | Esta opción debe ser adoptada cuando el tratamiento de recuperación no es económicamente viable<br>That option must be chosen when the recovering therapy is not economically viable   |
| Demolición<br>Demolition                             | Es el tratamiento extremo, puede variar desde la demolición parcial de la estructura hasta su completa demolición<br>The extreme therapy can vary from a partial to a complete structure demolition  |

Tabla 1. Tratamientos comunes para estructuras de concreto reforzado  
Table 1. Common treatments for reinforced concrete structures

### 3.1 Patologías del hormigón reforzado y pre-tensado

El hormigón, de la manera en que es empleado, tiene una naturaleza inestable a través del tiempo, presentando algunos cambios químicos y físicos en sus características, debido a las propiedades de sus componentes y a sus reacciones ante factores ambientales propios del lugar donde la estructura desarrolla su función.

Existen muchos factores que influyen en el comportamiento final del hormigón, los más relevantes para la patología en estudio, dentro de las estructuras de concreto reforzado y pre-tensado, son: calidad del material, relación agua/cemento (w/c), medio ambiente, medidas y la calidad del proceso de construcción de obra civil.

#### 3.1.1 Causas de patologías en estructuras de hormigón

En el análisis de la estructura dañada, el reconocimiento de la causa patológica es indispensable junto con correcto tratamiento, necesario para garantizar la minimización de la patología post-recuperación. Las causas del deterioro de las estructuras pueden ser divididas en dos grandes grupos, según Ripper y Souza (1998). Estas pueden ser causas intrínsecas y extrínsecas.

Las causas intrínsecas son aquellas que residen en la estructura misma. Tienen su origen en los componentes y materiales de la estructura. Son causas provocadas por errores humanos durante la ejecución y/o fase de empleo, así como por agentes naturales externos como ataques químicos e incluso accidentes. Mientras que las causas extrínsecas son aquellas independientes de la estructura misma, ya sea por su composición o fallas durante la ejecución. Pueden ser entendidas como factores que agreden las estructuras “desde fuera hacia adentro” durante todo el proceso de concepción, ejecución, o diseño de vida útil.

### 3.1 Reinforced and pre-stressed concrete pathologies

Concrete, the way it is used, has an unstable nature over time, occurring some chemical and physical alterations in its characteristics due to its component properties and their reactions to impositions created by the environment where the structure performs its functions.

There are several factors that influence the final concrete behavior, the most relevant for the pathology study within pre-stressed and reinforced concrete structures are: material quality; water/cement ratio (w/c); environment; actions and the quality in the civil construction process.

#### 3.1.1 Pathology causes in concrete structures

In the damaged structure analysis, the pathological cause acknowledge has constituted of indispensable importance with a correct treatment, necessary to guarantee the post-recovering pathology minimization. The causes of deterioration of structures can be divided into two large groups, as discussed in Ripper and Souza (1998). Those are intrinsic and extrinsic causes.

The intrinsic causes are those that reside in the structure itself. They have their origin into the structure components and materials. These causes are generated by human error at the execution and/or use phase, and by external and natural agents like chemical attacks and even accidents. Yet the extrinsic causes are those that are independent of the structure itself, as well as of its composition or failures due to the execution. They can be understood as factors attacking the structures, “from the outside-in”, during its whole conception process, execution or design service life.

### 3.1.2 Formación y mecanismos manifiestos de las patologías en el hormigón pre-tensado y reforzado

#### a) Grietas

La formación de grietas se debe a la deformación provocada por la carga medioambiental o mecánica en una pieza de hormigón reforzado o pre-tensado, y puede tener origen en muchos factores, tales como grietas por deformación de tensión o compresión (estado crítico de leve colapso); grietas originadas por esfuerzo cortante o torsión (según Fusco (2008), que constituyen un estado crítico de leve colapso); grietas causadas por desplazamiento del hormigón; grietas originadas por contracción; grietas causadas por deformación de longitud térmicas o higroscópicas; grietas provocadas por deficiencia en el posicionamiento de equipo de soporte y detalles en las juntas dentadas.

Las aberturas pueden presentar diferentes dimensiones y denominaciones según Raine (2003). De acuerdo a sus magnitudes son clasificadas e indicadas en la Tabla 2. También se presentan algunos comentarios a continuación.

#### corrosión del hormigón

En particular, la corrosión del hormigón es el deterioro donde las reacciones producidas son químicas y no electro-químicas, pudiendo ocurrir en tres formas: lixiviación, reacción de iones y expansión. Lorenzo et al. (2009) concentra la atención en la microbiología como causa importante de la corrosión en puentes y viaductos. La variabilidad genética y fisiológica existente en los microorganismos, especialmente en la bacteria, permite que determinados grupos se instalen en un tipo de estructuras, provocando daños.

#### corrosión del acero reforzado

Los ambientes agresivos, una alta porosidad, alta capilaridad, deficiencia en el grosor de la cubierta, materiales de construcción defectuosos y grietas severas son, según Perdrix (1992), factores predominantes de corrosión en el acero reforzado.

La corrosión del acero, de acuerdo con su forma manifiesta es clasificada e indicada en la Figura 1.

Puesto que el hormigón presenta una alta concentración de hidróxido de calcio, se produce considerable alcalinidad, con un  $\text{pH} \geq 12.5$ . El dióxido de carbono, responsable de la reacción de carbonatación, reduce el pH del hormigón, depasivando el acero y facilitando el ataque de sustancias nocivas. La velocidad de penetración del frente de carbonatación está en función directa con la permeabilidad y agrietamiento del material. La relación w/c que determina la permeabilidad específica del hormigón y el grosor de la cubierta, puede influir en la velocidad de carbonatación, como se comprueba en la Tabla 3, (Helene y Pereira, 2007).

### 3.1.2 Formation and manifest mechanisms of pathologies in pre-stressed and reinforced concrete

#### a) Cracks

Cracks are due to a deformation caused by the mechanical or environmental loading in a pre-stressed or reinforced concrete piece, may have its origin from various factors, such as: tension and compression cracks by bending (a critical state of fragile collapse); cracks caused by shear came from a shear or twist (according to Fusco (2008), it is a critical state of fragile collapse); cracks caused by the concrete creep; cracks caused by shrinkage; cracks caused by thermal and hygroscopic strains; cracks caused by deficiencies in support equipment positioning and teeth joint details.

The openings can present different dimensions and designations according to Raine (2003). Through their magnitudes, they can be listed and shown in Table 2. Some comments are described as follows:

#### corrosion of concrete

The concrete corrosion particularity is the deterioration where reactions are only chemical and not electrochemical, being able to occur in three ways: leaching, ionic reaction, and expansion. Lourenço et al. (2009) draws attention to microbiological corrosion as an important corrosion cause in bridges and viaducts. The genetic and physiological existing variability among micro-organisms, especially bacteria, allows determined groups to be installed into special structures, causing damages.

#### corrosion of steel reinforcement

Aggressive environments, high porosity, high capillarity, deficiency in cover thickness, construction materials with problems and severe cracking are, according to Perdrix (1992), predominant factors a of corrosion of steel reinforcement.

The steel corrosion, according to its manifest form, can be classified as shown in Figure 1.

As concrete presents a high calcium hydroxide concentration, a considerable alkalinity occurs, being its  $\text{pH} \geq 12.5$ . Carbon dioxide, which is responsible for carbonation reaction, reduces concrete pH, depassivating steel and facilitating an attack of deleterious substances. The penetration speed of carbonation front is a direct function of material permeability and cracking. The relation w/c that determines the concrete specific permeability and the cover thickness can have an influence in the carbonation speed, which is verified by Table 3. (Helene and Pereira, 2007).

| Tipos de abertura/Opening Types | Tamaño/Size                                 |
|---------------------------------|---|
| Fisura capilar/Capillary Cracks | menor a 0.2 mm/Less than 0.2 mm             |
| Fisura/Cracks                   | desde 0.2 mm a 0.5 mm/from 0.2 mm to 0.5 mm |
| Surco/Split                     | desde 0.5 mm a 1.5 mm/from 0.5 mm to 1.5 mm |
| Ranuras/Slit                    | desde 1.5 mm a 5 mm/from 1.5 mm to 5 mm     |
| Fracturas/Fracture              | desde 5 mm a 10 mm/from 5 mm to 10 mm       |
| Brechas/Breach                  | mayor a 10 mm/more than 10 mm               |

Tabla 2. Dimensiones de las aberturas de grietas, surcos, ranuras, fracturas y brechas  
Table 2. Opening dimensions of crack openings, splits, slits, fractures and breaches

| Penetración en el tiempo, años /Penetration time in years |     |    |      |      |      |      |
|---|-----|----|------|------|------|------|
| Cubierta/Cover (mm)                                       | 5   | 10 | 15   | 20   | 25   | 30   |
| Relación/Relation w/c                                     |     |    |      |      |      |      |
| 0.45  | 19  | 75 | >100 | >100 | >100 | >100 |
| 0.50  | 6   | 25 | 56   | 99   | >100 | >100 |
| 0.55  | 3   | 12 | 27   | 49   | 76   | >100 |
| 0.60  | 1.8 | 7  | 16   | 29   | 45   | 65   |
| 0.65  | 1.5 | 6  | 13   | 23   | 36   | 52   |
| 0.70  | 1.2 | 5  | 11   | 19   | 30   | 43   |

Tabla 3. Penetración del frente de carbonatación en el hormigón de cemento Portland  
Table 3. Carbonation front penetration in Portland cement concrete

Yoris et al. (2010) también concluyeron que la carbonatación es significativa en estructuras ubicadas en ambientes industriales y están expuestas a ciclos de humectación y secado.

Una de las medidas preventivas y correctivas es la protección catódica con ánodos de protección. Sin embargo Pereira (2009) señaló que una adecuada concepción y determinación de los sistemas de protección catódica, así como una adecuada inspección periódica de los ánodos, adquieren gran importancia para la eficiencia y rendimiento de un sistema de protección. Esta inspección debiera considerar el diseño de vida útil, porque con el sistema operando, los ánodos se desgastarán hasta consumirse, permitiendo el desarrollo de procesos corrosivos.

#### b) Reacciones químicas

Además de las reacciones químicas necesarias para la hidratación de los componentes del hormigón, que inducen a deformaciones por encogimiento, pueden existir reacciones nocivas tales como reacciones expansivas. Mehta y Monteiro (2008) indicaron que las más comunes de este tipo son: reacción alcalina del agregado, reacción alcalina dolomita, feldespato calcio-sódico, ataque de sulfatos.

Yoris et al. (2010) also commented that the carbonation is significant in structures located in industrial environments and are subject to cycles of wetting and drying.

One of the preventive and corrective measures is the cathode protection with sacrificial anodes; however, Pereira (2009) point out that an adequate conception and sizing of the cathode protection systems as well as the appropriate anode periodic inspection, own a great importance for protection system efficiency and performance. This inspection should take into consideration the design life system because, with the system working, the anodes will wear out until total consumption, allowing the emergence of a corrosive processes.

#### b) Chemical reactions

In addition to the chemical reactions necessary for the hydration of cement compounds hydration, which induce shrinkage strains, there can be deleterious reactions such as expansive reactions. Mehta and Monteiro (2008) noted that the most common ones of that kind are: alkali-aggregate reaction; alkali-dolomite reaction; calc-sodic feldspars, sulphate attack.

c) Daño provocado por la colisión de vehículos y fuego  
La colisión de un vehículo contra las estructuras del puente provoca cargas extremas y elevadas difíciles de dimensionar, causando deformación aguda y daños tales como el desprendimiento de la cubierta y la exposición de la barra de acero reforzado, exigiendo un programa de protección para tales reparaciones (El Debs y Takeya, 2003).

Puesto que el estudio del fuego es bastante común, existe buen material de referencia sobre esta materia. En las estructuras de hormigón reforzado y pre-tensado, el fuego produce una acción tremendamente nociva. El calentamiento del material produce un aumento del volumen generando enormes esfuerzos internos que provocan deformación del hormigón, grietas y colapso del hormigón.

Helene y Pereira (2007) descubrieron que el grado de alteración que se puede producir en un hormigón y sus componentes ante la acción del fuego, dependerá principalmente del nivel de temperatura alcanzado, tiempo de exposición y composición del hormigón. Mehta y Monteiro (2008) también destacaron que un hormigón más permeable otorgará un nivel de deterioro menor que un hormigón más compacto, ya que contiene vapor de agua retenido en los capilares y vacíos de la matriz.

d) Deterioro del hormigón pre-tensado

Los elementos del concreto pre-tensado también pueden sufrir con las acciones nocivas de factores bien conocidos y cuantificados, según Cauduro (2003): pérdida de adherencia entre el acero tensado y el hormigón; relajación del acero pre-tensado; retracción del hormigón; corrosión por deformación del hormigón bajo tensión del acero pre-tensado; deficiencia de la barra de acero de refuerzo pasiva en el anclaje.

### 3.2 Puentes de Madera

Según Wood Handbook (1999) a comienzos del siglo veinte, la mayoría de los puentes en Norte América eran construidos en madera. En la década de los noventa, se inició una campaña a nivel nacional para restaurarlos y permitirles elevar su capacidad de carga.

Calil et al. (2003) destacaron que la durabilidad de la madera – siempre que sus procesos de secado y preservación hayan sido desarrollados correctamente – junto con el empleo de técnicas modernas, permiten que en Brasil se puedan producir estructuras que duren 50 años o más. Por cierto, el mercado de la construcción requiere productos de alto rendimiento, bajo costo, valor estético y que sean ecológicos desde un punto de vista medioambiental.

c) Damage provoked by vehicle collisions and fire  
Vehicle collision against bridge structures produce very high and extreme loadings of difficult sizing, causing sharp deformation and damages such as cover thickness detachment and steel reinforcement bar exposition, demands a maintenance program for such repairs (El Debs and Takeya, 2003).

Yet fire study is more common, having a good material quantity referring to the subject. At the reinforced and pre-stressed concrete structures, fire produces a great deleterious action. Material heating provokes a volume increase generating strong internal stresses, causing concrete deformation, cracking and breakdown of the concrete.

Helene and Pereira (2007) noted that the degree of change that can be produced in a concrete and its components when the action of fire, will depend mainly on the level of temperature reached, exposure time and composition of the concrete. Mehta and Monteiro (2008) also highlighted that a more permeable concrete will provide a level of deterioration less than a concrete more compact because it allows the steam of water retained in the capillaries and voids of the matrix.

d) Pre-stressed concrete deterioration

Pre-stressed concrete elements can still suffer deleterious action of some well-known and quantified factors according to Cauduro (2003): adherence loss between tensioned steel and concrete; pre-stressing steel relaxation; concrete retraction; concrete creep corrosion under pre-stressing steel tension; passive steel reinforcement bar deficiency at anchoring.

### 3.2 Wood Bridges

According to Wood Handbook (1999), at the beginning of the twentieth century, most of the North American bridges were made of wood. In the 1990s, there was a national campaign to restore and enable them to elevate their loading capacity.

Calil et al. (2003) highlight that the wood durability – once it is performed correctly the processes of drying and preservation – along with modern techniques of use, can produce structures in Brazil that last for 50 years or more of use. Indeed, the construction market requires products of good performance, low cost, esthetic value and “green” from an environmental point of view.





### 3.2.1 Factor de interferencia en el rendimiento estructural de la madera

Según Porteous y Kermani (2008), los factores esenciales que influyen en las propiedades de la madera son de orden anatómicos (densidad, ángulos fibrosos, nodos, falla natural de la madera, presencia de declive y flexión de parénquima); factores de uso y medioambientales (humedad y fallas causadas por ataques biológicos, defectos de secado y de procesos).

### 3.2.2 Mecanismos de formación y manifestación patológica en estructuras de madera

La manifestación de patologías en la madera se relaciona estrechamente con el ambiente donde se encuentra la madera y con el proceso de secado que se ha llevado a cabo. Aunque es susceptible a deterioro, su durabilidad está probada por medio de técnicas de prevención apropiadas. Es así como podemos mencionar trozos de madera con más de 2000 años de antigüedad en los monumentos Egipcios, según indica Dinwoodie (2000).

El proceso de secado de la Madera, según indica el manual de Montana (2000), es de vital importancia, puesto que brinda las siguientes ventajas: disminuye el peso propio; aumenta la resistencia mecánica; las contracciones de la madera ocurren antes de emplearla; aumenta la resistencia contra los hongos; bacterias e insectos; mejora la resistencia de adherencia; otorga mayor habilidad de adherencia; las deformaciones y surcos generalmente ocurren en la etapa de secado; y finalmente las pinturas, barnices y lacados solo pueden ser aplicados cuando el secado haya terminado. Además, una característica de la madera que merece ser destacada es su propia anisotropía, responsable de diversas propiedades elásticas y de resistencia, de acuerdo con la dirección de aplicación de la carga en relación a las fibras, como proponen Stalaker y Harris (1997). El deterioro de la madera es un proceso que altera significativamente sus propiedades. De acuerdo con Calil et al. (2008), en forma simple, los agentes causantes de la patología pueden ser clasificados en bióticos y abióticos.

#### a) Agentes bióticos

Estos son especialmente representados por microorganismos como los hongos y bacterias; coleópteros (escarabajos y taladradores de madera) e insectos isópteros (termitas); y taladradores marinos (moluscos y crustáceos). Los agentes bióticos requieren de algunas condiciones para sobrevivir, tales como temperatura, oxígeno, humedad y una adecuada fuente de alimento, que en este caso es la madera (manual de Montana, 2000).

### 3.2.1 Interference factor in the structural performance of wood

According to Porteous and Kermani (2008), the essential factors which influence wood properties are anatomical factors (density, fiber angles, nodes, wood natural failure, presence of pitch and parenchyma bend); environmental and use factors (moisture and failures caused by biological attacks, drying and processing defects).

### 3.2.2 Mechanisms of pathological formation and manifestation in the wood structures

The manifestation of wood pathologies is closely related to the environment where the wood is situated and the drying process that has occurred. Although it is susceptible to deterioration, its durability is proved through proper techniques of prevention and can be mentioned examples of wood pieces with more than 2000 years in Egyptian monuments, according to Dinwoodie (2000).

The process of drying wood, accordance with the Montana handbook (2000), is of relevant significance because it presents the following advantages: decrease of its self weight; increase of mechanical resistance; wood contractions occur before its use; a rise of resistance against fungi, bacteria and insects; improved bond resistance; greater bonding ability; warping and splits generally occur when drying; paintings, varnishes and lacquers can only be applied after drying. In addition, a wood characteristic which deserves to be highlighted is its own anisotropy, responsible for different elastic and resistant properties according to the direction of load application related to the fibers, according to Stalaker and Harris (1997). Wood deterioration is a process that changes significantly its properties. According to Calil et al. (2008), in a simple way, the causative agents of pathology can be classified in biotic agents and abiotic agents.

#### a) Biotic agents

Represented specially by microorganisms as fungi and bacteria; Coleopteran (Beetles and borers) and Isopteran (termites) insects; and marine borers (mollusks and crustaceans). Biotic agents need some conditions in order to survive, such as temperature, oxygen, moisture and proper source of food that is wood (Montana handbook, 2000).

Los efectos patológicos esenciales de estos agentes son la putrefacción y la plaga de insectos, dependiendo de la habilidad de cada organismo pueden producirse ataques aislados o de un solo tipo, o de un grupo de termitas (organismos cuyo alimento es la madera).

La norma ABNT: NBR 7190 (1997) establece situaciones de riesgo para la biodegradación de la madera.

Los diseñadores deben indicar un procedimiento adecuado para cada situación. Según Calil et al. (2003), en general, cuatro preservadores son responsables por el 80% de la madera tratada: creosota, penta-clorofenol, CCA (sal de cromo - cobre - arsénico) y CCB (sal de cromo - cobre - boro).

#### b) Agentes abióticos

Según Calil et al. (2003) los agentes bióticos son del tipo físico-mecánicos, químicos y climáticos. El mecanismo patológico esencial de la madera considera los siguientes agentes abióticos: deformación y surcos provocados por la variación de humedad, abrasión mecánica corrosión de partes de metal, degradación foto-química, deterioro por altas temperaturas, patologías causadas por excesiva deformación e inestabilidad, remoción de maderas, fracturas iniciales y daños provocados por el fuego.

### 3.3 Puentes de acero

Davison y Owens (2003) observaron que el acero estructural cuya aleación metálica está compuesta principalmente de hierro y pequeñas cantidades de carbón (de 0.002% a 2.0%), posee propiedades de resistencia y ductilidad. Aditivos y aleaciones especiales son generalmente empleadas como especialidades en la ingeniería del acero. Además de los tipos de patologías presentes en las estructuras de acero, descritas a continuación, Pinho y Bellei (2007) observan que en las estructuras compuestas (vigas y placas) fabricadas en acero y hormigón, muy empleadas en la construcción de puentes pequeños y de tamaño mediano, también se debe verificar la integración entre el hormigón y el acero, es decir las conexiones.

#### 3.3.1 Mecanismos de formación y manifestación de patologías en estructuras de acero

##### a) Oxidación del acero

Pannoni (2004) establece que el fenómeno de la corrosión involucra una amplia variedad de mecanismos generadores, que pueden ser clasificados en cuatro grupos: corrosión en ambiente acuoso (90%), oxidación y corrosión por calor (8%), corrosión en ambientes orgánicos (1.8%), corrosión por metales líquidos (0.2%). La causa más frecuente de deterioro en las estructuras de metal es la oxidación del acero. La corrosión de las estructuras de acero se muestra en la Figura 1.

The essential pathological effects of these agents are rot and insect infestation that, depending on the ability of each organism, may occur isolated attacks by only a single type or by a group of termites (organisms which have wood as food).

ABNT: NBR 7190 (1997) establishes risk situations for wood biodeterioration. Designers must indicate a proper procedure for each situation. According to Calil et al. (2003), four preservatives are responsible, in general, for about 80% of treated wood, which are: creosote, pentachlorophenol, CCA (chromium salt - copper - arsenic) and CCB (chromium salt - copper - boron).

#### b) Abiotic agents

According to Calil et al. (2003) abiotic agents include physical, mechanical, chemical and climatic agents. The essential pathological mechanism of wood considering the abiotic agents are: warping and splits provoked by moisture variations; mechanical abrasion; corrosion of metal parts; photochemical degradation; deterioration due to higher temperatures; pathologies caused by excessive deformity and instability; wood removal; initial fractures and damages caused by fire.

### 3.3 Steel bridges

Davison and Owens (2003) observed that the structural steel as a metallic alloy composed mainly of iron and small amounts of carbon (from 0.002% to 2.0%) with resistance and ductility properties. Additives and special alloys are widely used and are steel engineering specialties. In addition to the types of pathologies present in steel structures, described as follows, Pinho and Bellei (2007) observe that composite structures (beams and plates), made by steel and concrete, used widely in construction of small and medium bridges, also have to verify the integration between concrete and steel, i.e., the connections.

#### 3.3.1 Mechanism of pathological formation and manifestation in steel structures

##### a) Steel corrosion

Pannoni (2004) states that the steel corrosion phenomena involve a great variety of generating mechanisms that can be combined in four groups: corrosion in aqueous environment (90%); oxidation and hot corrosion (8%); corrosion in organic environments (1.8%); corrosion by liquid metals (0.2%). The most frequent cause of deterioration in metal structures is the steel oxidation. The corrosion of steel structures is shown by Figure 1.



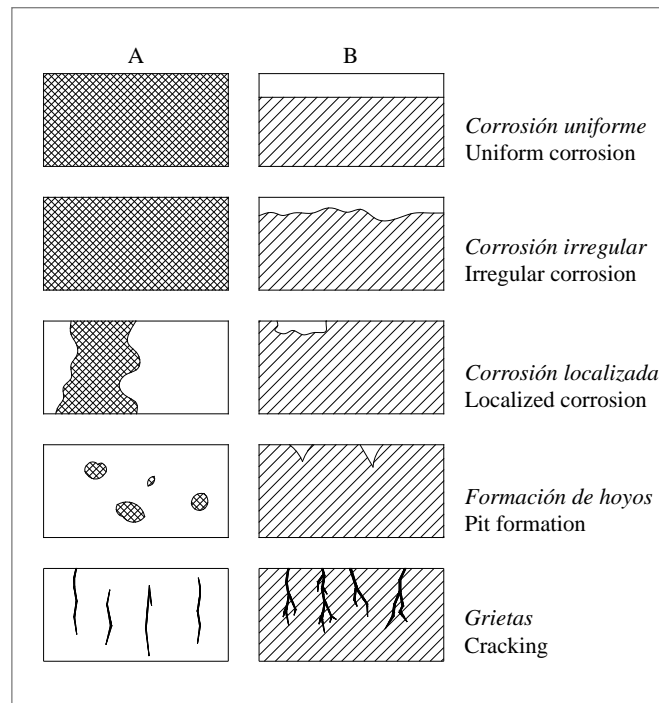


Figura 1. Tipología de la corrosión del acero. (A) vista superior, (B) vista lateral  
 Figure 1. Steel corrosion typology. (A) superior view, (B) side view

La pintura es el medio generalmente empleado para evitar la oxidación del acero, esta debe ser aplicada en intervalos máximos de 5 a 10 años, dependiendo del ambiente. Los criterios de aplicación de pintura son presentados por Pfeil and Pfeil (2009). Además de la pintura, es esencial contar con un drenaje adecuado, previniendo la acumulación de agua en cualquier parte de la estructura.

The means commonly applied to avoid steel oxidation is painting, which should be applied at maximum intervals of 5 and 10 years, depending on the environment. The criteria for the application of paintings are presented by Pfeil and Pfeil (2009). In addition to painting, it is essential to provide with an adequate drainage, preventing water accumulation in any part of the structure.

El nivel de oxidación puede ser clasificado en tres categorías:

The oxidation level can be classified in three categories:

- ✓ superficial – sólo oxidación superficial, sin reducción del área
- ✓ mediana – aparecen aéreas definitivamente corroídas, creando pequeñas capas
- ✓ severa – corrosión avanzada, penetrando el acero y pudiendo llevar a la perforación de la pieza

- ✓ superficial – only superficial oxidation, with no reduction of the section area;
- ✓ medium – definitive corrosion areas appear, creating small layers;
- ✓ severe – advanced corrosion, penetrating into steel that may lead to the perforation of the part.

En zonas marinas, las piezas ubicadas dentro de la fluctuación de las mareas, o expuestas a humedad en forma irregular, son las más afectadas. Las cabezas de los tornillos y las partes soldadas son las más expuestas a corrosión.

In marine areas, pieces located in part of tide fluctuation, or subjected to irregular wetting are more attacked. The heads of bolts and welded parts are more prone to corrosion.

b) Deterioro causado por sobrecarga

Las partes expuestas a gran esfuerzo pueden alcanzar su límite de rendimiento, produciendo deterioros permanentemente visibles, que son denominados deterioros plásticos por la norma DNIT (2004).

c) Deterioro causado por falta de refuerzos

La falta de refuerzos en las estructuras de acero puede llevar al desplazamiento severo y extremo, provocando un colapso, debido al pandeo. Otro fenómeno relacionado a la falta de refuerzo es la vibración excesiva (Rodrigues, 2008).

d) Deterioro causado por efectos térmicos

Según Pfeil (1983) las variaciones de temperatura actúan sobre las estructuras creando movimientos de elongación y encogimiento. Cuando estos movimientos son detenidos por un soporte, se ejerce gran esfuerzo sobre el material que pudiera exceder su límite de rendimiento, en especial en estructuras hiperestáticas, provocando así deformaciones plásticas. Este efecto es reducido con el empleo de espacios intermedios entre los soportes y conexiones, y usando equipamiento de soporte en buenas condiciones.

e) Daño causado por el efecto del fuego

Según Pfeil and Pfeil (2009), las altas temperaturas sobre 100°C, tienden a eliminar el límite de rendimiento del material, provocando un diagrama de curva esfuerzo- deformación, también creando una gran variación del módulo de elasticidad. Según Silva (2001) las temperaturas sobre 250 y 300°C causan desplazamiento en los aceros, por lo tanto un tratamiento térmico es la mejor alternativa para aumentar el tiempo de resistencia de un elemento bajo condiciones de fuego.

f) Grietas causadas por fatiga y/o concentración de esfuerzo

Algunos detalles inapropiados producen alta concentración de esfuerzo en partes metálicas, que pueden crear grietas en el metal. Algunos ejemplos son las esquinas entrantes en ángulos agudos, variaciones puntiagudas del espesor o ancho de la placa, concentraciones de soldadura.

Las fisuras o grietas por fatiga se producen en estructuras expuestas a carga cíclica como es el caso de los puentes. Estas variaciones de carga provocan oscilaciones de esfuerzo que pueden generar fisuras y grietas. En los puntos de concentración de esfuerzo, los efectos de fatiga son más agudos. Las rupturas generadas por fatiga son muy peligrosas y frágiles. Algunos factores que pueden provocar grietas y fisuras son: alta frecuencia de tráfico de camiones pesados; variación a gran escala del esfuerzo; calidad del material; calidad de la soldadura, edad e historia de las cargas del Puente.

b) Deterioration caused by overload

Parts subjected to very high stresses can reach their limits of yielding, producing visible permanent deteriorations that are named of plastic deteriorations according DNIT (2004).

c) Deteriorations caused by lack of bracing

Lack of bracing in steel structures can lead to transverse displacement of extreme severity, leading to collapse by buckling. Another phenomenon related to lack of bracing is excessive vibration (Rodrigues, 2008).

d) Deteriorations caused by thermal effects

According Pfeil (1983) temperature variations act on the structures causing movements of stretching and shortening. When these movements are stopped by the support, there are high stresses in the material that may exceed the yielding limit, especially in hyperstatic structures, resulting in plastic strains. This effect is reduced by gaps between supports and connections, and also using support equipments in adequate condition.

e) Damage caused by the effect of fire

High temperatures above 100°C, according to Pfeil and Pfeil (2009) tend to eliminate the yielding limit of the material making the diagram stress-strain curve, also occurring a great variation of elastic modulus. Temperatures above 250 and 300°C, according to Silva (2001), cause creep in steels, therefore a thermal treatment is the best way of increasing the resistance time of an element in a fire situation.

f) Cracks caused by fatigue and/or stress concentration

Some inadequate details produce large stress concentration in metallic parts, which may create cracks in the metal. Some examples are: re-entrant corners in acute angle; sharp changes in plate's width or thickness; welds concentration.

Fissures or cracks of fatigue occur in structures subjected to cyclic loading as in case of bridges. These variations in loading cause strong oscillations in stress that cause fissures and cracks. At stress concentration points, the effects of fatigue are more acute. Ruptures caused by fatigue are dangerous and fragile and some factors that may cause cracks and fissures by fatigue are: high frequency heavy truck traffic; large-scale in stress variation; material quality; weld quality; age and history of loads on the bridge.

## g) Daños por soldadura

Las fallas por soldadura, ya sean por bajo rendimiento o material inadecuado, pueden provocar daños severos a la estructura generando una ruptura leve.

## h) Daños causados por excesiva vibración

El uso de las estructuras de piso, con grandes espacios intermedios que reducen el pandeo, pueden provocar vibraciones incómodas. La norma ABNT: NBR 8800 (2009) indica que el problema de vibraciones puede ser considerado en el diseño estructural, a través del análisis dinámico. Los efectos nocivos de la vibración pueden volverse incómodos para los usuarios y un riesgo de ruptura para la estructura por efecto cíclico, generando fatiga.

## 3.4 Otras fuentes patológicas en puentes

En los puentes también se pueden observar situaciones patológicas, ya sea en sus elementos o en el conjunto estructural completo, independiente del material con que está construida la estructura. Las patologías más comunes son: problemas en los cimientos y juntas, movimiento estructural general de la estructura, movimiento rotacional total de la estructura, desgaste y defectos en la pista, juntas con espacios insuficientes o condiciones inapropiadas, cambios de los cursos de agua que provocan erosión y rompimiento de los cimientos, problemas con la mantención del equipo de apoyo (DNIT, 2004).

## 3.5 Mantención estructural e inspecciones de los puentes

La mantención e inspección de los puentes ha sido la preocupación de entidades públicas y privadas y es de consenso general que estas medidas minimizan pérdidas por enormes reformas y también reducen accidentes. En relación a la norma ABNT:NBR 9452 (1986), códigos de inspección de puentes y viaductos de hormigón, Sartorti y Mascia (2010) indican que el método actual no cumple íntegramente los requerimientos necesarios para una inspección satisfactoria. Este no cubre los ítems considerados relevantes y frecuentes en puentes y viaductos, porque restringe y afecta la inspección, escondiendo valiosa información con relación a la estabilidad de la estructura. A la luz de esta realidad, es posible apelar al uso de una fuente alternativa además del código DNIT (2004). Existen al menos cinco clasificaciones para la inspección en conformidad con el código DNIT (2004), que incluyen inspecciones de registro, rutinarias, especiales, extraordinarias e intermediarias. Basados en los datos recopilados, debiera adoptarse un programa de mantención que busque aumentar la vida útil y reducir los costos, como una posible intervención para corregir las patologías mencionadas.

## g) Failures in welding

The failing in welding, either by poor performance or by inadequate material, can provoke severe damages to structure that can cause fragile rupture.

## h) Damages caused by excessive vibrations

The use of floor structures with large span and reduced damping can result in vibrations that cause discomfort. ABNT: NBR 8800 (2009) indicates that the vibration problem must be considered in the structural design through dynamic analysis. The deleterious effects of vibration can be turned into discomfort to users and a risk of structure rupture by cyclic effect generating fatigue.

## 3.4 Other sources of pathologies in bridges

In bridges, there still can be observed pathological situations in their elements or in the structural set as a whole independent from the material in which their structure is made. The more common pathologies are: problems in foundations and joints; vertical movement of the structure as a whole; rotational movement of the structure as a whole; wear and defects on the roadway; joints with insufficient space or in inappropriate conditions; changes in water courses leading to erosion and outbreak of the foundations; problems with maintenance of the support equipments. (DNIT, 2004).

## 3.5 Structural maintenance and inspections of bridges

Maintenance and inspection of bridges have been the concern of public and private agencies as is common consent that these measures minimize losses with major reforms and also with accidents. Commenting on ABNT:NBR 9452 (1986), code on inspections of bridges and concrete viaducts, Sartorti and Mascia (2010) state that the current form does not meet the completeness which is required when carrying a satisfactory inspection. It does not cover items considered relevant and frequent in bridges and viaducts, because of this restrains and undermines the inspection, hiding valuable information relevant to the stability of the structure. In light of this reality, it is possible to appeal using this as an alternative source in addition to the DNIT code (2004). There are at least five classifications for inspection in conformity with the DNIT (2004) which include registration, routine, special, extraordinary and intermediary inspections. Based on the data collected, there must be adopted a structural maintenance program which aims at increasing useful service life and cost reduction as a possible intervention to correct said pathologies.

#### 4. Identificación de las patologías estructurales de los puentes en la region de Campinas – SP

El correcto diagnóstico de las patologías revelará no solo las causas sino también los individuos responsables de ellas, cuya identificación será necesaria para efectos legales. El diagnóstico de cualquier tipo de patología debe estar basado en un análisis profundo de la estructura y en el conocimiento adecuado de los mecanismos de formación y manifestación de las patologías.

Esta investigación intenta llevar a cabo inspecciones visuales en nueve puentes de caminos colectores urbanos y rurales en Campinas-SP, Brasil. Este artículo presenta los datos recopilados en cuatro de esos puentes. La Tabla 4 destaca las principales características de cada puente analizado.

#### 4. Identification of bridge structural pathologies in the region of Campinas - SP

The correct pathology diagnosis will reveal not only the causes but also the responsible individuals whose identification will be necessary for legal purposes. The diagnosis of any kind of pathologies must be based on a deep structure analysis and an adequate knowledge of mechanisms of formation and manifestation of pathologies.

This research attempts to carry out visual inspections on nine bridges of urban and rural road collectors in Campinas-SP, Brazil. This article presents the collected data on four of those bridges. Table 4 highlights the main characteristics of each bridge analyzed.

| Puente<br>Bridge | Sistema estructural de la súper-estructura<br>Structural system of the superstructure | Geometría<br>Geometry                             | Ancho (m)<br>Width(m) | Longitud (m)<br>Length (m) | Material                                  |
|------------------|---|---|-----------------------|----------------------------|---|
| 1                | Vigas/Beams   | Línea recta ortogonal<br>Straight Line Orthogonal | 5.00                  | 13.00                      | Acero/madera/suelo<br>Steel/wood/soil     |
| 2                | Losa/Slab   | Línea recta ortogonal<br>Straight Line Orthogonal | 8.00                  | 7.50                       | Hormigón reforzado<br>Reinforced Concrete |
| 3                | Vigas/Beams   | Línea recta ortogonal<br>Straight Line Orthogonal | 6.20                  | 38.20                      | Hormigón reforzado<br>Reinforced Concrete |
| 4                | Vigas/Beams   | Línea recta ortogonal<br>Straight Line Orthogonal | 4.50                  | 16.00                      | Madera<br>Wood                            |

Table 4. Datos generales de los puentes investigados  
Table 4. General data of researched bridges

##### 4.1 Puente 1

Este Puente está ubicado adyacente al camino Joaquim Egídio y es la conexión con la estación ambiental del distrito y también con las granjas agricultoras de la región. Su tráfico principal está constituido por autos y camiones livianos. El puente fue construido con vigas de acero y troncos de madera ubicados en forma transversal, creando una rejilla para la losa (ver Figura 2), compuesta de una capa de suelo. Las juntas están compuestas de bloques de piedra y mortero.

##### 4.1 Bridge 1

This bridge is located adjacent to the Joaquim Egídio road, and is a connection for the district environmental station as well as for regional agricultural farms. Its main traffic is constituted by cars and small trucks. The bridge was built with steel girders and timber logs, transversally, forming a grid for the slab (see Figure 2), composed of a layer of soil. The joints are constituted of stone blocks and mortar.



Figura 2. Vista general del puente  
Figure 2. Bridge overview

La Figura 3 muestra el Puente con las vigas de acero bajo extremas condiciones de corrosión, las cuales ya han perdido parte considerable de su sección transversal en la zona de tensión. Los troncos transversales también se encuentran en precarias condiciones, con grandes signos de desintegración debido a la continua presencia de humedad que mantiene la capa de suelo que sirve como losa. Existen problemas adicionales en relación con las juntas que presentan grietas visibles, indicando sobrecargas excesivas a las permitidas por el diseño. En parte las juntas no están unidas debido a la erosión y bajo rendimiento; también se observa que los contrarieles de madera están en precarias condiciones y podrían fallar incluso con cargas menores.

Una sugerencia para mejorar o mantener la función estructural del Puente es reemplazar la superestructura por una estructura compuesta de hormigón y acero o madera. Así la losa de hormigón contribuirá a la resistencia que beneficiará una mayor capacidad de carga y eliminará los problemas tales como la vegetación en el puente y la retención de humedad, las cuales provocan pudrición de los troncos.

Figure 3 indicates the bridge with the steel beams in extreme corrosion condition, which has already lost a considerable part of its transversal section on the tension region. The transversal timber logs are also in a precarious condition, with great signs of decay because of the continuous presence of moisture that is kept in the soil layer and serves as a slab. Additional problems are related to the joints which present visible cracks, indicating excessive overloading than the design allows for. The joints are partially unblocked due to erosion and poor performance and also it is noted that the wooden guard rails are in a precarious condition and may even fail with small loads.

As a suggestion to improve or maintain the structural function of the bridge is to replace the superstructure of this bridge by a composite structure of concrete and steel or wood. Thus, the concrete slab contributes to the resistance would be beneficial as higher load capacity and eliminate problems as vegetation on the bridge and moisture retention, which causes the rotting of logs.



Figura 3. Corrosión del acero  
Figure 3. Steel corrosion



Figura 4. Deterioro del pavimento  
Figure 4. Deck deterioration

#### 4.2 Puente 2

Ubicado en la calle Antônio Zaine, en el distrito de Barão Geraldo, el puente de la Figura 4 está cerca de la escuela Rio Branco, presenta tránsito de todo tipo de vehículos y durante el día el flujo de tráfico es muy intenso debido a la escuela. La estructura completa es de hormigón reforzado con un sistema estructural, un puente losa soportado en las juntas por hormigón reforzado. La luz es pequeña, mide solo 7.5 m, pero su ancho total es de 14.0 m incluyendo dos pasos peatonales de 3.0 m cada uno.

La estructura de la junta presenta grandes surcos en diversas partes, indicando que la presión de la tierra adyacente es mayor que la capacidad de resistencia. Además de la deficiencia patológica, el estado de conservación de los contrarieles y pavimento del puente son precarios. Se observa que el drenaje del puente no es eficiente.

El avanzado grado de agrietamiento indica un esfuerzo excesivo. Este tipo de patología puede causar daño a la comunidad, especialmente a los estudiantes de la escuela cercana. La intervención para fortalecer los soportes es urgente.

Las otras patologías tales como la corrosión en refuerzos de aparatos de protección y el avanzado deterioro del pavimento son temas que requieren tratamiento. Se observa una relativa negligencia en la inspección y mantención de la estructura del puente.

#### 4.3 Puente 3

Construido sobre el Río Atibaia, en el distrito de Sousas, el puente es la conexión principal entre dos distritos, sin mencionar que es la ruta óptima para llegar al distrito de Joaquim Egídio. Este puente sirve como paso constante de autos, buses y camiones, como se muestra en la Figura 5.

#### 4.2 Bridge 2

Located on Antônio Zaine Street, in the district of Barão Geraldo, the bridge in Figure 4 is next to Rio Branco School, presenting traffic with all kinds of vehicles and at of the day the flow of traffic is very intense due to the school. The entire structure is of reinforced concrete with a structural system, a slab-bridge, supported at the joints with reinforced concrete. The span is small measuring only 7.5 m, but its total width is 14.0 m including two crosswalks of 3.0 m each.

The joint structure presents large splits in many parts, indicating that the lateral earth pressure is greater than its strength capacity. Besides the pathological deficiency, the conservation state of the bridge guard rails and pavement are precarious. It is noticed that the drainage of the bridge is not efficient.

The advanced degree of cracking indicates an excessive effort. This type of pathology can cause danger to society, especially students from nearby school. It is urgent an intervention to strengthen the supports.

The other pathologies such as corrosion of the reinforcement of the guard bodies and advanced deterioration of the pavement are also of concern requiring treatment. Note a state of relative neglect in the inspection and maintenance of the bridge structure.

#### 4.3 Bridge 3

Built over the Atibaia River, in the district of Sousas, the bridge is the main connection between the two district, without mentioning that this is the optimized route to arrive the district of Joaquim Egídio. The bridge serves as a constant pathway of cars, buses and trucks according to Figure 5.



Figura 5. Vista del tráfico  
Figure 5. Traffic view



La estructura es de hormigón reforzado y se divide en dos partes. La losa cubre una luz de 38.2 m, y es soportada por juntas y un pilar central ubicado en el medio del río. Las pistas para tráfico tienen un ancho de 6.2 m, en las cuales se han colocado vigas de acero para soportar las aceras peatonales, cuyo ancho es aproximadamente de 2.0 m y fueron construidas con tablas de madera.

En la parte inferior del puente, las extremidades longitudinales se observan con una creciente variación en la sección de los anclajes (variación por mayor esfuerzo de cizalle en esta región) y las extremidades transversales están conectadas en forma monolítica con una losa tablero.

Entre las patologías se encuentra la excesiva vibración observada al inspeccionar el puente. Se observa que la posible lixiviación del hormigón puede derivarse principalmente de la permeabilidad del hormigón y de un drenaje deficiente. También se observa que hay desprendimiento debido a la corrosión de acero reforzado.

Las extremidades de acero que soportan la acera están corroídas, pero no en un estado avanzado y la losa de hormigón está desgastada. Las partes de madera en la acera están deterioradas por la acción de hongos y presentan graves riesgos para los peatones (ver Figura 6).

Este puente forma parte del patrimonio de la ciudad de Campinas y constituye un riesgo para la población, por tanto requiere una mantención inmediata. La corrosión de los perfiles de metal requiere de un de un tratamiento con sustrato para remover partes corroídas e impurezas, así como la aplicación de pinturas anticorrosivas en las secciones donde es necesario reemplazar el material. También es necesario reemplazar muchas piezas de la tabla de madera tratada.

The structure is of reinforced concrete, divided into two parts. The slab covers a span of 38.2 m, and is supported by the joints and a central pillar positioned in the middle of the river. The traffic lane presents a 6.2 m width, in which steel beams are fixed to support the pedestrian sidewalks with an approximated width of 2.0 m and built with wooden board.

An inferior bridge part, the longitudinal members are noted with a crescent variation in section along the restraints (variation due to the greater shear in this region) and transversal members that are connected monolithically with a board slab.

Among the pathological problems found, it is the excessive vibration noted when inspecting the bridge. It is observed that some possible concrete leaching derive mainly from the concrete permeability and drainage deficiency. It is also noticeable that there is detachment due to corrosion of steel reinforcement.

The steel members that support the walkway are corroded, but not at an advance stage, and the concrete slab is worn. The wood parts from the walkway are deteriorated by a fungi action and presents significantly risks for the pedestrians (see Figure 6).

This bridge is part of the heritage of the city of Campinas and a risk to the population needing an urgent maintenance. Corrosion of metal profiles requires treatment of the substrate for removal of corrosion products and impurities as well as applying anti-corrosive paints in sections where it is necessary to replace material. The replacement of much of the board of pieces of treated wood also is required.



Figura 6. Estado de desintegración de la acera  
Figure 6. State of decay of walkway

#### 4.4 Puente 4

Ubicado en una pista del camino de Rhodia in Barão Geraldo este puente sirve para conectar zonas de agricultura, transformándolo en un lugar de paso contante de camiones. Su tablero está compuesto de tablas de madera en forma longitudinal y sus troncos y extremidades transversales son empleados como troncos de madera, según se muestra en la Figura 7. El puente tiene una luz de una extensión de 16.0 m y un ancho de pista de 4.5 m de longitud.

Debido al precario estado de conservación de los troncos de madera, una viga transversal de acero ha sido ubicada en el medio de la luz, soportada por dos cables de acero en cada extremo y anclados con bloques de hormigón en la cabecera del puente. En la inspección visual se observa que los cables no tienen suficiente tensión, por lo tanto, es posible moverlos manualmente.

Los troncos se encuentran en estado crítico de pudrición por hongos y la presencia de humedad permitió el desarrollo de musgo, como se muestra en la Figura 8.

Las juntas construidas con hormigón reforzado, presentan varias zonas con aglomeraciones de hormigón debido a deficiencias durante la construcción. Además el puente contiene mucha suciedad, especialmente en su extremidad transversal, lo que indica que el nivel del agua sube hasta la losa aumentando el riesgo de colapso en épocas de inundaciones.

La madera que constituye la losa aún se encuentra en un estado de conservación razonable, pero hay algunos puntos de desintegración y las reparaciones realizadas de mala manera, hacen que el puente sea peligroso para los peatones y conductores locales. Los guardarrieles también se encuentran en malas condiciones con poca capacidad de resistencia.

Se recomienda la mantención de este puente para permitir que los cables sean tensionados y también protegidos apropiadamente de la corrosión. Además los troncos del guardarriel deben ser reemplazados a la brevedad.

#### 4.4 Bridge 4

Located in a lane of the road from Rhodia in Barão Geraldo this bridge serves to connect the agricultural areas, making it a place of constant passage of trucks. Its board is made of longitudinal wood boards and its wood logs and transverse members are used for the timber logs as according to Figure 7. The bridge presents a span with an extension of 16.0 m and width of the roadway 4.5 m long.

Due to the precarious state of conservation of the wooden logs, a steel transverse beam is positioned in the middle of the span, supported by two steel cables at each end and anchored in blocks of concrete in the bridge headwater. It is noted in the visual inspection that the cables present insufficient tension, therefore, it is able to move them manually.

The logs are in a critical state of rot fungi and the presence of moisture allowed for the appearance of moss as shown in Figure 8.

The joints, built in reinforced concrete, have regions with clusters of concrete caused by deficiencies during construction. The bridge still has a lot of dirty, especially in its transversal member indicating that the water level rises to the slab increasing the risk of collapse in time of floods.

The wood that provides the slab is still in a reasonable state of conservation, but there are some points of decay and repairs carried out in a poor manner, making the bridge dangerous to local drivers and pedestrians. The guard rails are also in a poor condition with a low resistance capacity.

It is recommend for the maintenance of this bridge that the cables to be properly protected from corrosion and tensioned as well. In addition, the logs of the guardrail should be replaced quickly.



Figura 7. Vista de la losa  
Figure 7. View of the slab



Figura 8. Desintegración de la madera de la estructura principal

Figure 8. Decay of wood of the main structure

## 5. Conclusiones

Esta investigación entrega importante información que es extremadamente relevante para el área de la ingeniería civil, en especial para la mantención de infraestructura de caminos en un país en vías de desarrollo, que debiera mejorar sus medios de transporte con el fin de incrementar sus exportaciones y mejorar su economía. Este factor podría contribuir a elevar el bienestar de su población.

Este artículo destaca las inadecuadas condiciones de muchos puentes para el tráfico vehicular. Esto es confirmado por el número comprobado de patologías serias encontradas, que proveen evidencia sobre las deficiencias en planificación, diseño y mantención.

La revisión de literatura en que se basa este artículo, expresa la importancia del diseño centrado en principios sólidos, involucrando a un equipo multidisciplinario para evaluar todos los puntos dando así al diseño de puentes un carácter funcional, económico, estético y medioambiental. También se observa la necesidad de conocimiento técnico en relación al estudio de patologías antes de realizar una inspección. En el aspecto de la durabilidad, se observa que las patologías localizadas afectan significativamente la estructura, y a través de ellas pueden surgir otras patologías que reducirían la vida útil de la estructura.

Se sugiere que para cada uno de los puentes estudiados, que presentan casos más severos, las entidades públicas presenten soluciones viables, tales como el reemplazo de estructuras dañadas por nuevos puentes, actuando de manera rápida y con eficiencia en la implementación de tales estructuras.

Finalmente se concluye que la prevención es la mejor manera de prevenir condiciones patológicas. La mantención preventiva es apoyada no sólo por un correcto diseño o apropiada implementación de acuerdo a parámetros de calidad, sino también por un programa de mantención estructural.

## 5. Conclusions

This research provides important information that is extremely relevant for the civil engineering, specifically to the maintenance of the highway infrastructure in an emerging country that should improve the means of transport to increase its exports and its economy. This fact could contribute to the human well-being of its population.

This article highlights the conditions of the several bridges which are mostly inadequate for traffic vehicular use. This fact is confirmed due to the expressive number of serious pathologies found, providing evidence of inefficiencies in planning, design and maintenance.

The literature review in which the paper was based on expresses the importance of the design based on solid principles, involving a multidisciplinary team in order to evaluate all points by giving the design of the bridges a functional, economical, aesthetic and environmental character. It is also observed need for technical knowledge concerning the study of structural pathologies before carrying out an inspection. In the aspect of durability, it is noted that the mapped pathologies affect significantly the structure, as through them there can arise another pathology which will reduce the service life of a structure.

It is suggested for each present bridges that in the most severe cases public agencies present viable solutions such as the replacement of damaged structures by new bridges acting in a rapid manner and with efficiency in the implementation of such structures.

Finally, it was concluded that the best way to avoid a pathological state is prevention. Preventive maintenance is generated not only by a correct design or by an implementation according to the quality parameters, but also by a structural maintenance program.



## 6. Referencias / References

- ABNT NBR 7187 (2003), Reinforced and pre-stressed concrete bridge design, Rio de Janeiro, Brazil. (In portuguese).
- ABNT NBR 7190 (1997), Wood structures. Rio de Janeiro, Brazil. (In portuguese).
- ABNT NBR 8681(2003), Actions and safety in Structures, Rio de Janeiro, Brazil. (In portuguese).
- ABNT NBR: 8800 (2009), Steel structures. Rio de Janeiro, Brazil. (In portuguese).
- ABNT, NBR 9452 (1986), Surveys of bridges and concrete viaducts. Rio de Janeiro,Brazil. (In portuguese).
- Calil C. Jr, Lahr F. A. R. and Dias A. A. (2003), Sizing of wood structural members. 1st ed. Manole, Barueri,Brazil. (In portuguese).
- Cauduro E. L. (2003), Manual para a Boa Execução de Estruturas Protendidas Usando Cordoalhas de Aço Engraxadas e Plastificadas. Guide to Good Implementation of pre-stressed concrete structures using steel ropes greased and plasticized. 2nd ed. São Paulo: Belgo Mineira. (In portuguese).
- Davison B., Owens G.W. (2003), Steel designer’s manual. Blackwell Publishing,UK.
- Dinwoodie J. M. (2000), Timber – its nature and behavior, Van Nostrano Reinhold Company, New York, USA.
- Dnit (2004), National Department of transit infrastructure, Code 010/2004,Inspections on bridges and viaducts of reinforced concrete and prestressed. (In portuguese).
- El Debs M. K. and Takeya T. (2003), Concrete Bridges. São Carlos, USP – Universidade de São Paulo. Notas de aula. (In portuguese).
- Fusco P. B. (2008), Concrete structures: shear forces, Pini. São Paulo,Brazil. (In portuguese).
- Hambly E.C. (1990), Bridge Deck Behaviour. Spon Pres,UK.
- Helene P. and Pereira F. (2007), Rehabilitacion y mantenimiento de estructuras de concreto. São Paulo: Cargraphics. 598 p.
- Liebenberg A. (1993), Concrete bridges: design and construction. 2nd ed. Longman Scientific & Technical, New York.
- Lourenço L. I., Alves V., J. C. Jordy, L. C. Mendes and M. V. C. Lourenço (2009), Parameters for assessment of pathologies in special structures, Revista Engenharia Civil. Guimarães,Portugal, v. 34, p. 5-14, May. (In portuguese).
- Maldonado N., Michelini R., Pizarro N.F and Tornello M.E. (2009), On pathology and rehabilitation teaching of concrete structures: A case study. In: Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II. Alexander et al (eds). Taylor & Francis Group. London, 6 p.
- Mehta P. and Monteiro P. (2008), Concrete: microstructure, properties and materials 3rd ed. São Paulo: IBRACON. 674 p.
- Montana handbook (2000), Biodeterioração e preservação de madeiras. Biodeterioration and wood preservation Montana Química S. A. Publicação técnica. (In portuguese).
- Pannoni F. (2004), Principles of protection of steel structures in a state of corrosion and fire, v. 2, 3rd ed. São Paulo: Gerdau. (In portuguese).
- Perdrix C. (1992), Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras. Handbook for Diagnosis of Works damaged by reinforcement corrosion. Pini. (In portuguese).
- Pereira A. (2009), Analysis of Comparative analysis of the performance of different systems of cathodic protection in reinforced concrete structures. In: 5th Cinpar – International Congress on Pathology of structures, Proceedings... Curitiba,Brazil.(In portuguese).
- Pfeil W. and Pfeil M. (2009), Steet structures: sizing and practice, 8th ed. Rio de Janeiro: LTC, . (In portuguese).
- Pfeil W. (1983), Bridges: Practical Course. Rio de Janeiro: Campus. (In portuguese).
- Pinho F. and Bellei I. (2007), Bridges and viaducts in composite beams, CBCA, Rio de Janeiro,Brazil. (In portuguese).
- Porteous J. and Kermani A. (2008), Structural timber design to Eurocode 5, John Wiley & Sons,U.K.
- Raina V. (2003), Concrete bridges inspection, repair, strengthening, testing and load capacity evaluation, Mc Graw -Hill publishing, USA.
- Ripper E. (1996), Como evitar erros na construção. How to avoid mistakes in construction 3rd ed. São Paulo: Pini. (In portuguese).
- Ripper T., Souza V. (1998), Pathology, rehabilitation and strengthening of concrete structures, 1st ed., Pini, São Paulo, Brazil. (In portuguese).
- Rodrigues I. (2008), Estados limites de serviço: estruturas de aço. Palestra realizada, no Instituto de Engenharia, Service limit states: steel structures. Lecture held at the Institute of Engineering on 19.06. (In portuguese).
- Sartori A. and Mascia N. (2010), Pathologies in urban roads and bridges in rural areas: case study in Campinas-SP, III Brazilian congress of bridges and structures, Proceedings...,ABPE, v. 1, p. 1-16, Rio de Janeiro, Brazil. (In portuguese).
- Silva V. (2001), Steel structures in fire, Zigurate São Paulo,Brazil. (In portuguese).
- Stalnaker J., Harris E. (1997), Structural design in wood, Chapmam & Hall, International Thonsom Publishing. USA.
- Yoris A., Segovia M., Carrasco M., Belbey F., Guilarducci A., Defagot C., Ulibarrie N. y Marcipar A. (2010), Carbonatación del Hormigón Armado: Influencia de la Contaminación Ambiental Urbana. Anais no VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. Córdoba, Argentina. 14 p.
- Wood handbook (1999), Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory. Madinson, USA.