



FACULTAD DE INGENIERÍA

Maestría en Ingeniería Civil

Trabajo de Grado

Desarrollo de Una Metodología para la Evaluación del Estado de Puentes
Existentes

Autores:

Santiago Parra Palacio

German Alonso Sedano Agudelo

Director

Edgar Muñoz

Bogotá D.C.

Diciembre de 2011

CARTA DE APROBACIÓN

APROBACIÓN

El Trabajo de grado con título “Desarrollo de Una Metodología para la Evaluación del Estado de Puentes Existentes”, desarrollado por los estudiantes Santiago Parra Palacio y German Alonso Sedano Agudelo, en cumplimiento de uno de los requisitos depuestos por la Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería civil, para optar el Título de Magister en ingeniería Civil, fue aprobado por:

Edgar Muñoz

Director de trabajo de grado

Nelson Betancour

Jurado 1

Samir González

Jurado 2

Desarrollo de una metodología para la evaluación de puentes
existentes

German Alonso Sedano Agudelo

Santiago Parra Palacio

La Pontificia Universidad Javeriana, no es responsable por los conceptos emitidos por los autores-investigadores del presente trabajo, por lo cual son responsabilidad absoluta de sus autores y no comprometen la idoneidad de la institución ni de sus valores.

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| NECESIDAD | 13 |
| IUSTIFICACIÓN | 13 |
| OBJETIVO GENERAL | 14 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 14 |
| METODOLOGÍA | 15 |
| 2 ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y MARCO TEÓRICO | 17 |
| 2.1 SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES EN EL MUNDO | 17 |
| 2.1.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS..... | 18 |
| 2.1.2 MÓDULO DE INVENTARIO | 19 |
| 2.1.2.1 Número total de estructuras en el sistema..... | 20 |
| 2.1.2.2 Tipo de estructuras del sistema | 20 |
| 2.1.2.3 Información propia de las estructuras | 20 |
| 2.1.2.4 Archivo de información | 20 |
| 2.1.2.5 Archivo de información de inspección y rehabilitación..... | 21 |
| 2.1.3 MODULO DE INSPECCIÓN VISUAL..... | 22 |
| 2.1.4 MODULO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA | 26 |
| 2.1.5 SISTEMA DE PRIORIZACIÓN | 27 |
| 2.1.6 INSPECCIONES ESPECIALES O ESTUDIOS ESPECIALIZADOS..... | 28 |
| 2.1.7 MANTENIMIENTO Y/O REHABILITACIÓN..... | 29 |
| 2.1.8 CAPACIDAD DE CARGA..... | 30 |
| 2.2 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES DE COLOMBIA..... | 30 |
| 3 ANÁLISIS DE VARIABLES PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PUENTES..... | 35 |
| 3.1 VARIABLES INTERNAS | 35 |
| 3.1.1 SOCAVACIÓN | 35 |
| 3.1.2 FATIGA | 42 |
| 3.1.3 CORROSIÓN EN EL ACERO | 43 |
| a. Corrosión general..... | 43 |
| b. Corrosión Galvánica..... | 43 |
| c. Corrosión en juntas | 44 |
| d. Picaduras..... | 44 |
| 3.1.4 CORROSIÓN EN CONCRETO..... | 45 |
| 3.1.5 INFILTRACIÓN | 47 |

| | | |
|--------------|--|-------------------|
| 3.1.6 | IMPACTO | 49 |
| 3.1.7 | DEFICIENCIA ESTRUCTURAL | 50 |
| 3.1.8 | VULNERABILIDAD SÍSMICA | 54 |
| 3.1.9 | SOBRECARGA | 56 |
| 3.2 | VARIABLES EXTERNAS | 58 |
| 3.2.1 | AÑO DE CONSTRUCCIÓN | 58 |
| 3.2.2 | LUZ, ANCHO Y ALTURA DE PILAS O GALIBO..... | 59 |
| 3.2.3 | TPD, TIPO DE VÍA Y RUTAS ALTERNAS..... | 60 |
| 3.2.4 | LÍNEAS VITALES..... | 61 |
| 3.2.5 | ZONA DE AMENAZA SÍSMICA..... | 62 |
| 3.2.6 | ZONA DE INUNDACIÓN | 63 |
| 4 | <u>MÓDULOS PROPUESTOS DEL SISTEMA</u> | <u>66</u> |
| 4.1 | MODULO DE INVENTARIO | 67 |
| 4.1 | MODULO DE INSPECCIÓN VISUAL..... | 70 |
| 4.1.1 | DESCRIPCIÓN | 70 |
| 4.1.2 | ESTRUCTURA..... | 71 |
| 4.1.2.1 | Personal de Inspección | 71 |
| 4.1.2.2 | Equipos o Herramientas..... | 71 |
| 4.1.3 | CRITERIOS DE CALIFICACIÓN | 72 |
| 4.1.4 | NIVELES DE IMPORTANCIA..... | 87 |
| 4.1.5 | REPORTES..... | 88 |
| 4.2 | MODULO DE INSPECCIÓN ESPECIAL Y/O ESTUDIOS ESPECIALES..... | 89 |
| 4.2.1 | DESCRIPCIÓN | 89 |
| 4.3 | MODULO DE MANTENIMIENTO Y/O REHABILITACIÓN | 93 |
| 4.3.1 | REPORTES..... | 93 |
| 4.4 | MODULO APROXIMADO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA..... | 98 |
| 4.4.1 | DESCRIPCIÓN | 98 |
| 4.4.2 | ESTRUCTURA..... | 98 |
| 4.5 | SISTEMA EXPERTO PARA PRIORIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES..... | 99 |
| 4.6 | MÓDULOS PROYECTADOS..... | 101 |
| 4.7 | MODULO DE MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN..... | 102 |
| 4.8 | MODULO DE ARCHIVO | 103 |
| 5 | <u>VALIDACIÓN</u> | <u>103</u> |
| 5.1 | CONCEPTO PANEL DE EXPERTOS | 103 |
| 5.2 | VALIDACIÓN CON INSPECCIONES DE CAMPO | 105 |
| 5.2.1 | UBICACIÓN | 106 |
| 5.2.1 | RESULTADOS DE LAS LABORES DE CAMPO..... | 109 |
| 5.2.2 | INVENTARIO..... | 109 |
| 5.2.3 | INSPECCIÓN VISUAL..... | 114 |
| I. | EVALUACIÓN ECONÓMICA APROXIMADA | 120 |
| 5.3 | DISCUSIÓN | 123 |

| | | |
|----------|---|-------------------|
| 6 | <u>APLICATIVO COMPUTACIONAL.....</u> | <u>125</u> |
| 6.1 | INFORMES..... | 126 |
| 6.2 | MANUAL DEL USUARIO | 127 |
| 7 | <u>CONCLUSIONES.....</u> | <u>128</u> |
| 8 | <u>RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....</u> | <u>129</u> |
| 9 | <u>BIBLIOGRAFÍA.....</u> | <u>130</u> |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| TABLA 1 NOMBRE, DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES EN EL MUNDO | 18 |
| TABLA 2 RELACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES RANGOS DE CALIFICACIÓN QUE UTILIZAN ALGUNOS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES | 24 |
| TABLA 3 RANGOS DE CALIFICACIÓN DE ALGUNOS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES | 25 |
| TABLA 4 RELACIÓN DE LOS DIFERENTES COSTOS QUE CALCULAN ALGUNOS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES | 26 |
| TABLA 5 COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PREDICCIÓN PARA PRIORIZACIÓN UTILIZADOS POR ALGUNOS SISTEMAS DEL MUNDO | 28 |
| TABLA 6 ESCALA DE CALIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS PUENTES | 33 |
| TABLA 7 LISTA DE ALGUNOS PUENTES COLAPSADOS POR SOCAVACIÓN ENTRE 1986 AL 2006 | 37 |
| TABLA 8 LISTA DE PUENTES COLAPSADOS POR DEFICIENCIA ESTRUCTURAL ENTRE 1986 AL 2006 | 51 |
| TABLA 9 ELEMENTOS PRINCIPALES PARA LA INSPECCIÓN FUENTE | 72 |
| TABLA 10 ELEMENTOS VRS VARIABLES | 73 |
| TABLA 11 INSPECCIONES ESPECIALES VRS ELEMENTOS | 91 |
| TABLA 12 INSPECCIONES ESPECIALES VRS ELEMENTOS (CONTINUACIÓN) | 92 |
| TABLA 13 MATRIZ MANTENIMIENTOS RUTINARIOS | 94 |
| TABLA 14 MATRIZ DE MANTENIMIENTOS PERIÓDICOS | 95 |
| TABLA 15 MATRIZ DE ACTIVIDADES DE REHABILITACION | 96 |
| TABLA 16 MATRIZ ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN (CONTINUACIÓN) | 97 |
| TABLA 17 LISTADO DE PUENTES PARA LA VALIDACIÓN CON INSPECCIONES DE CAMPO | 106 |
| TABLA 18 RESULTADOS DE INVENTARIO | 112 |
| TABLA 19 RESULTADOS DE INVENTARIO (CONTINUACIÓN) | 113 |
| TABLA 20 RESULTADOS DE CALIFICACIÓN POR VARIABLES (INSPECCIÓN VISUAL) | 116 |
| TABLA 21 RESULTADOS DE CALIFICACIÓN TOTAL POR INSPECCIÓN VISUAL | 117 |
| TABLA 22 CALIFICACIÓN DE VARIABLES EXTERNAS | 118 |
| TABLA 23 PRIORIZACIÓN FINAL DE LOS PUENTES | 119 |
| TABLA 24 PRESUPUESTO APROXIMADO DE LAS OBRAS DE MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIÓDICO PARA EL PUENTE GAZAUNTA - MEDINA | 122 |
| TABLA 25 PRIORIZACIÓN FINAL DE INTERVENCIÓN DE ESTRUCTURAS CON SUS CORRESPONDIENTES COSTOS. | 123 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| FIGURA 1 ETAPAS DE LA INSPECCIÓN PRINCIPAL | 34 |
| FIGURA 2 CRITERIOS PARA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA | 56 |
| FIGURA 3 MAPA DE AMENAZA SÍSMICA NSR 2010 | 63 |
| FIGURA 4 EMERGENCIAS INVERNALES EN COLOMBIA - TAZA DE PERSONAS AFECTADAS | 64 |
| FIGURA 5 EMERGENCIA INVERNAL EN COLOMBIA - TAZA DE PERSONAS AFECTADAS – CUNDINAMARCA | 65 |
| FIGURA 6 ORGANIGRAMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA | 67 |
| FIGURA 7 FORMATO DE ENCUESTA PARA PANEL DE EXPERTOS – FUENTE PROPIA | 104 |
| FIGURA 8 UBICACIÓN DE PUENTES PARA LA VALIDACIÓN | 108 |

LISTA DE FOTOS

| | |
|---|----|
| FOTO 1 ESQUEMA DEL COLAPSO DEL PUENTE SABANDIJA (TOLIMA) | 38 |
| FOTO 2 FOTO DEL COLAPSO DEL PUENTE UNETE (CASANARE) | 38 |
| FOTO 3 FOTO DEL COLAPSO DEL PUENTE UNETE (CASANARE) | 39 |
| FOTO 4 FOTO DEL COLAPSO DEL PUENTE UNETE (CASANARE) | 39 |
| FOTO 5 PILOTES DESCUBIERTOS DEL ESTRIBO DEL PUENTE SAN PABLO LOCALIZADO EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCO | 39 |
| FOTO 6 ESTADO DE SOCAVACIÓN DE UNA ALETA DEL PUENTE CAÑO LARGO (CESAR) | 40 |
| FOTO 7 SOCAVACIÓN DE HERRADURA EN UNA PILA | 40 |
| FOTO 8 SOCAVACIÓN PRESENCIADA EN TIEMPO SE SEQUIA | 40 |
| FOTO 9 FALLA POR SOCAVACIÓN DE PILAS | 40 |
| FOTO 10 OBSTRUCCIÓN DEL CAUCE. CRUCE YARUMO CAUCE2 | 41 |
| FOTO 11 PANORÁMICA DE LA PROTECCIÓN DE LA ORILLA DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO SAN PABLO AGUAS ARRIBA DEL PUENTE EN UNA LONGITUD APROXIMADA DE 200M, PUENTE SAN PABLO (LAS ANIMAS - NUQUI) | 41 |
| FOTO 12 FALLA POR FATIGA EN ELEMENTO | 42 |
| FOTO 13 GRIETA POR FATIGA LOCALIZADA | 42 |
| FOTO 14 MONITOREO DE GRIETA POR FATIGA | 43 |
| FOTO 15 CORROSIÓN GENERALIZADA EN UNIÓN MEDIANTE REMACHES, PUENTE EL PESCADO | 44 |
| FOTO 16 CORROSIÓN EN EL APOYO. PUENTE ICEL MOCOYA (PUTUMAYO) | 44 |
| FOTO 17 FALLA POR CORROSIÓN PUENTE LIMON | 45 |
| FOTO 18 CORROSIÓN SEVERA EN UNA PLATINA. PUENTE LA PALMERA | 45 |

| | |
|--|-----|
| FOTO 19 CORROSIÓN DE DUCTOS DE CABLES DE POSTENSADO | 45 |
| FOTO 20 ACERO EXPUESTO POR FALTA DE RECUBRIMIENTO | 47 |
| FOTO 21 PROBLEMAS DE INFILTRACIÓN POR MALOS DRENES | 47 |
| FOTO 22 CORROSIÓN DE ACERO EXPUESTO POR FALTA DE RECUBRIMIENTO | 47 |
| FOTO 23 CORROSIÓN EN CONCRETO Y PERDIDA DE MATERIAL | 47 |
| FOTO 24 PRESENCIA DE MANCHAS EN EL CONCRETO Y HUMEDADES CONCENTRADAS | 48 |
| FOTO 25 CONTAMINACIÓN EN EL CONCRETO DE LAS ALETAS Y MATERIA ORGÁNICA | 48 |
| FOTO 26 MANCHAS EN EL CONCRETO DE LOS ESTRIBOS | 49 |
| FOTO 27 JUNTA CON ELEVADO NIVEL DE MANCHAS POR INFILTRACIÓN DE AGUA | 49 |
| FOTO 28 IMPACTO PRODUCTO DE PROYECTILES | 50 |
| FOTO 29 PERDIDA DE SECCIÓN POR IMPACTO | 50 |
| FOTO 30 IMPACTO POR INSUFICIENTE GALIBO Y ACERO EXPUESTO. PUENTE LOCALIZADO EN LA CALLE 26 CON CRA 3 BOGOTÁ | 50 |
| FOTO 31 EJEMPLO DE PUENTE COLAPSADO POR DEFICIENCIA ESTRUCTURAL, PUENTE HEREDIA (CARTAGENA) | 52 |
| FOTO 32 EJEMPLO DE PUENTE COLAPSADO POR DEFICIENCIA ESTRUCTURAL , PUENTE HEREDIA (CARTAGENA) | 52 |
| FOTO 33 COLAPSO DEL PUENTE MINNEAPOLIS POR DEFICIENCIA ESTRUCTURAL | 53 |
| FOTO 34 COLAPSO POR DEFICIENCIA ESTRUCTURAL EN LAS PILAS DE ACERO DEL PUENTE ST. PAUL | 53 |
| FOTO 35 GRIETA A CORTANTE DEN VIGA PRINCIPAL DE CONCRETO REFORZADO, CON UN ESPESOR MAYOR A 0,6MM | 53 |
| FOTO 36COLAPSO DE UN PUENTE POR SOBRECARGA APROXIMADA DE 200 | 57 |
| FOTO 37 ALTURA DE PILAS, ANCHO Y LUZ | 60 |
| FOTO 40 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA TIPOLOGÍA LONGITUDINAL - COLGANTE | 109 |
| FOTO 41 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA - CAUCE RÍO GAZAUNTA | 109 |
| FOTO 42 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA - SE OBSERVAN CABLES Y PENDOLONES | 110 |
| FOTO 43 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA SE OBSERVA - CABLES, PENDOLONES, ARMADURA METÁLICA Y LOSA | 110 |
| FOTO 44 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA SE OBSERVA ESTRIBO EN CONCRETO | 110 |
| FOTO 45 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA SE OBSERVA LOSA EN CONCRETO | 110 |
| FOTO 46 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA SE OBSERVA BORDILLO EN CONCRETO | 111 |
| FOTO 47 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA SE OBSERVA ESTRUCTURA METÁLICA | 111 |
| FOTO 48 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA - SE OBSERVA CORROSIÓN EN CABLES Y PENDOLONES | 114 |
| FOTO 49PUENTE GAZAUNTA - MEDINA - SE OBSERVA CORROSIÓN DE CABLES | 114 |
| FOTO 50 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA - SE OBSERVA ACUMULACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN CABLES | 114 |
| FOTO 51 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA - SE OBSERVA ACUMULACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN BARANDAS Y ESTRUCTURA METÁLICA | 114 |
| FOTO 52 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA - SE OBSERVAN HUNDIMIENTOS DEL TERRAPLÉN DE ACCESO | 115 |

| | |
|---|-----|
| FOTO 53 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA - SE OBSERVA AUSENCIA DE JUNTAS DE EXPANSIÓN | 115 |
| FOTO 54 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA - SE OBSERVA DETERIORO EN BORDILLOS | 115 |
| FOTO 55 PUENTE GAZAUNTA - MEDINA - SE OBSERVA CORROSIÓN EN BARANDAS | 115 |

INTRODUCCIÓN

En Colombia el transporte de mercancías, productos y personas usan el transporte terrestre como principal medio de comunicación, la infraestructura vial por ende tienen una gran influencia en el desarrollo económico y social de la comunidad.

Las entidades que administran este tipo de infraestructura tienen bajo su responsabilidad el mantenimiento, rehabilitación y conservación de los diferentes elementos que hacen parte de la red vial Nacional, departamental y municipal, quizá los puentes son una de las estructuras que más impacto negativo genera cuando colapsan, ya que rompen la cadena de producción al dejar incomunicados diferentes regiones.

Las diferentes estructuras que hacen parte de una red vial, como son los puentes, ya sea nacional, regional o privada deben estar administradas por un ente que posea un proceso fácil, eficiente y dinámico para la evaluación de las necesidades de mantenimiento, rehabilitación, reconstrucción y construcción. En el mundo se ha dado importancia a los sistemas de administración de puentes por ser estas estructuras prioritarias dentro de la red vial y cada vez más países cuentan con un sistema que se ajusta a las necesidades; con el ánimo de conocer el estado de los puentes existentes en la red Nacional, en 1996 el Instituto Nacional de Vías – INVIAS creó Sipucol (Sistema de administración de Puentes Colombianos), con el fin de contar con un inventario, diagnóstico y método de priorización para el manejo y administración de forma eficaz la inversión del presupuesto de mantenimiento y rehabilitación de puentes de la red Vial Nacional.

Por la importancia de este tema en el área de la infraestructura vial, se presenta en este documento una tesis que tiene como objetivo principal desarrollar una metodología para la evaluación del estado de los puentes existentes, con el fin de prestar a las diferentes entidades administradoras una herramienta que les permita priorizar y mejorar el proceso de toma de decisiones para la inversión de los recursos, casi siempre exiguos con relación a las necesidades que se presentan en el sector de infraestructura.

La metodología creada está organizada a través de módulos con el fin de hacer más fácil el acceso a la información y de esta forma hacer el proceso de ingreso, procesamiento y búsqueda de información mucho más ágil para los usuarios. Se crearon los módulos de inventario, inspección, mantenimiento, rehabilitación y

costos, de los cuales se pueden generar informes con el fin de contar con la información de cada puente de una forma expedita, de igual forma se creó el módulo de toma de decisiones que se basa en la relación entre diferentes variables que afectan los puentes y otras que son variables regionales o que son comunes, pero que dependiendo de su grado de incidencia o importancia en la red vial, afecta la priorización del orden de intervención de los puentes del sistema.

Al aplicar la metodología la entidad podrá contar con una herramienta que le permita conocer el estado de los puentes bajo su responsabilidad y a su vez le ayuda a la priorización para la asignación de recursos para su correspondiente mantenimiento, conservación y/o rehabilitación.

NECESIDAD

Para las redes departamentales, municipales y concesiones no se conoce un sistema de administración de puentes existentes, razón por la cual no se cuenta con una priorización en las labores de intervención de mantenimiento y/o rehabilitación de dichas estructuras.

JUSTIFICACIÓN

En Colombia se ha presentado un gran número de emergencias en los puentes de la red vial, debido en algunas ocasiones a la falta de inspección visual, mantenimiento, obras de rehabilitación y la sobrecarga sobre estas estructuras. Sobre este tema existen investigaciones que confirman esta problemática, tales como: (Muñoz., s.f.), (Muñoz, Valbuena, & Rodriguez, 2004), (Muñoz, Niñez, & Mohammdi, 2009), (Muñoz, 2011), (Universidad Nacional de Colombia, 1998a), (Universidad Nacional de Colombia, 1996a), (Universidad Nacional de Colombia, 1994), (Universidad Nacional de Colombia, 1996b), (Takeuchi, s.f.).

Con un sistema de administración de puentes, se podrá evitar estos imprevistos y optimizar el uso de los recursos disponibles, priorizando el mantenimiento y rehabilitación de los puentes según la necesidad de intervención.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología para la evaluación del estado de los puentes existentes, que contribuya en la toma de decisiones con respecto a la priorización de la inversión para su mantenimiento, rehabilitación y/o sustitución.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el estado del conocimiento de los principales sistemas de administración de puentes en el mundo.
- Identificar las variables que intervienen en la evaluación del estado de los puentes y su correspondiente peso.
- Crear una herramienta computacional que permita interrelacionar las diferentes variables.
- Validar la metodología mediante la evaluación de algunos puentes administrados por la Gobernación de Cundinamarca.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se realizó un estudio del estado del arte que consistió en investigar sobre sistemas de administración de puentes en el mundo, con el objeto de conocer su filosofía y el enfoque que tiene con relación al inventario, inspección visual y los mecanismos de priorización. Además para conocer sus características y principales cualidades. Para ello se consultaron los sistemas de administración de puentes de Colombia(Sipucol), Perú (M.T Perú, 2006), Brasil (Ferreira e Castro, 2008), Estados Unidos (Thompson, 1993), Michigan (Michigan Department of Transportation, 2007) y (Federal Highway Administration., 1998), Canada (National Engineering Technology Corporation, Canada, 2008), Ohio (Ohio Department of Transportation, s.f.), Dambro ((THE IABMAS BRIDGE MANAGEMENT COMMITTEE, 2010), Manual de inspección de puentes de Costa Rica(Ministerio de Obras Publicas y transporte, 2007) además de lo anterior se revisaron otro tipo de documentos como (Muñoz Edgar y Valbuena Edgar, 2006), (Bonde, s.f.)(BOTERO, s.f.; Bien, 1999; Bonde, s.f., s.f.; Carrion, Lópezza, & Balankinb, s.f.; DE & FLEXIBLES, s.f.; Federal Highway Administration., 1998; Galiano Ayala & Toapaxi Alvarez, 2010; Godart & Vassie, 1999; Guevara, 2003; Lauridsen, Andersen, & Lassen, 1998; Maldonado Rondón, Casas Rius, & Canas Torres, 2002; E. Moreno, 2000; E. I. Moreno, Domínguez Lara, Cob Sarabia, & Duarte Gómez, 2004; Muñoz Martín & Carbó Gorosabel, 2006; National Engineering Technology Corporation, Canada, 2008; ODOT BRIDGE ENGINEERING SECTION OREGON DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2009; Ochoa, 2002; «PDI INGENIERIA», s.f.; Ponce Delgado, 2003; Ray, Ortiz, Stanton, Cintrón, & Velazquez, 2007; Revuelta Crespo, D., s.f.; Robie Bonilla, s.f.; Spalletti, Brea, & Cardini, s.f.; YOKOYAMA, INABA, HONMA, & OGATA, 2006; de Sousa, Almeida, & Delgado, 2001)

El proyecto se enfocó en conocer las variables que afectan a los elementos del puente y que eventualmente lo podían hacer fallar, se hizo una revisión bibliográfica de las diferentes variables que podían afectar la estabilidad o funcionamiento de los puentes y se encontraron las ocho (8) principales variables que afectaban los puentes eran, la socavación, corrosión de elementos de concreto, corrosión de elementos de acero, fatiga, impacto, infiltración, vulnerabilidad sísmica, deficiencia estructural, sobrecarga; de las diferentes tipologías de estos fenómenos, las causas que los originan, la forma como se presentan en las diferentes estructuras.

Luego de revisados los diferentes sistemas de administración se optó por dar una escala de calificación de cero a cuatro (0 – 4) para cada uno de los criterios, siendo cero (0) la calificación que puede obtener un elemento cuando sus

condición es buena y no requiere intervención y cuatro (4) la calificación para un elemento que se encuentre en una condición que requiere rehabilitación total. , cuando por razones climáticas o al estado de los elementos no sea posible calificar algún de ellos, se planteó una calificación (?) que se define como “No se puede inspeccionar, las condiciones en campo no permiten verificar el criterio”.

Se definieron un total de sesenta y ocho (68) criterios para el proyecto, divididos en las nueve (9) variables descritas en el párrafo anterior, se analizó cada uno de los criterios y se le asignó un nivel de importancia los cuales varían 50%, 80% y 100% de acuerdo al impacto que pueda tener el criterio con respecto a la estabilidad o colapso del puente.

Se califica cada criterio y se afecta por su peso de importancia, entonces se promedian por variable y se saca un promedio de las variables por elemento; para la calificación final del estado del puente, se toma el valor más desfavorable de todas las variables, para obtener una calificación por inspección visual.

Las inspecciones especiales en este proyecto tendrá solamente una descripción y la selección de cuales se deben aplicar a los puentes que se visiten, dentro de la etapa de validación.

Adicional a la calificación de los elementos del puente, con la metodología diseñada se entregara el listado de obras de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, obras de rehabilitación y costos, que se le deba hacer a cada uno de los elementos con el fin que la entidad que administre el puente se cuente con una herramienta que permita programar las obras que son necesarias para cada uno de los puentes que administre.

Para poder dar un orden de priorización al puente es necesario tener en cuenta no solo la calificación de cada puente por sí solo, es necesario también comparar factores externos que pueden afectar el puente y que se convierten en criterios que deben ser considerados en el momento de compararlos con otros puentes.

Se tuvieron en cuenta los siguientes factores de comparación (variables externas) que se deben tener en cuenta para la priorización: año de construcción, luz, ancho, altura de pilas, transito promedio diario (TPD), tipo de vía, existencia de variantes, líneas vitales que pueden estar instaladas en la estructura del puente, zona de amenaza sísmica, zona de inundación, estos factores se relacionan por medio de lógica difusa y se clasifican a su vez en cuatro (4) grupos, geometría, transito, líneas vitales y vulnerabilidad, luego de tener la calificación de cada uno de estos factores y la calificación de la inspección visual se aplicó una importancia por factor ya que algunos de ellos revisten más importancia desde el punto de vista de estabilidad del puente que otros, este peso se dio analizando la relación e importancia que tiene dentro del contexto regional cada uno de estos factores, así, Calificación visual (70%), Geometría (10%), transito (8%), vulnerabilidad (10%) y líneas vitales (2%).

La suma de los valores de los factores afectados por sus pesos nos da la calificación final del puente, la cual se comparará con las calificaciones de los otros puentes para de esta forma, poder tener la priorización final de los puentes, que se obtendrá ordenando dichos valores de mayor a menor.

2 ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES EN EL MUNDO

Los sistemas de administración de puentes surgieron como una necesidad de las diferentes entidades que tienen a su cargo la administración, mantenimiento e infraestructura, como un método que ayude a administrar estas estructuras de una forma eficiente y ágil.

La administración de puentes debe estar basada en relación costo – beneficio, más aun cuando debido al crecimiento de la red de infraestructura vial, el aumento de especificaciones técnicas demandan mayor cantidad de puentes que permitan el mejoramiento de las características geométricas y de seguridad de las vías, esto genera que los recursos disponibles para el mantenimiento, conservación y rehabilitación de las estructuras cada vez sean menores, razón por la cual el sistema debe permitir a la entidad hacer una priorización exhaustiva de los puentes a intervenir de tal forma que no solo se asignen recursos a los puentes que por su estado o riesgo de estabilidad sea alto sino que también se debe tener en cuenta el servicio que dicha estructura preste a la comunidad de la región o país.

Los sistemas de administración de puentes empezaron a conocerse a inicios de 1980(Austroads, 2002), inicialmente se presentaron como bases de datos que únicamente almacenaban las deficiencias que presentaban las estructuras.

Un sistema de administración de puentes debe contar con características que permitan a la entidad hacer una administración eficiente y ágil para la conservación, mantenimiento, rehabilitación etc, de los puentes y debe tener en cuenta entre otros con los siguientes aspectos(Lauridsen et al., 1998)

- Un conjunto de actividades interrelacionadas para la gestión de puentes
- Un conjunto de códigos y directrices para esas actividades
- Una organización para gestionar y llevar a cabo esas actividades
- Una base de datos que contienen datos derivados de dichas actividades

- Un conjunto de herramientas informáticas para el procesamiento de los datos en la base de datos.

La Guía de AASHTO (Lauridsen et al., 1998) para Sistemas de Gestión de Puente contempla que estos sistemas deben contar con cuatro componentes básicos: los modelos de almacenamiento de datos, el costo y el deterioro, modelos de optimización para el análisis y actualización de funciones.

En los numerales siguientes se presenta definición, características y un resumen de los módulos más relevantes con los que cuentan los principales sistemas de administración de puentes en el mundo.

2.1.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los sistemas almacenan en una base de datos las características más importantes en cuanto a geometría, tipología, estado, datos de tráfico, auscultación profunda, capacidad de carga, instrumentación, año de construcción, presupuestos, priorización, entre otras. Algunos de estos sistemas y sus características básicas se presentan a continuación:

Tabla 1 Nombre, definición y características de algunos Sistemas de Administración de puentes en el mundo (Muñoz, 2011)

| NOMBRE – PAÍS | DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICA |
|---|--|
| PONTIS® BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM (Estados Unidos) | Es un sistema de administración de puentes que asiste a las agencias de transporte en la toma de decisiones sobre el mantenimiento, rehabilitación y reemplazo de estructuras. PONTIS® almacena el inventario completo y datos de inspecciones visuales, incluyendo detalles de las condiciones de los elementos; formula políticas de mejoramiento puntuales para puentes pertenecientes a redes económicas. Hace también recomendaciones en cuanto a la optimización del beneficio en escenarios de pocos fondos para reparación. Adicionalmente, PONTIS reporta periódicamente los niveles proyectados y pronosticados del ciclo de vida y su velocidad de deterioro. Contiene módulos de plantación de proyectos de preservación, programación e inspección subjetiva. Posee un mecanismo de intercambio y actualización de datos con sistemas de verificación en campo del puente. Sistema bajo la supervisión de la AASHTO que es compatible con las bases de datos estatales. |
| ADVITAM® BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM (FRANCIA) | Dirigido directamente a empresas y que ha desarrollado un sistema que cuenta con la experiencia combinada de los principios de la administración de estructuras, computación aplicada y experiencia en construcción. Es capaz de adaptarse a cualquier tipo de método de evaluación particular para la recopilación de datos e información. El sistema se puede montar fácilmente para que trabaje en sistemas de redes de información particulares. Tiene manejo de datos, manejo de inventario, documentos e información de los puentes y restringe su acceso mediante claves de seguridad. Hace la evaluación de la estructura y localiza y puntualiza posibles futuras intervenciones. Desarrolla análisis de costos basado en análisis del ciclo de vida, administrando tanto recursos como tiempos en |

| | |
|--|---|
| | <p>cronogramas. Datos de entrada por monitoreo de deterioro. Permite la entrada de datos de modelos de elementos finitos. Calcula la vida del puente con modelos de deterioro y con la matriz de acciones sobre el puente. Localiza el puente con las coordenadas obtenidas de sistemas de posicionamiento geográfico GIS.</p> |
| <p>DANBROweb®, BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM (DINAMARCA)</p> | <p>El sistema de administración de puentes DANBROweb permite que todas las personas que tiene que ver con las operaciones de mantenimiento y trabajo de puentes, trabajen con la misma base de datos. Este sistema maneja el registro de información relacionada con estructuras específicas y al control de las actividades de inspección y de mantenimiento. El sistema se usa directamente por el responsable de la estructura. Este es un sistema que no necesita una plataforma específica para operar en los computadores de los interesados, si no que como está basado en la tecnología de redes, cualquier persona puede acceder a la base de datos sin tener que almacenar cantidad de información, solo se necesita acceso al Internet. La base de datos mantiene las últimas actualizaciones de información, garantizando que todos los usuarios manejen la misma versión de datos.</p> |
| <p>SIPUMEX® SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES (MEXICO)</p> | <p>El Sistema de Puentes de México (SIPUMEX) es un sistema que permite contar con un inventario de la totalidad de los puentes de la Red Federal de Carreteras, en el que se incluyen las características, ubicación y estado físico. Ello permite efectuar una priorización de las necesidades de mantenimiento y rehabilitación, con lo que se logra una optimización de los recursos aplicables, atendiendo al mismo tiempo a la seguridad de los usuarios. La primera fase de SIPUMEX, que se firmó en el año de 1992, está constituida por las siguientes actividades: Inventario, Inspecciones principales, Inspecciones rutinarias, mantenimiento menor y limpieza y evaluación de la capacidad de carga.</p> <p>La primera etapa de SIPUMEX, si fue cumplida, dando como resultado un inventario de los puentes de la Red federal de Carreteras, que sumaron 6,150 en total, con datos básicos como: Entidad federativa donde se ubica la estructura, la carretera, el kilometraje, tramo, año de construcción, tipo de superestructura y subestructura, el Transito Diario Promedio Anual (TDPA), etc. También, resultados de esta primera etapa, fueron, una relación de puentes que requieren reparación urgente según SIPUMEX, con un total de 280 puentes en toda la República Mexicana.</p> |

2.1.2 MÓDULO DE INVENTARIO

Todos los sistemas en el mundo cuentan con un módulo de inventario cuyo objetivo o alcance es conocer las características principales de los puentes que permitan a la entidad administradora contar con un registro de estas estructuras donde se puen encontrar de forma expedita y eficiente datos como tipología, características geométricas, ubicación, administrador, propietario, rehabilitaciones, año de construcción, etc, en general una hoja de vida de cada uno de los puentes con que cuente la entidad.

Basados en la consulta de diferentes sistemas de administración de puentes en el mundo Ver (Austroads, 2002) encontró que tienen las siguientes variables comunes

2.1.2.1 Número total de estructuras en el sistema

Esta información permite conocer el número de estructuras con que cuenta el sistema, esta información puede ser manejada por el usuario principal del sistema, salvo en sistemas como PONTIS(Thompson, 1993) que es un sistema privado que sirve para diferentes estados en Estados Unidos, este número de objetos depende del tamaño del sistema, en sistemas como PONTIS el número total de objetos es de 750000(Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca, 1996).

2.1.2.2 Tipo de estructuras del sistema

Sistemas de administración en el mundo no solo son herramientas para administrar puentes, sino que también son utilizados para administrar otro tipo de infraestructura como alcantarillas, túneles, señalización, muros de contención etc; esta información es muy importante para la entidad que administra la red vial, ya que por medio de ellos pueden conocer la cantidad de estructuras y contar con estadísticas sobre la infraestructura que posee la red vial que se administra.

2.1.2.3 Información propia de las estructuras

Los programas permiten ingresar datos e información correspondientes a cada uno de los puentes, información propia de cada puente como nombre, número y localización de la estructura, tipo de obstáculo que salva, fechas de construcción, reconstrucción o rehabilitación, información de la capacidad de carga, tipos de superestructura y subestructura, incluyendo los materiales utilizados, geometría de la estructura (anchos, longitud, etc.), incluyendo el gálibo vertical, tipos de componentes del puente.

2.1.2.4 Archivo de información

Todos los sistemas permiten almacenar la información que se recopile dentro del proceso de inventario, algunos cuentan con sistemas para manejo de planos, dibujo con sistemas tipo Cad, aunque todos los sistemas permiten el almacenamiento de información a través de imágenes.

Los reportes que se generen dentro de los sistemas pueden ser archivados con el fin de poder hacer seguimiento a los cambios que se presentan en el puente o estructura a través del tiempo.

2.1.2.5 Archivo de información de inspección y rehabilitación

Todos los sistemas existentes permiten guardar la información recopilada en las inspecciones y las rehabilitaciones que se hayan hecho a los puentes, algunos permiten archivar registros completos de las intervenciones como nombres de empresas constructoras, información contractual etc.

El sistema de administración de puentes de suth Africa, según (Nell, Nordengen, & Newmark, 2008) contempla las siguientes secciones principales:

- Detalles lugar
- Detalles del contrato
- Las características estructurales
- Las características de diseño
- Datos hidráulicos
- Las dimensiones y geometría
- Servicios detalles
- Configuraciones de la vía y el volumen de tráfico
- Archivo detalles - electrónica vinculación de los dibujos de cada proyecto de rehabilitación
- Vínculos de información y foto de cada uno de rehabilitación
- La historia de rehabilitación
- Factores que influyen en la inspección de campo
- Fotos de inventario - historia de la fotografía de la estructura

Otro ejemplo del módulo de inventario es el presentado en (Bonde, s.f.) para el sistema de administración de puentes de Moscu, que cual utilizando el nombre de puente o número de identificación, el módulo de inventario del sistema muestra la estructura con los detalles, incluidos los datos administrativos, la geometría, diseño, estructura de las unidades, fotos y mucho más. Si se conecta directamente con el Archivo, el módulo de inventario también ofrece dibujos electrónicos del puente en formato ACAD o BMP

En (Duffy, 2004) se presentan las principales características del módulo de inventario del sistema de administración de puentes de Irlanda en el cual los datos seleccionados incluyen el nombre, número de identificación y ubicación de la estructura, el tipo de obstáculos que se atraviesan (carreteras, ríos, ferrocarriles, etc), la fecha de construcción y reconstrucción de todo, los tipos de superestructura y la subestructura incluyendo materiales de construcción, la datos geométricos (longitudes, anchuras, distancias inclinación, vertical) y los datos de componente de la estructura (tipo de rodamientos, articulaciones, parapetos, etc.) La base de datos se puede utilizar para imprimir los reportes de datos de

inventario como una lista de autorizaciones vertical en un camino particular, o el número y la superficie de los puentes en una región particular del país.

2.1.3 MODULO DE INSPECCIÓN VISUAL

Todos los sistemas de administración del mundo cuentan con un módulo para almacenar la información que se recopila de las inspecciones principales o visuales, la información que se recopila en estas inspecciones tienen como principal objetivo mostrar el estado y nivel de daño que pueda poseer la estructura.

El módulo de inspección lo dividen es información de cada uno de los elementos e información general que es tomada de cada puente, información que refleja las condiciones propias o externas al puente pero que a su vez influyen en la funcionalidad y estabilidad del puente.

Aunque algunos sistemas incluyen los términos vulnerabilidad y riesgo, existe ambigüedad en la forma como se definen estos términos (THE IABMAS BRIDGE MANAGEMENT COMMITTEE, 2010)

Los sistemas de administración en el mundo evalúan las estructuras por medio de evaluación de elementos de cada puente o evaluación de los estructuras como un todo, sin embargo todos utilizan el inspección visual como base para el diagnóstico para evaluar el estado de los puentes, entregando un reporte de las obras de reparación que pueda necesitar la estructura y costos aproximados de los mismos.

Las inspecciones de los sistemas se basan en procedimientos relacionados con el inventario en el cual se siguen algunos patrones o características de los daños que sufre cada elemento, y se obtienen un listado de daños de los cuales se califican la severidad de dicho daño según la calificaciones los niveles de calificaciones que se usa, la mayoría de los sistemas usan hasta 6 niveles de daño, aunque el más común utilizado por los sistemas es de cuatro (THE IABMAS BRIDGE MANAGEMENT COMMITTEE, 2010).

A continuación se presenta un resumen del módulo de inspección que se aplica para el sistema de administración de puentes de Irlanda (Duffy, 2004)

“La inspección principal es una inspección visual sistemática de todas las partes accesibles de la estructura. No hay pruebas llevadas a cabo durante una inspección principal. Su propósito es evaluar la necesidad de reparaciones, controlar el rendimiento de mantenimiento de rutina y controlar los cambios en el estado de cada estructura del sistema. Una calificación de condición se aplica a cada uno de los 13 componentes del puente estándar y una calificación global se da para un componente, "la estructura en general". Los nombres de los componentes del puente y clasificaciones de la condición se muestran en una

pantalla de resumen. La clasificación varía de 0 (sin daños o insignificante) a 5 (el componente ha fallado o está en peligro de fracaso total con las posibles consecuencias para la seguridad del tráfico).

El tipo y la magnitud de los daños significativos son registradas junto con la necesidad de una inspección especial. Descripción de los daños se selecciona de una lista estándar de los defectos y dos métodos de reparación pueden ser propuestos de una lista estándar de las reparaciones de los componentes. Una cantidad de la reparación, el costo estimado y el año de la ejecución de la reparación propuesta también se registran. Una lista de los tipos de reparación estándar se utiliza para ayudar en la obtención de estimaciones de coste de reparación. Fotografías digitales, que complementan las descripciones de los daños, se almacenan en la base de datos.

El inspector registra si el mantenimiento de rutina está siendo llevado a cabo correctamente. También determina el año de la próxima inspección principal. El intervalo de inspección puede variar de uno a seis años dependiendo de la condición y la edad de la estructura, la intensidad de tráfico transportado por la estructura y la tasa esperada de deterioro.

Una inspección especial puede ser solicitada si el inspector no está seguro de que la causa del daño, la extensión del daño o el método de reparación más apropiado. Informes principales de inspección se pueden imprimir desde la base de datos”

En los sistemas de administración se utilizan diferentes modelos de calificación o rangos de calificación como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2 Relación entre los diferentes rangos de calificación que utilizan algunos sistemas de administración de puentes (THE IABMAS BRIDGE MANAGEMENT COMMITTEE, 2010)

| País | Nombre | RANGOS DE CALIFICACION DE LA INSPECCION VISUAL | | | | | |
|--------------|------------|--|---|---|---|---|-----|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 9 | 100 |
| Canada | OBMS | | 1 | | | | |
| Canada | OBMS | | 1 | | | | |
| Dinamarca | Danbro | | | | 1 | | |
| Finlandia | FBMS | | 1 | | | | |
| Alemania | GBMS | | | | | | |
| Irlanda | EIRSPAN | | 1 | | | | |
| Italia | APTBMS | | | 1 | | | |
| Japon | RPIBBMS | | | 1 | | | |
| Corea | KRBMS | | | 1 | | | |
| Letonia | LAT BRUTUS | | 1 | | | | |
| Países Bajos | DISK | | | | 1 | | |
| Polonia | SMOK | | | | 1 | | |
| Polonia | SZOK | | | | 1 | | |
| España | SGP | | | | | | 1 |
| Suecia | BATMAN | 1 | | | | | |
| Suiza | KUBA | | | 1 | | | |
| Usa | ABMS | | | | | 1 | |
| Usa | PONTIS | | | | | 1 | |

Tabla 3 Rangos de calificación de algunos sistemas de administración de puentes (THE IABMAS BRIDGE MANAGEMENT COMMITTEE, 2010).

| PAIS | NOMBRE | RANGOS EVALUCION ELEMENTOS |
|----------------|------------|--|
| Canada Ontario | OBMS | Cuatro (4) niveles, los defectos identificados y cuantificados mediante una inspección visual detallada |
| Canada Quebec | OBMS | Cuatro (4) niveles, los defectos identificados y cuantificados mediante una inspección visual detallada |
| Dinamarca | Danbro | rango de 0 a 5 mediante una inspección visual detallada |
| Finlandia | FBMS | Se califica nueve partes estructurales básicas, es evaluado por el inspector, los rangos estan definidos de 0-4 (muy bueno - muy pobre) |
| Alemania | GBMS | No se especifica |
| Irlanda | EIRSPAN | Rangos de Calificaciones 0 (mejor) a 5 (peor) para cada uno de 13 elementos estructurales |
| Italia | APTBS | Rangos de Calificaciones 0 (mejor) a 5 (peor) o 0 (mejor) a 3 (peor) según los elementos que se esten calificando |
| Japon | RPIBMS | Rangos de calificacion (1-5) basado en la inspección visual se estableció en 35 diferentes tipos de elemento y deterioro |
| Corea | KRBMS | Los elementos tienen rango de calificacion (A - E) , basado en la inspección visual |
| Letonia | LAT BRUTUS | Rango de 1 a 4 mediante una inspección visual detallada |
| Países Bajos | DISK | Rango de 1 a 6 mediante una inspección visual detallada |
| Polonia | SMOK | Rangos de Calificaciones 0 (mejor) a 5 (peor) |
| Polonia | SZOK | Rangos de Calificaciones 0 (mejor) a 5 (peor) |
| España | SGP | Los elementos tienen un índice (0 - 100) basado en sus daños (índice de elemento). Cada daño es evaluado por tres factores (la extensión, intensidad y evolución), hay un criterio fijo con el fin de evitar la subietividad. |
| Suecia | BATMAN | Rangos de Calificaciones 0 a 3 basado en inspeccion visual |
| Suiza | KUBA | Rangos de Calificaciones 1 a 5 basado en inspeccion visual |
| Usa | ABMS | Rangos de Calificaciones 1 a 9 basado en inspeccion visual |
| Usa | PONTIS | Rangos de calificacion varian según la licencia que se tenga, el mas comun es 0 a 4 |

2.1.4 MODULO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica de la mayoría de los sistemas de administración de puentes consultados se basan en el análisis por medio de matrices de costo – beneficio. Estas matrices están basadas en los resultados obtenidos en las inspecciones visuales o principales así como en el inventario que se tengan de la estructura, tomando como referencia las intervenciones hechas en las estructuras y la viabilidad de hacer una inversión a la estructura con respecto al beneficio que esta pueda brindar.

Los costos iniciales del proyecto se toman como una estimación de los resultados de las inspecciones y las medidas o sugerencias que se hacen con respecto a las labores de mantenimiento, conservación y rehabilitación. En algunos sistemas más avanzados y siempre que se cuente con recursos disponibles se toman decisiones económicas con base en estudios o inspecciones más detalladas que se adelanten a la estructura, con el fin de conocer con menos grado de incertidumbre los costos que se puedan llegar a incurrir para la rehabilitación o mantenimiento de las estructuras. (Bonde, s.f.) (Nell et al., 2008) (Thompson, 1993)

Algunos sistemas cuentan con un módulo para calcular los costos económicos de las retenciones de tráfico que se puedan generar en un eventual cierre por rehabilitación o mantenimiento de la estructura como se puede observar en la Tabla 4

Tabla 4 Relación de los diferentes costos que calculan algunos sistemas de administración de puentes

| PAIS | NOMBRE | COSTOS INSPECCION | COSTOS INTERVENCION | COSTOS INTERRUPCION TRAFICO | COSTOS INDIRECTOS | COSTOS VIDA UTIL |
|--------------|------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|
| Canada | OBMS | | 1 | 1 | 1 | |
| Canada | OBMS | | 1 | 1 | 1 | |
| Dinamarca | Danbro | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Finlandia | FBMS | | 1 | | | |
| Alemania | GBMS | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Irlanda | EIRSPAN | | 1 | 1 | 1 | |
| Italia | APTBMBS | 1 | 1 | | | |
| Japon | RPIBBMS | | 1 | | 1 | |
| Corea | KRBMS | | | | | 1 |
| Letonia | LAT BRUTUS | | 1 | | | 1 |
| Países Bajos | DISK | 1 | 1 | | | |
| Polonia | SMOK | | 1 | | | 1 |
| Polonia | SZOK | | 1 | | | 1 |
| España | SGP | | 1 | 1 | 1 | |
| Suecia | BATMAN | 1 | 1 | 1 | | |
| Suiza | KUBA | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Usa | ABMS | 1 | 1 | | | 1 |
| Usa | PONTIS | | 1 | 1 | 1 | |

También se puede encontrar aunque en menor proporción los sistemas de administración de puentes que hacen inspección de costos con el fin de tomar datos más reales no solo de la inversión sobre la estructura sino también hacen análisis de los costos económicos que pueda traer para la región las obras que puedan hacer sobre la estructura, ya sea por beneficio al mejorar el estado del puente como el beneficio económico de la región.

En (Duffy, 2004) se define el catálogo de precios del sistema de administración de puentes de Irlanda, este módulo ofrece una visión general actualizada de los precios unitarios de los trabajos de reparación estructural. Los precios pueden ser utilizados en la elaboración de estimaciones de costos para las obras de reparación que emana de las inspecciones principales y precios especiales para las estrategias de inspección de la reparación.

Cuando se cierran las licitaciones para las rehabilitaciones las dos ofertas más bajas están sometidas a un ajuste del índice de precios y se pueden introducir en la base de datos Eirspan (Duffy, 2004).

2.1.5 SISTEMA DE PRIORIZACIÓN

Existen varias técnicas de análisis, la adopción de los cuales pueden alcanzar los objetivos del sistema de gestión de puentes. Para el análisis de la condiciones según presenta en (Austroads, 2002) las técnicas más comunes por las cuales se hace la priorización o análisis son:

- Cadenas de Markov (modelos de predicción probabilística) este sistema es utilizado por ejemplo en sistemas como Pontis, Bridgit (Thompson, 1993) y The Ontario BMS (Thompson & Kerr, s.f.) y (National Engineering Technology Corporation, Canada, 2008)
- Los modelos de regresión (predicciones deterministas) este sistema es utilizado por el sistema de administración de Indiana Dot.
- Estimación bayesiana, Esta técnica se utiliza en la actualización de Pontis.
- Teoría de conjuntos difusos
- Variable latente enfoque del análisis de regresión
- Proceso de decisión de Markov.
- Fórmulas matemáticas clásicas de muchos tipos; redes neuronales, y algoritmos genéticos.

En la Tabla 5 se presenta los tipos de sistemas de predicción para la priorización utilizados por varios sistemas de administración en el mundo.

Tabla 5 Comparación de los diferentes sistemas de predicción para priorización utilizados por algunos Sistemas del Mundo (THE IABMAS BRIDGE MANAGEMENT COMMITTEE, 2010)

| PAIS | NOMBRE | MODELO PREDICCIÓN |
|----------------|------------|---|
| Canada Ontario | OBMS | Proceso de decisión de Markov |
| Canada Quebec | OBMS | Proceso de decisión de Markov |
| Dinamarca | Danbro | No se describe en el sistema, el modelo esta definido en linea |
| Finlandia | FBMS | Modelos de comportamiento de la edad por el deterioro de elementos estructurales |
| Alemania | GBMS | Modelos de deterioro (corrosión, cloruros, carbonatación) y el modelo de servicio de la vida (por ejemplo, los apoyos y las juntas de dilatación) |
| Irlanda | EIRSPAN | No se describe en el sistema |
| Italia | APTBMS | Proceso de decisión de Markov |
| Japon | RPIBMS | Las curvas de modelo de deterioro se han establecido con cuatro velocidades de deterioro para cada tipo de elemento |
| Corea | KRBMS | No cuenta con sistema de priorizacion |
| Letonia | LAT BRUTUS | No cuenta con sistema de priorizacion |
| Paises Bajos | DISK | No se describe en el sistema, el modelo esta definido en linea |
| Polonia | SMOK | No cuenta con sistema de priorizacion |
| Polonia | SZOK | La historia de deterioro se presenta en forma gráfica. Puede ser utilizado para el procesos de predicción de deterioro. |
| España | SGP | No cuenta con sistema de Prediccion |
| Suecia | BATMAN | No cuenta con sistema de Prediccion |
| Suiza | KUBA | Modelos probabilísticos deterioro sobre la base de los procesos físicos que afectan a los elementos |
| Usa | ABMS | No cuenta con sistema de Prediccion |
| Usa | PONTIS | No se describe en el sistema, el modelo esta definido según licencia |

2.1.6 INSPECCIONES ESPECIALES O ESTUDIOS ESPECIALIZADOS

En todos los sistemas de administración de puentes se utilizan las inspecciones especiales con el fin de verificar con mayor detalle los daños en los elementos que puedan estar siendo atacados por algún fenómeno, que fueron identificados en las inspecciones visuales o principales, este tipo de inspecciones son tan complejas y

detalladas como los recursos con que cuenta la entidad, ya que muchas de las inspecciones especiales requieren personal técnico calificado y equipos de alta tecnología.

Algunas inspecciones que para ciertos sistemas de administración son consideradas especiales para otros hacen parte del módulo de inspección visual o inventario ya sea por las condiciones propias donde se aplica el sistema o por los recursos con que cuenta la entidad.

En algunos sistemas las inspecciones especiales cuentan con una frecuencia de elaboración, con el fin de hacer contar con información de confianza para las obras de conservación, rehabilitación, en otros países donde los recursos son más escasos las inspecciones son producto de una inspección visual en la cual se recomienda la elaboración de inspecciones especiales para verificar algunos parámetros que no se hayan podido definir en el momento de la inspección visual.

De una u otra forma es necesario que previo a la ejecución de obras de rehabilitación de un puente se elaboren las inspecciones especiales que sean necesarias con el fin de conocer las condiciones reales de los puentes y sus elementos así como las necesidades de los mismos.

2.1.7 MANTENIMIENTO Y/O REHABILITACIÓN

Basados en las recomendaciones del módulo de inspección visual o especial se establecen las obras de mantenimiento y rehabilitación necesarias para cada componente del puente.

Según (Austroads, 2002) con la ejecución de obras de mantenimiento y rehabilitación de las estructuras se buscan lograr:

Funcionalidad: Minimización de los retrasos en el tráfico

Seguridad: Seguros para el uso previsto

Estética: Mantener una apariencia aceptable

La sostenibilidad: No acumulación de las reparaciones, y la carga de trabajo se mantiene en un nivel manejable

Mantenimiento económico: Se basa en el análisis de los costos del ciclo de vida.

Los sistemas de administración de puentes buscan disminuir la probabilidad de falla o interrupción del servicio debido a daños en la estructura del puente o sus elementos ya sean funcionales o estructurales, para tal fin algunos sistemas evalúan al puente en función de los años de vida útil que tiene la estructura como se utiliza en (LINDBLADH, 2000), otros en los años en los cuales la estructura presta su función con seguridad como en (MARASY, 2001)

2.1.8 CAPACIDAD DE CARGA

La capacidad de carga a igual que otras características de puentes no son tenidas en cuenta de forma individual como una variable para la valoración del estado sino que a partir del conocimiento de esta característica y otras permiten conocer la real capacidad que tiene el puente y la confiabilidad que esta pueda tener para la red de carreteras de la entidad.

Las capacidad de carga es tomada en los sistemas de administración de puentes como un índice de la condición de un puente al evaluar la capacidad residual con la que cuenta el puente y de esta forma poder conocer otros aspectos de los puentes como los presentados en (Austroads, 2002):

- Una mejor comprensión del desempeño de puente bajo la carga viva
- La identificación de los miembros más débiles de un puente
- La identificación de los puentes débiles en la red de carreteras
- Desarrollo de procedimientos de mejora del mantenimiento
- Desarrollo de opciones de consolidación efectiva
- Determinación del potencial de aumento de la carga legal
- Aplicación de los resultados a otros puentes similares
- Una mayor vida útil de los puentes
- La reducción del número de puentes con restricciones a la carga

Además de lo anterior la capacidad de carga permite conocer los costos en que pueda incurrir un usuario al permitirle o no transitar por cierta vía y tener que desviarse para poder llegar a su destino.

2.2 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES DE COLOMBIA

Según (Muñoz, E. E., 2011) el Estado desde 1983 elaboró el primer proyecto relacionado con la gestión y administración de los puentes denominado “*Revisión periódica de puentes*”. Posteriormente entre 1989 y 1991 el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) y la Universidad del Cauca mediante el Programa

ICFES - BID realizaron a través de un convenio institucional un trabajo de “*Investigación Nacional de Puentes*”, que consistió en el inventario e inspección de daños en los puentes ubicados en cada uno de los diferentes Distritos de Obras Públicas.

A partir del colapso de algunos puentes (Pescadero y Purnio) en 1996 (Ver (Universidad Nacional de Colombia, 1998b) y (Universidad Nacional de Colombia, 1996a)) (Muñoz, E. E., Núñez, F., and Mohammadi, J., 2009) , el Estado implementó el Sistema de Administración de Puentes de Colombia (SIPUCOL), el cual consta de diferentes módulos de gestión de los puentes y una base de datos especializada. Esto lo hizo mediante un convenio internacional de asistencia técnica entre el Instituto Nacional de Vías y la Dirección de Carreteras del Ministerio de Transportes de Dinamarca. Este sistema se basó en la filosofía y experiencia de la Dirección de Carreteras del Ministerio de Transportes de Dinamarca en el sistema DANBRO y en el SIPUMEX que se había implementado dos (2) años antes en México (Ver Tabla 1 Nombre, definición y características de algunos Sistemas de Administración de puentes en el mundo (Muñoz, 2011)). A través de este sistema el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) fortaleció la gestión en el tema de puentes, el cual está conformado por diversos módulos como inventario, inspección principal, inspección especial, mantenimiento rutinario, capacidad de carga, etc.

Dicho sistema se define como una aproximación racional y sistemática, para organizar y llevar a cabo todas las actividades relacionadas con el manejo y la administración de los puentes y tiene los siguientes alcances:

- Predicción de las necesidades de mantenimiento y de los fondos requeridos.
- Elaboración de listados de puentes por prioridades de rehabilitación.
- Identificación de puentes con restricciones o limitaciones de servicio.
- Búsqueda de la mejor alternativa para rehabilitación de cada puente desde el punto de vista técnico y de beneficio-costos.
- Cuantificación de los costos de inversión por puente.
- Identificación de las obras de mantenimiento menor.
- Determinación de la capacidad de carga de los puentes y sus restricciones.

En la Figura 1 presenta un organigrama, que con sus módulos computarizados y el procedimiento de priorización, sirven para la toma de decisiones en la recuperación de los puentes.

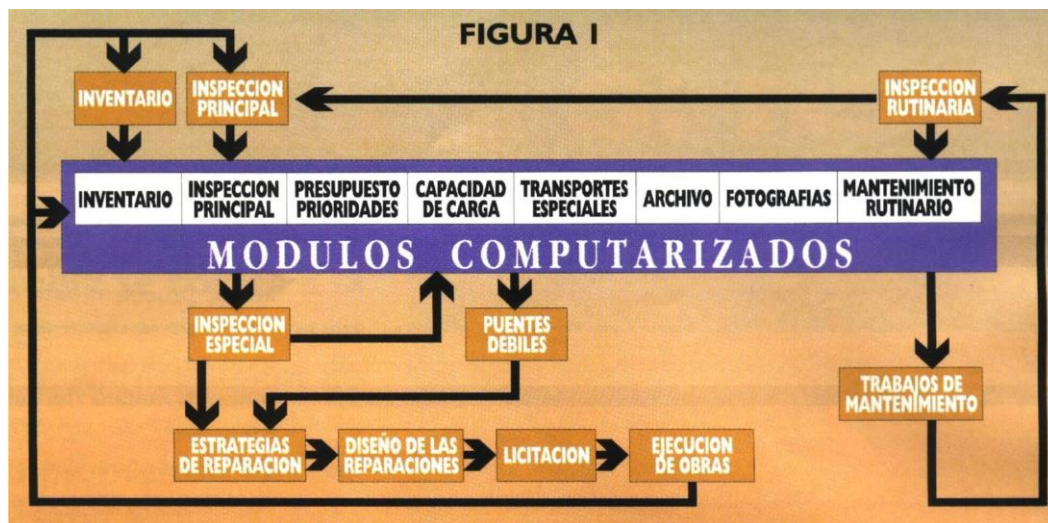


Figure 1 Módulos del Sistema de Administración de Puentes (SIPUCOL)(Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca, 1996)

Tiene el objetivo de identificar los puentes en estado crítico y prioriza su intervención de acuerdo con los resultados de la inspección principal, inspección especial, inspección rutinaria, el tránsito promedio diario y la capacidad de carga. Dependiente del daño o la vulnerabilidad detectada, se ejecutan obras de emergencia para evitar su colapso. Posteriormente se realizan estudios especializados y por último el diseño de obras de reparación definitivas. A continuación se hace una breve descripción de los módulos principales que conforman este sistema, basados en la información de la (Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca, 1996).

Inventario: Contiene información seleccionada sobre localización, administración, geometría tipologías de la infraestructura y superestructura, capacidad de carga, etc., para cada uno de los aproximadamente 2200 puentes que integran la Red Nacional de Carreteras (Ver capítulo 4).

Inspección Principal: Tiene por objeto realizar para cada puente, una inspección visual de cada uno de los componentes principales (superficie, barandas, bordillos, andenes, vigas, losa, pilas, estribos, apoyos, armaduras, **cauce** y otros) que hacen parte de la estructura y dar una calificación basada en una escala cualitativa previamente definida. Mediante este módulo se identifican los puentes que requieren de inspecciones especiales, estudios especializados y reparaciones. El estado general se basa en la calificación del componente “puente”, el cual se obtiene de la mayor calificación de los componentes clasificados como estructurales. Este módulo se basaba en calificaciones cualitativas que se asignaron a cada componente que se presentan a continuación:

Tabla 6 Escala de calificación de los componentes de los puentes (Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca, 1996)

| Calificación | Descripción |
|--------------|--|
| 0 | Sin daño o con daño insignificante |
| 1 | Daño pequeño, pero no se requiere reparación |
| 2 | Existe daño, el componente funciona como se diseño |
| 3 | Daño significativo, se requiere pronta reparación |
| 4 | Daño grave, se necesita inmediata reparación |
| 5 | Daño extremo, falla total o riesgo de falla total del componente |
| ¿ | Desconocida |

Inspección especial: Son auscultaciones profundas de la estructura que incluyen ensayos destructivos y no destructivos especializados en campo y en laboratorio (Ver numeral 4.2).

Capacidad de carga: Este módulo pretende identificar los puentes débiles y servir de herramienta en la administración de permisos para cargas especiales (Ver numeral 3.1.9).

Inspección rutinaria, mantenimiento rutinario y limpieza de puentes: La inspección rutinaria incluye una frecuente revisión superficial de la estructura con el propósito de garantizar la seguridad del tránsito a diario y registrar las necesidades de mantenimiento rutinario y limpieza en los puentes. Mediante los administradores viales se permite establecer políticas de mantenimiento menor y limpieza.

Diseño de reparación y refuerzo. Cubre la evaluación de daños, estrategias de reparación y diseño de reparación. Suministra recomendaciones sobre la toma de decisiones para las reparaciones y rehabilitaciones de los puentes, basados en las inspecciones principales, especiales y capacidad de carga.

Priorización de obras de reparación y refuerzo: Explica detalladamente el procedimiento de la priorización y como se aplica a la administración de los puentes. Este módulo permite la asignación óptima de recursos para las obras de reparación.

Uno de los módulos fundamentales de este sistema es el de inspección principal, cuyas partes se presentan en la Figura 1 se presentan los componentes, la escala de calificación, los tipos de daño y el equipo mínimo necesario que son: cámara, carpeta, chaleco reflector, Grietó metro, Binoculares, cinta, cepillo, cinturón de seguridad, entre otros.

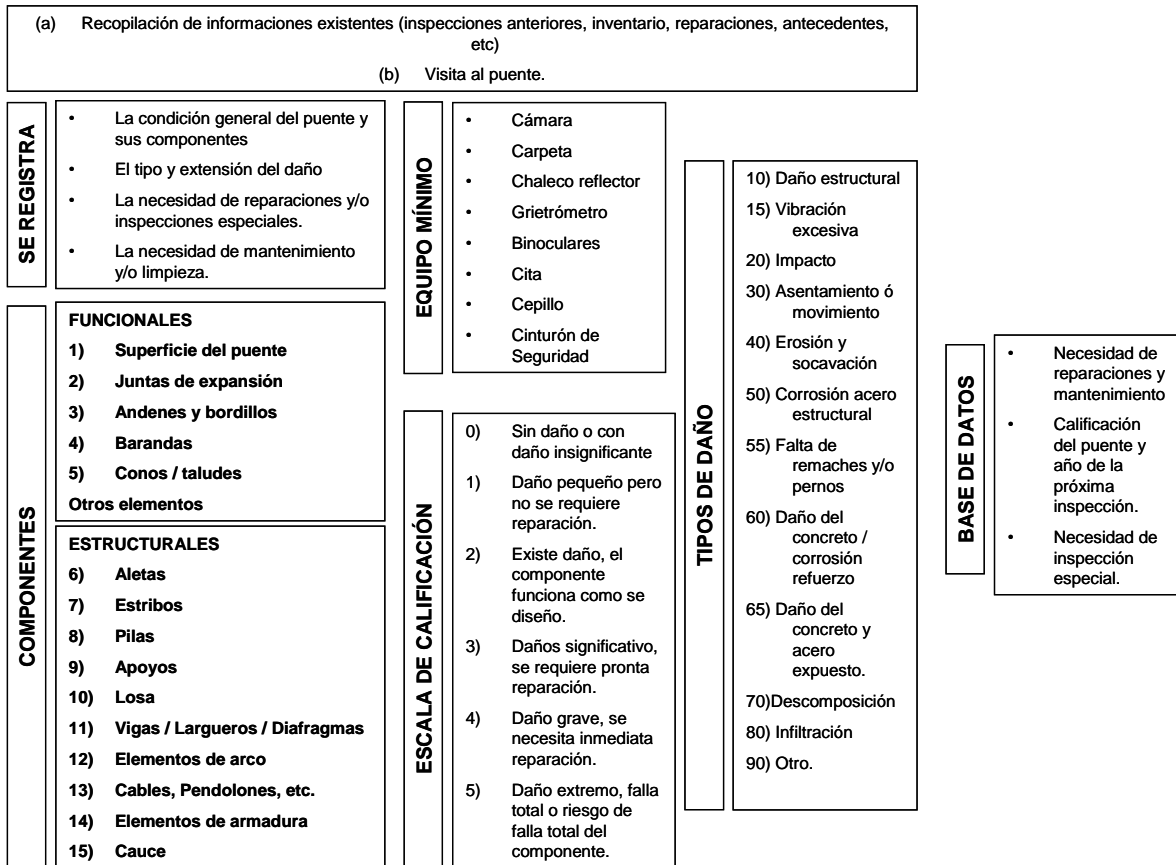


Figura 1 Etapas de la inspección principal (Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca, 1996)

3 ANÁLISIS DE VARIABLES PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PUEENTES

Para los módulos de inspección visual y priorización del sistema de administración que se propone en este trabajo, se estudiaron las diferentes variables determinantes en el momento de la evaluación y la determinación del estado de los puentes. Estas variables, se seleccionaron basados en la experiencia que el país ha tenido el tema de inspección visual de puentes a través de Sipucol ver (Muñoz, E. E., 2011) y en los fundamentos de varios sistemas de gestión mundialmente reconocidos estudiados en el numeral anterior se determinaron dos (2) tipos de variables, una es la interna y otra es la externa, las cuales se explican a continuación.

3.1 VARIABLES INTERNAS

Las variables para la evaluación de los puentes definidas como internas son aquellas que son determinantes para definir el estado de cada elemento de un puente. A continuación se exponen cada una de ellas.

3.1.1 SOCAVACIÓN

Según la referencia (Muñoz, E. E., 2011) en la actualidad no existe una metodología unificada que permita a los diseñadores y constructores estimar con seguridad la profundidad de socavación en puentes. Esta carencia se debe a la complejidad del problema y a su misma variación durante el corto plazo en el cual se produce la degradación, donde los flujos son inestables y las características dinámicas y geométricas son complejas; la corriente interactúa con mezclas variadas de sedimentos cuyos rangos van desde arenas aluviales hasta arcillas y rocas meteorizadas; es claro que durante una creciente sus características pueden cambiar drásticamente y de manera aleatoria. El problema a menudo se complica por la gran variedad de formas, alineamientos y posiciones usadas para pilas y estribos y por la presencia de desechos flotantes y basuras atrapadas que cambian la geometría y el patrón del flujo (Austroads, 2002)

Por otro lado, según un estudio realizado por (Muñoz, E. E., Núñez, F., and Mohammadi, J., 2009) la mayor causa de falla de puentes en Colombia es por los efectos de socavación de la cimentación de las pilas o estribos, por lo que es prioritario que las entidades administradoras de la infraestructura vial efectúen una evaluación general del efecto de la socavación de las estructuras más importantes localizadas en los ríos con mayores caudales y posibilidades de socavación. Además, estas entidades deben exigir a las empresas consultoras encargadas del diseño, realizar estudios hidrológicos, hidráulicos y de socavación detallados y técnicamente sustentados. En la siguiente tabla se presenta la lista de algunos de los puentes colapsados por este fenómeno con una breve descripción de su falla

basados en la información recopilada por la referencia (Muñoz, E. E., Núñez, F., and Mohammadi, J., 2009) También en la foto 1 y foto 2 se presentan los colapsos de los puentes Sabandija y Únete.

| Nº | FECHA | NOMBRE | DESCRIPCIÓN / CAUSA |
|-----------|--------------|-------------------|---|
| 1 | 1-oct-06 | Maracas | Puentes en concreto de 10 metros de luz afectado por socavación, localizado en la carretera San Roque – La Paz (Cesar). |
| 2 | 7-dic-06 | San Jorge | Estructura en acero de una luz de 25 metros, cuya creciente socavo estribo margen izquierda, localizado en la carretera la lupa -Bolivia – San Santiago(Cauca) |
| 3 | 3-oct-06 | Tocoragua | Puente Provisional Mabey de 51.85 metros de luz que colapsó por creciente de río, localizado en la carretera Cabuya – Saravena (Casanare) |
| 4 | 4-sep-04 | Tocoragua | Estructura en concreto, del Departamento del Cauca, que falló por socavación produciendo la muerte de militares. |
| 5 | 23-jun-04 | Perrillo | Puente en concreto que falló por creciente. |
| 6 | 17-may-04 | Banadía | Puente con una superestructura en concreto, de una luz de 72.35 metros, cuya pila falló por socavación y dejó aislado el Departamento del Cauca con el Departamento de Santander. |
| 8 | 1-sep-00 | Tobasía | Puente en concreto de 14 metro de luz, localizado en la carretera Tunja-Miraflores-Páez (Boyacá), que falló por socavación en estribo. |
| 9 | julio-2000 | Guaduas – Cabezas | Puente de concreto que falló por socavación en pila central y estribo izquierdo. Localizado en la carretera San Alberto - La Mata(Ocaña) |
| 10 | 4-abr-00 | El Guajiro | Puente en concreto de 30 metros de luz, localizado en la Guajira, que su estribo falló por socavación. |
| 11 | 2000 | Únete | Puente en acero cuyo estribo falló por socavación lateral Este puede se rehabilitó con micropilotes y gateo, pero posteriormente su estructura metálica colapso nuevamente. |
| 12 | 1-nov-99 | La Gómez | Puente en concreto de 53 metros de luz cuyo |

| | | | |
|----|-----------|-------------------------|---|
| | | | estribo falló por socavación. Localizado en la carretera La Lizama -San Alberto (Santander) |
| 13 | 19-nov-96 | Jorge Gaitán Duran | Puente en concreto, cuya pila falló dos (2) veces por socavación. |
| 14 | 1-abr-96 | Sabandija | Puente de armadura de acero, localizada en la carretera Honda- Mariquita(Tolima), cuyo estribo falló por socavación producto de una creciente de una quebrada afluente al río,. |
| 15 | 29-nov-94 | Río Pato | Falla por socavación |
| 16 | 11-nov-94 | San Luis | Falla por socavación |
| 17 | 1-ago-94 | El Secreto | Puente en acero localizado en la carretera Guateque-El Secreto del departamento de Boyacá. Su pila falló por Socavación. |
| 18 | 1-jul-94 | Carare | Puente en concreto localizado en la carretera Río Ermitaño-La Lizama (Santander), cuya pila tuvo una falla parcial por socavación. |
| 29 | 12-jun-94 | El Guajiro | Falló por socavación. |
| 20 | 27-may-94 | Guillermo León Valencia | Puente en acero, cuya pila falló por socavación. Localizado en la carretera Villavicencio-San Juan de Arama en el departamento del Meta. |
| 21 | 27-may-94 | Barranca de Upía | Puente cuya pila No. 4 falló, localizado en la carretera Villavicencio-Barranca de Upía(Meta). |
| 22 | ´1987 | Cobaría | Falló por socavación. |
| 23 | ´1987 | Guamal | Puente en concreto que falló por socavación, localizado en la carretera Granada-Villavicencio(Meta) |

Tabla 7 Lista de algunos puentes colapsados por socavación entre 1986 al 2006(Muñoz, E. E., 2011)



foto 1 Esquema del colapso del puente Sabandija (Tolima) (Muñoz, 2011)



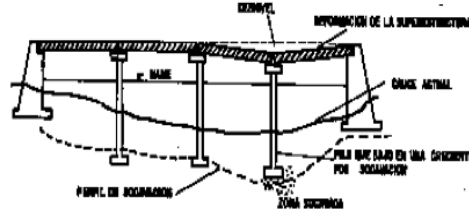
foto 2 Foto del colapso del Puente Unete (Casanare) (Muñoz, 2011)

La socavación se define como la pérdida del material de soporte (suelo) de la cimentación de los estribos, aletas y pilas, producto del arrastre ocasionado por el cauce, que los hace inestables, ocasionando un posible colapso parcial o total del puente en general. Según la referencia (Universidad de los Andes, 2007) este fenómeno se define como: *“Una erosión manifestada por el descenso de la cota o nivel del lecho y orillas o márgenes de un río. Este fenómeno es producido por la remoción de sedimentos debido al aumento de la capacidad de arrastre que adquiere la corriente, principalmente en las crecientes”*. La socavación produce el desprendimiento y posterior arrastre del material del lecho de un río por parte del flujo durante crecientes con una magnitud considerable, lo cual produce una deformación del fondo, una degradación o fosa, la cual es posteriormente rellenada por los sedimentos de fondo en el momento en que la creciente presenta su curva de receso. Este fenómeno puede exponer la cimentación de la obra de cruce, propiciando finalmente su eventual colapso. Cuando este proceso se produce a lo largo de varios años, es decir, a largo plazo, se reserva para él el nombre de degradación, la cual no se analiza en este trabajo.

La socavación puede afirmarse que es el resultado de la acción erosiva del flujo de agua que con ayuda de la vulnerabilidad del material a ser transportado, arrastra partículas del lecho y de las márgenes del cauce, convirtiéndose en una de las causas más comunes de falla en puentes en Colombia y el Mundo. Según diferentes referencias consultadas (Muñoz Edgar y Valbuena Edgar, 2006), (Instituto Nacional de Vías, 2007), (Instituto Nacional De Vías, 2006), algunos indicios que se pueden tener en cuenta en la inspección visual para detectar un problema de socavación en una estructura son:

1. Apoyos desnivelados

Cuando se observa que se han desnivelado o descendido los estribos o las pilas por efecto de una creciente, es señal inequívoca de la existencia del fenómeno de la socavación.



Grafica 1 Apoyos desnivelados(SIPUCOL, 1999)

2. Socavación visible en las pilas, estribos y aletas

Cuando la cimentación de las pilas y estribos del puente son visibles parcial o totalmente y se aprecian los huecos de socavación, es porque la cota de cimentación del puente está por encima de la socavación local y muy cerca de la socavación general, esto requiere especial cuidado. En las siguientes fotos se representa este tipo de socavación.



foto 3 Foto del colapso del Puente Unete (Casanare)
(Muñoz Edgar y Valbuena Edgar, 2006)



foto 4 Pilotes descubiertos del estribo del puente San Pablo localizado en el Departamento del Choco
(Muñoz Edgar y Valbuena Edgar, 2006)



foto 5 Estado de Socavación de una aleta del puente Caño Largo (Cesar)
(Muñoz Edgar y Valbuena Edgar, 2006)

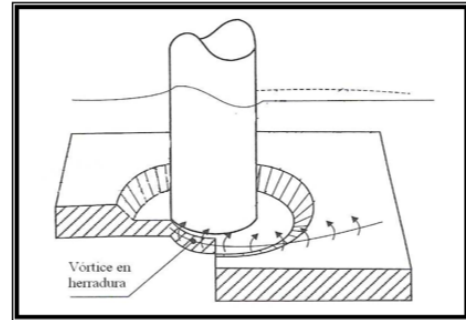


foto 6 Socavación de Herradura en una pila
(Galiano Ayala & Toapaxi Alvarez, 2010)



foto 7 Socavación presenciada en tiempo se sequia(Robie Bonilla, s.f.)



foto 8 Falla por socavación de pilas
(Ponce Delgado, 2003)

3. Obstrucción del cauce

El cauce se puede obstruir por presencia de vegetación, ramajes o escombros o por invasión del cauce. Cuando en las zonas cercanas al cauce crece vegetación esta interrumpe el normal flujo del agua disminuyendo el área hidráulica lo que puede generar una socavación en el momento de presentarse una creciente elevada, la presencia de escombros interrumpe el flujo libre del cauce quedándose estos aprisionados contra las pilas o los estribos de la estructura ocasionando un remanso y cambios en la dirección del flujo y variando la velocidad, esto provoca socavación local en estribos, aletas o pilas, como se observa en la siguiente fotografía.



foto 9 Obstrucción del cauce. Cruce Yarumo Cauce2(Muñoz Edgar y Valbuena Edgar, 2006)

4. Puentes mal orientados

El fenómeno de la socavación se presenta en este tipo de estructuras debido a que el cauce está atacando en un ángulo desfavorable para la cimentación del puente, esto genera entonces que la velocidad y el sentido del flujo cambien constantemente lo que genera una socavación profunda.



foto 10 Panorámica de la protección de la orilla de la margen izquierda del río San Pablo aguas arriba del puente en una longitud aproximada de 200m, puente San Pablo (Las Animas - Nuqui)(Muñoz, E. E., 2011)

5. Presencia de grietas

Algún tipo de grietas también dan indicios a que se está presentando un fenómeno de socavación en la estructura y además son delicadas, las grietas verticales en la unión del estribo y las aletas son producidas por el cimientado y quedan estas en voladizo y se producen esfuerzos en la estructura o el elemento, las grietas diagonales que aparecen en los estribos son ocasionadas por sismos o por socavaciones, es necesario hacer el análisis detallado y hacer el seguimiento después de las crecientes para así determinar que las produjo y recurrir a intervenciones inmediatas.

3.1.2 FATIGA

Un aspecto importante en la inspección y evaluación de un puente de acero es determinar si el puente es susceptible a la fatiga, esta puede ocurrir bajo condiciones de carga o en algún instante en que el puente no este diseñado para estas solicitaciones.

La fatiga es uno de los más complejos fenómenos que se estudian en el análisis de estructuras que tienen piezas sometidas a tensión y estas a su vez por cargas dinámicas, este tipo de variable tiene como característica que puede aparecer súbitamente.

En los puentes de acero se pueden desarrollar este tipo de fallas cuando se presentan cargas repetitivas y se evidencian con grietas iniciales desde los puntos de concentración de tensiones en los miembros del puente, estas concentraciones pueden ser consecuencia de:

- Defectos del propio material
- Detalles de la conexión
- Cambios en las secciones transversales de los elementos

La fatiga empieza a manifestarse en regiones en las que existe concentración de esfuerzos, la que causa una grieta muy pequeña que se va propagando y aumentando su tamaño en regiones circundantes, gracias al efecto de los ciclos que soporta por las repeticiones de tráfico durante un periodo de tiempo determinado, en ese momento disminuye la resistencia estática del material hasta un punto tal que se produce la falla. A continuación se presentan fotografías con daños típicos en algunos elementos y su monitoreo.



foto 11 Falla por fatiga en elemento
(«BRIDGE INSPECTION MANUAL Chapter 11: Fatigue/Fracture Critical», 2010)



foto 12 Grieta por fatiga localizada
(«BRIDGE INSPECTION MANUAL Chapter 11: Fatigue/Fracture Critical», 2010)



foto 13 Monitoreo de grieta por fatiga («BRIDGE INSPECTION MANUAL Chapter 11: Fatigue/Fracture Critical», 2010)

3.1.3 CORROSIÓN EN EL ACERO

La corrosión es una acción química o biológica que se puede presentar en un proceso lento o acelerado del elemento en contacto con el medio ambiente, este se encarga de degradar el material hasta un punto tan que puede llegar a destruirlo. Este fenómeno básicamente consiste en la pérdida de equilibrio de las fuerzas cohesivas del material.

Para evaluar los daños que la corrosión produce se pueden clasificar según la forma en que se presentan, cuando la superficie del material esta corroída uniformemente se habla de una corrosión superficial, esta sería la forma menos agresiva de la corrosión pues la distribución es uniforme y su proceso es lento, debido a esto es probable que se pueda controlar o llegar a predecir el tiempo de duración del elemento.

En el momento en que la corrosión deja de ser superficial y se presentan unos ataques un poco más agresivos se evidencian corrosiones de mayor profundidad en el material este fenómeno se le puede llamar una corrosión localizada, forma que acostumbra a presentarse con mayor frecuencia en las placas.

A continuación se listan varias formas de apariencia de las corrosiones de fácil identificación en el momento de llevar a cabo una inspección de un elemento de acero. Una vez presentados las formas de presentación se muestran las fotografías de algunas fallas localizadas de corrosión en el acero, en las uniones en los apoyos o en zonas difíciles de llegar para un mantenimiento.

a. Corrosión general

Ataque al material de forma uniforme pero lenta y de menos daño al elemento.

b. Corrosión Galvánica

Se produce cuando dos metales distintos están en contacto y se produce por la diferencia entre el flujo de corriente entre ellos. El más activo de los

dos tiene una corrosión más acelerada y el otro la elimina o es más retrasada y lenta.

c. Corrosión en juntas

Se presenta por el estrecho margen que pueda existir entre dos materiales no precisamente entre dos metales, pero la acumulación de agua o el medio ambiente agresivo es de difícil eliminación y se concentra el problema ocasionando una corrosión localizada, se presenta comúnmente en juntas y apoyos.

d. Picaduras

Es la corrosión localizada en un nivel alto de ataque al material en el cual se van presentando unos pequeños huecos en la superficie del material y estas pueden variar su tamaño de acuerdo al ambiente que este expuesto el componente, este fenómeno es de total cuidado pues podría llevar a la falla el elemento.



foto 14 Corrosión generalizada en unión mediante remaches, Puente el Pescado (Muñoz & Valbuena, 2004)



foto 15 Corrosión en el apoyo. Puente Icel Mocoa (Putumayo) (Muñoz & Valbuena, 2004)



foto 16 Falla por corrosión Puente Limón
(Meta)(Muñoz & Valbuena, 2004)



foto 17 Corrosión severa en una platina. Puente
La Palmera(Muñoz & Valbuena, 2004)

3.1.4 CORROSIÓN EN CONCRETO

Es importante diferenciar la corrosión de elementos de acero a las barras o cables de acero en puentes de concreto. Esto se presenta en los refuerzos de acero cuando el recubrimiento pierde su función por efectos de carbonatación o cloruros como se observa a continuación:



foto 18 Corrosión de ductos de cables de postensado (SIPUCOL, 1999)

El concreto reforzado por naturaleza protege el acero de refuerzo, sin embargo debido a factores como humedad, oxígeno y agentes agresivos como los cloruros, pierde esta propiedad de protección, por esta razón es importante estimar la agresividad de un determinado medio.

La carbonatación del concreto es la segunda causa de corrosión en estructuras de concreto reforzado. La corrosión por la carbonatación tiende a desarrollarse más tarde, el proceso es más lento que la corrosión por cloruros, y conduce a una corrosión uniforme del acero que acelera la formación de grietas y reduce la vida útil de servicio de la estructura. En ambientes tropicales no marinos, la corrosión por carbonatación podría ser el principal mecanismo de corrosión en concreto

reforzado. Sin embargo, el proceso de carbonatación natural es muy tardado y un proceso acelerado es necesario para obtener datos en menor tiempo.(E. I. Moreno et al., 2004)

En la evaluación de los diferentes elementos de la estructura asociados a concreto reforzado es indispensable que se tenga cuidado con algunos puntos en particular, los hormigueros generalizados, aceros expuestos, falta de recubrimiento y fisuras de tipo estructural y no estructural, la falta o la mala localización de los drenes también llevan a que se incremente este tipo de falla en los puentes con elementos de concreto reforzado. La presencia de la corrosión en el concreto da indicios de que el componente no tendrá el comportamiento esperado a la hora de recibir solicitaciones, y que la falla de la estructura en su totalidad puede ocasionarse; para el concreto no solo es desfavorable estar con síntomas de corrosión sino que además estos síntomas dan pie a pensar que el elemento de acero que es el encargado de responder a los esfuerzos de tensión tiene unas condiciones bajas de capacidad y que es factible que también se comporte inadecuadamente. Es así entonces como el fenómeno de la corrosión en el concreto una de las debilidades más importantes que se encuentran en estos componentes y que deben ser supervisadas y controladas en el menor tiempo posible, se evitara pérdidas materiales y además se reducirán costos de intervenciones más avanzadas o la reconstrucción total del componente o de la estructura completa. De la foto 19 a la foto 22 se aprecia los daños más generales ocasionados por la corrosión del concreto, daños por acero expuesto, por problemas de infiltración, pérdida de material.

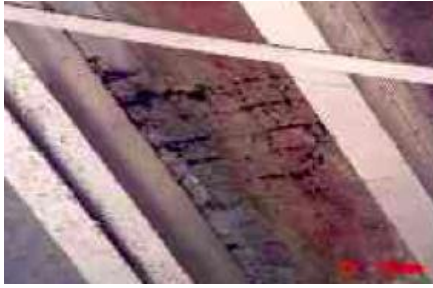


foto 19 Acero expuesto por falta de recubrimiento (Muñoz & Valbuena, 2004)



foto 20 Problemas de infiltración por malos drenes (Muñoz & Valbuena, 2004)



foto 21 Corrosión de acero expuesto por falta de recubrimiento (Ray et al., 2007)



foto 22 Corrosión en concreto y pérdida de material (Ray et al., 2007)

3.1.5 INFILTRACIÓN

El fenómeno de infiltración es uno de los fenómenos difíciles de controlar en las estructuras, la infiltración se presenta o está localizada en aquellos puntos donde el agua no tiene una buena circulación, y esa acumulación de agua en busca de una salida hace que los materiales de los diferentes elementos sufran cambio químicos que los hace perder sus características iniciales.

La infiltración se presenta inevitablemente en aquellos puntos en donde la estructura tiene dilataciones por construcción y con el paso del tiempo esta infiltración deteriorara la estructura si no se tiene un mantenimiento periódico de la misma, inicialmente a los elementos de concreto los mantiene húmedos hasta tal punto que se ven manchas en su superficie y se genera el nacimiento de materia orgánica localizada en aquellos puntos donde el agua o los organismos están situados por un periodo de tiempo determinado.

En algunos casos las aguas no logran fluir hacia los drenes o a las juntas por donde se infiltran y terminan por depositarse en los materiales del puente creando excesos de agua acumulada que termina por traerle fuertes consecuencias al elemento, las estructuras más delicadas al contacto con el agua y a la mala circulación del agua son las estructuras del acero, pues estas están constantemente sometidas al impacto del medio ambiente y de presentarse estos fenómenos de estancamiento o de excesiva infiltración y mal control por parte de la entidad encargada de los mantenimientos preventivos pues la corrosión será inminente y terminara produciendo el colapso del elemento y posiblemente de la estructura.

La identificación de la infiltración en el puente se logra con una adecuada inspección visual en la cual se analicen los puntos críticos por donde corre el fluido y analizando las partes bajas de la estructura localizando puntos con excesiva humedad, maleza, o materia orgánica concentrada, las manchas en el concreto de los estribos, aletas y pilas de cimentación también son indicios de que hay una infiltración y que no se ha controlado. Por otro lado la infiltración es delicada cuando se trata de estructuras con elementos que presentan grietas pues esta agua transportadas entraran dentro de la grieta provocando una corrosión en el acero de refuerzo, así que se recomienda siempre hacerle un buen seguimiento a la estructura en todos los temas relacionados con el medio ambiente y en especial este que tiene contacto con el agua que es principal enemigo de los elementos de acero. En la foto 23 se observan manchas localizadas en el concreto posiblemente causadas por la infiltración, en la foto 24 se evidencia la infiltración por la junta de dilatación del estribo de la estructura.



foto 23 Presencia de manchas en el concreto y humedades concentradas(DE & FLEXIBLES, s.f.)



foto 24 Contaminación en el concreto de las aletas y materia orgánica (DE & FLEXIBLES, s.f.)



foto 25 Manchas en el concreto de los estribos («MANUAL DE INVENTARIO OBRAS DE PASO», 2009)

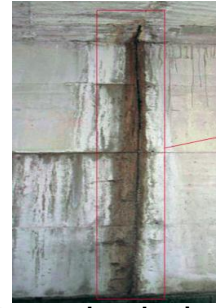


foto 26 Junta con elevado nivel de manchas por infiltración de agua («MANUAL DE INVENTARIO OBRAS DE PASO», 2009)

3.1.6 IMPACTO

El impacto de un cuerpo en una estructura puede generar diversas consecuencias, dependiendo de factores tales como:

- La velocidad
- El tamaño del elemento que impacta
- La resistencia y
- El estado del material que es impactado.

Dependiendo de la magnitud del golpe se pueden provocar daños leves como fisuramiento y descascaramiento o fallas de consideración como propagación de grietas, pérdida de rigidez y colapso de la estructura. En la foto **27** se evidencian impactos por proyectiles los cuales van debilitando la estructura pues se presentan desprendimientos del concreto de recubrimiento.

Normalmente este tipo de fallas son producidas por el impacto de vehículos en la superestructura del puente, por material que transporta el cauce a gran velocidad y que impacta los elementos de la subestructura del puente, o por la detonación de cargas explosivas. En la foto 29 se observa como las vigas de los puentes también se ven afectadas por el impacto de los vehículos, esto puede ser por insuficiencia del galibo o que los vehículos se encuentran transitando con alturas fuera de las permitidas.

La cuantificación de los daños producidos por el impacto de objetos se deberá realizar por el área afectada, excepto cuando se presente en las barandas del puente donde se cuantificará por el número de elementos afectados.(DE & FLEXIBLES, s.f.)



foto 27 Impacto producto de proyectiles(Ray et al., 2007)



foto 28 Perdida de sección por impacto(DE & FLEXIBLES, s.f.)



foto 29 Impacto por insuficiente galibo y acero expuesto. Puente localizado en la calle 26 con cra 3 Bogotá(Muñoz, E. E., 2011)

3.1.7 DEFICIENCIA ESTRUCTURAL

Según un estudio realizado por (Muñoz, E. E., Núñez, F., and Mohammadi, J.,, 2009), algunos puentes de Colombia fallaron por deficiencias en el diseño estructural y especialmente en puentes de estructura metálica. En la Tabla 8 se presentan la lista de los puentes colapsados parcial o totalmente por esta razón con una breve descripción. En la se observa un ejemplo de un puente colapsado por deficiencia estructural en Cartagena (Puente Heredia).

| Nº | FECHA | NOMBRE | DESCRIPCIÓN / CAUSA |
|----|-----------|-----------|---|
| 1 | 20-oct-01 | El Minuto | Puente en concreto, de 16 metros de luz, cuya losa y tres (3) vigas sufrieron una avería importante. Localizado en la carretera San Alberto-La Mata(Ocaña) |
| 2 | 20-oct-01 | Tarra | Puente en concreto, de 18 metros de luz, cuya losa sufrió una avería importante. Localizado en la carretera Ocaña-Alto del Pozo (Ocaña) |
| 3 | 28-nov-00 | Únete | Puente en estructura en acero que falló por segunda vez por deficiencias estructural de las armaduras, como se observa en la foto 30La primera vez falló por socavación en uno de sus estribos. |
| 5 | '1999 | Peatonal | Puente en acero que falló por deficiencias |

| Nº | FECHA | NOMBRE | DESCRIPCIÓN / CAUSA |
|-----------|----------------------|-------------------------------|---|
| | | autopista norte con 122. | estructurales, al no resistir la carga viva que estaban observando una caravana que se dirigía al cementerio del norte. |
| 6 | 4 de octubre de 1998 | Apure sobre el río Chimigüíca | Colapsó cuando pasó un camión con un peso representativo y por su falta de capacidad. Es una falla combinada producto de deficiencias estructurales y sobrecarga (Ver mayor información a continuación). |
| 7 | 15-abr-98 | Recio | Puente en armaduras de acero que falló por el paso de dos (2) tractomulas. Es una falla combinada producto de deficiencias estructurales y sobrecarga (Ver mayor información a continuación). |
| 8 | 18 de enero de 1996 | Purnio | Al fallar el puente Pescadero, gran parte del tráfico se desvió hacia la troncal del Magdalena Medio y sobre esta vía falló otro puente que estaba sobre el río Purnio. (Ver mayor información a continuación). |
| 9 | 7-ene-96 | Pescadero | Puente en arco en acero donde falló unión arco pendolón |
| 10 | 1996 | Sobre el río Sevilla | Puente provisional que se derrumbó cuando sobre él transitaban dos camiones cargados de carbón. Es una falla combinada producto de deficiencias estructurales y sobrecarga (Ver mayor información a continuación). |
| 11 | 20-jun-95 | Heredia | Puente conformados con vigas tipo "Gerber", cuan ménsula falló a cortante |
| 12 | 16-oct-94 | Los Ángeles | Puente en acero que falló por tercera vez por prueba de carga |
| 13 | 5-oct-93 | Samana | Puente que falló por la falta de pasador en uno de sus pendolones |

Tabla 8 Lista de puentes colapsados por deficiencia estructural entre 1986 al 2006(Muñoz, E. E., 2011)



foto 30 Ejemplo de puente colapsado por deficiencia estructural, Puente Heredia (Cartagena) (Muñoz, E. E., 2011)



foto 31 Ejemplo de puente colapsado por deficiencia estructural , Puente Heredia (Cartagena) (Muñoz, E. E., 2011)

En el análisis por las diferentes variables que atacan a la estructura y directamente a los elementos del puente se encuentra la deficiencia estructural que se le pueda encontrar a estos dependiendo de su función específica, la forma en cómo se están comportando y si están siendo afectados por fuerzas externa para las que fueron diseñados, es el caso del contacto con el medio ambiente, todos los elementos llámese vigas, pilas, estribos, aletas, losas, cables, cimentaciones, etc. tienen un diseño estructural para soportar cargas y ciclos repetitivos de carga y soporte de peso propio pero en algunas ocasiones los efectos del medio ambiente y los fenómenos de la naturaleza desatan nuevas variables que los atacan y debilitan de una u otra manera el buen funcionamiento de la estructura como un todo, por estas razones hay que tener en cuenta esta variable dentro del análisis que se haga, no solo de inspección visual si no que a veces es necesario recurrir a inspecciones especiales y estudios especializados de laboratorio para la toma de algunas medidas de resistencia y comportamiento exacto del material estudiado. Cabe resaltar que las deficiencias se presentan de diferente manera si los elementos están compuestos por diferentes materiales, no es lo mismo una falla estructural en un elemento de acero que en un elemento de concreto, más adelante se hará una lista con la relación de algunos tipos de fallas para diferenciar la deficiencia estructural en elementos tanto de acero como de concreto.

Para la identificación de la deficiencia estructural es necesario tener un alto nivel de experiencia en el tema o en su defecto ser especialista en estructuras, así se garantizara que la inspección realizada esta compuesta por datos y calificaciones ciertas sobre el tema, a continuación algunos de los aspectos a tener en cuenta dentro del análisis de la deficiencia estructural de los puentes tanto de concreto como de acero, mixtos o de diferentes tipologías.

Para cada uno de los elementos de un puente el nivel de deterioro puede generar deficiencia pero solo dentro del análisis del elemento individual por esta razón en algunas ocasiones las medidas no son muy agresivas para toda la estructura pero si pueden serlo para el elemento, es el caso de las superficies de rodadura o las barandas, o algún tipo de elemento funcional, estos pueden ser atacados o tener

un nivel elevado de deficiencia pero no están interrumpiendo el funcionamiento adecuado de la estructura desde el punto de vista estructural, ya desde el punto de vista funcional y de seguridad si están afectando el óptimo desempeño.

Deficiencias estructurales representativas en concreto y en acero:

- Grietas en la superficie de los elementos
- Huecos o baches en la rodadura
- Grietas o fisuras de cortante, flexión, torsión y tensión
- Falta de adherencia entre el concreto y el acero
- Deformaciones excesivas en elementos
- Inadecuada colocación del refuerzo
- Elementos muy esbeltos para el tamaño que tienen
- Entre otros



foto 32 Colapso del puente Minneapolis por deficiencia estructural(Thompson, 1993)



foto 33 Colapso por deficiencia estructural en las pilas de acero del puente St. Paul (Thompson, 1993)



foto 34 Grieta a cortante en viga principal de concreto reforzado, con un espesor mayor a 0,6mm(Muñoz, E. E., 2011)

Es importante tener en cuenta que existen algunos daños que pueden ser producidos por deficiencias estructurales de diseño o construcción y estructurales, razón por la cual en la metodología se dividieron los criterios de la variable según la gravedad de los mismos en deficiencias debidos a el proceso constructivo o el diseño y a deficiencias por daños ya ocasionados en el elemento.

3.1.8 VULNERABILIDAD SÍSMICA

La determinación de la vulnerabilidad sísmica en el análisis de puentes de una ciudad o red vial es una necesidad cada vez más latente. Día a día, los programas de atención posterremotos obligan a contar con una buena planificación de los elementos que involucra su desarrollo; siendo los sistemas de transporte de carreteras un aspecto importante a considerar, y dentro de éstos, los elementos de mayor prioridad son los puentes. Por lo anterior, los estudios de vulnerabilidad sísmica de puentes son un tema de interés cada vez mayor.

Los puentes de nuestro territorio en su gran mayoría fueron diseñados y construidos sin códigos o con algún tipo de código que puede llegar a ser obsoleto, por lo tanto es necesario que se haga una revisión de su comportamiento actual para la toma de futuras decisiones sobre mantenimientos y rehabilitaciones.

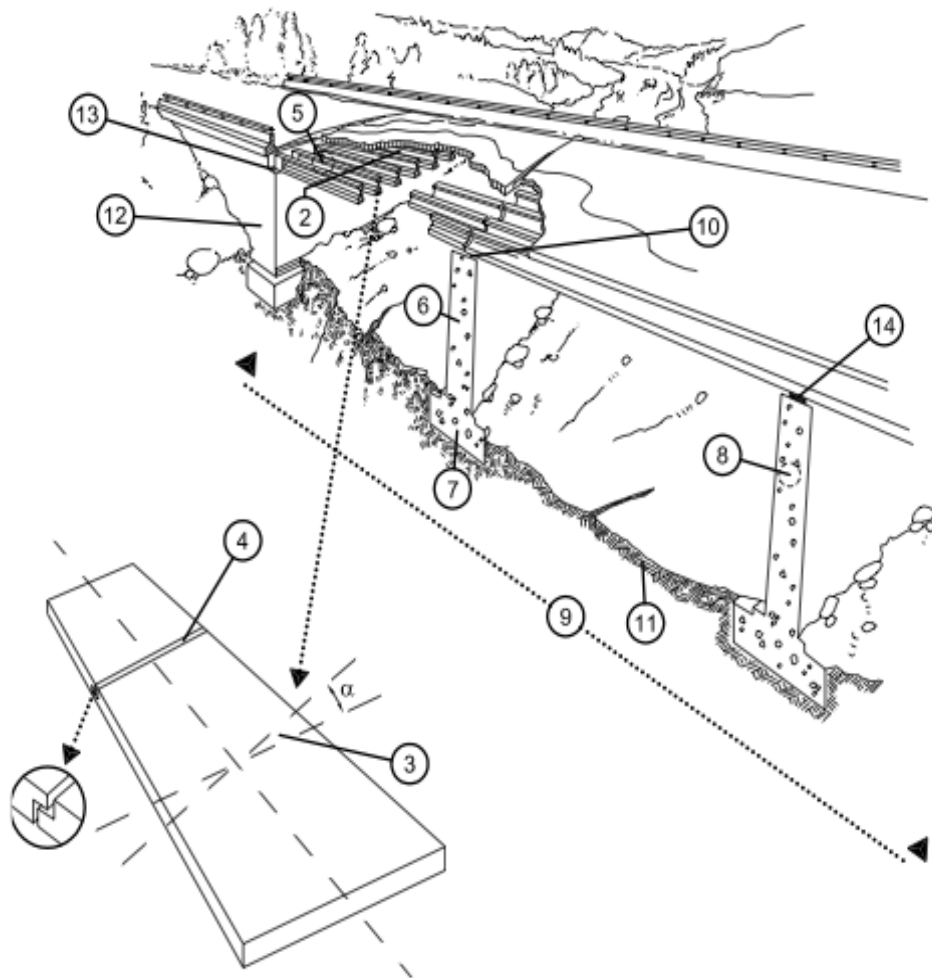
Algunas de las determinaciones principales que tenemos en este documento para determinar que algún elemento se encuentra con una vulnerabilidad sísmica elevada son sus dimensiones, como segundo criterio el estado físico en el que se encuentra o las afectaciones que tenga por el nivel de afectación que alguna de las variables principales le haya propiciado y como última medida es la ubicación de la estructura dentro del territorio colombiano utilizando el Mapa de Amenaza sísmica desarrollado por la NSR 2010. De esta manera y teniendo en cuenta algunos criterios de los elementos se puede determinar si el puente se encuentra en vulnerabilidad sísmica y se determina su priorización de intervención.

En la Figura 2 se presenta un esquema en el cual se representan los elementos principales de una estructura y se señalan los criterios básicos para ser utilizados en la determinación de una posible vulnerabilidad sísmica en un puente.

Los expertos en sus opiniones consideran que para una buena evaluación y mucho más exacta de la vulnerabilidad sísmica hay que tener en cuenta unos criterios principales, como su nombre lo dice son las claves para la identificación, a continuación se listan cada uno de ellos con su respectivo esquema:

- Año de proyecto y construcción del puente
- Tipo de superestructura
- Forma de la superestructura
- Existencia de articulaciones internas
- Material de la superestructura
- Tipo de pila
- Tipo de cimentación
- Material de la pila
- Irregularidad longitudinal de geometría o rigidez
- Longitud de apoyo en pilas
- Tipo de suelo

- Tipo de estribo
- Longitud de apoyo en estribos
- Tipo de aparato de apoyo
- Estado de conservación del puente
- Procedimiento constructivo
- Potencial de licuefacción
- Elementos no estructurales



- | | |
|--|---|
| 1. Año de diseño y construcción del puente | 11. Tipo de suelo |
| 2. Tipo de superestructura | 12. Tipo de estribo |
| 3. Forma de superestructura | 13. Longitud de apoyo en estribos |
| 4. Existencia de articulaciones internas | 14. Tipo de aparato de apoyo |
| 5. Material de superestructura | 15. Estado de conservación del puente |
| 6. Tipo de pila | 16. Procedimiento constructivo de la superestructura (hormigón) |
| 7. Tipo de cimentación | 17. Procedimiento constructivo de las pilas (hormigón) |
| 8. Material de las pilas | 18. Potencial de licuefacción |
| 9. Irregularidad longitudinal en geometría o rigidez | 19. Elementos no estructurales |
| 10. Longitud de apoyo en pilas | |

Figura 2 Criterios para evaluación de vulnerabilidad sísmica (Maldonado Rondón et al., 2002)

3.1.9 SOBRECARGA

Los puentes a nivel mundial son estructuras generalmente utilizadas en carreteras para librar obstáculos como ríos u otro tipo de fenómenos naturales u otra vía que se encuentre en una intersección, y se encuentran diseñados para una solicitaciones de carga determinadas y para soportar cargas de magnitudes

considerables y proyectadas pero en algunos países se encuentran colapsos generados por cargas mayores a las estimadas, esto principalmente se debe a que no se tiene un control de la carga permitida para la circulación dentro de la estructura, o se encuentra que por largo periodo de tiempo la estructura no fue intervenida y se presentaron algunas sobrecargas sobre esta y no fue resistente a dicha solicitación. En el presente documento no se analiza a profundidad ni se hacen estudios de capacidad de carga debido al alcance de la metodología.

La sobrecarga de los puentes puede representarse de dos maneras principales, vertical y horizontalmente.

Sobrecarga Vertical

Un puente debe soportar diversos tipos de carga. En principio, se encuentran el peso propio de la estructura, el de los vehículos que lo transitan (ej: automóviles, camiones, y trenes), y el de los peatones que lo emplean (O'Connor y Shaw, 2002). Cuando se presenta una carga por encima de los niveles permisibles, se tiene la existencia de una sobrecarga, que puede deberse a factores como: el cambio de uso, incremento en los volúmenes de tráfico, la presencia excesiva de nieve, la violación de límites de carga por parte de los usuarios de la estructura, y el cruce de vehículos especiales. En la Foto xxx se muestra un ejemplo de este tipo de problemas (Frías, 2010).



foto 35Colapso de un puente por sobrecarga aproximada de 200(FRIAS,2010)

En virtud de que las sobrecargas verticales tienen una mayor influencia en la superestructura (ej: superficie de rodadura, losas, vigas, cabezales), las fallas que ocasionan, se presentan con mayor frecuencia en esa parte del puente. En contraste, las sobrecargas horizontales afectan principalmente a la subestructura.

Sobrecarga Horizontal

La subestructura de un puente está conformada por: estribos, pilas y muros de contención, los que se deben diseñar para resistir las cargas laterales inducidas por el suelo y la presión hidrostática (AASHTO, 2002). Adicional a esto, el diseño debe tomar en cuenta el efecto de la sobrecarga horizontal en la subestructura,

que puede incluir: el peso propio del o de los muros de contención, los efectos de contracción debidos a variaciones de temperatura, y las cargas sísmicas actuantes.

Otro tipo de sobrecargas en la misma dirección son: el flujo del cauce del río debajo de la estructura que puede manifestarse tanto en la base como en la superestructura en caso de inundaciones extraordinarias; sobrecargas generadas por el frenado de los vehículos, impactos de automóviles, barcos y objetos arrastrados a lo largo del cauce, fuerzas centrífugas en puentes curvos, y viento (O'Connor and Shaw, 2002).

3.2 VARIABLES EXTERNAS

Son aquellas variables que afectan el puente pero no de una forma estructural si no que están referidas a las dimensiones, al uso de la estructura, al año de su construcción, la región donde se encuentra ubicado, las zonas de inundación registradas en el territorio, las zonas de vulnerabilidad sísmica, etc. Por estos fenómenos externos a una inspección visual de los elementos del puente se debe tener una ponderación y calificación de importancia a la hora de priorizar la intervención.

Dentro de la metodología para la evaluación de puentes las variables externas son utilizadas para priorizar el puente con respecto a otros puentes del sistema, de ahí la importancia de caracterizarlas y poder contar con criterios afines entre los diferentes puentes para la calificación final, a continuación se explica cada una de las variables que se tuvieron en cuenta para la elaboración de la metodología. Las variables seleccionadas fueron:

3.2.1 AÑO DE CONSTRUCCIÓN

Dentro del proceso de inspección y calificación manejado en esta tesis de grado se plantearon una serie de variables externas a la estructura desde el punto de vista del estado físico y conservación por mantenimiento de los componentes, y se habló de algunos criterios a tener en cuenta dentro de la importancia y la necesidad de inversión entre ellos está el año de Construcción de la estructura, pues se hace pertinente tenerlo en cuenta ya que para nuestro territorio el código que rige el adecuado diseño de los puentes se implementa a partir del año 1995, esto da pie para pensar en la necesidad de rehabilitar los puentes anteriormente construidos o de hacerles los estudios pertinentes para analizar su estado actual con respecto del código que los rige como estructuras debidamente diseñadas.

Adicional a esto, el año de construcción tiene peso de importancia porque dependiendo del año de diseño hay unas proyecciones del tráfico las cuales no son iguales a las de la etapa de diseño, incluso en algunos ni se tiene en cuenta el promedio del tráfico para su diseño y construcción. A partir de este supuesto que los puentes ahora tienen un alto riesgo de colapsar por su antigüedad pues se les practica el análisis de inspección visual y en algunos casos especiales para

determinar su buen comportamiento ante las cargas y los factores naturales a los cuales están sometidos.

Las condiciones climáticas no son las mismas, las cargas no son las mismas, la frecuencia de tráfico no es la misma, los sismos a los que han sido sometidos le han perjudicado su diseño, si se trata de puentes ubicados para librar obstáculos como ríos en algún momento han sufrido crecientes, por ende impactos, socavaciones etc.

Estos entonces son algunos de los argumentos a los cuales se somete la estructura estudiada a la hora de tener en cuenta el año en el cual fue diseñado y construido.

3.2.2 LUZ, ANCHO Y ALTURA DE PILAS O GALIBO

Estas dimensiones de las estructuras (Puentes) se incluyen en el análisis que se hace en la priorización de intervención y tienen peso dentro de la estructura y su condición final debido a que estas dimensiones también con el paso de los años se pueden volver obsoletas o pueden estar generando algún tipo de vulnerabilidad ante fenómenos naturales o cargas de tránsito elevadas.

En el caso de la luz del puente se puede presentar que esta sea de una longitud considerable (aproximadamente mayor a 40 metros entre pilas) y que a partir de este hecho se considere que el puente pueda presentar algún tipo de vulnerabilidad sísmica o deficiencia estructural, cabe aclarar que esta calificación la hace el inspector de campo basado en su experiencia y basado en los criterios teóricos desarrollados en este trabajo para soportar su argumento. Además un puente con una luz considerable es difícil de reparar o de sustituir por uno nuevo, incluso construir un paralelo se hace difícil si la luz es muy elevada (luz de toda la estructura), los costos que acarrea para una entidad ese tipo de inversiones es de altas sumas de dinero, por eso la priorización debe ajustarse a todo este tipo de medidas.

Para el ancho del puente se tienen dos criterios de importancia en la priorización de intervención, el primero de ellos está ligado al tráfico del puente y al diseño geométrico de la vía, pues los caminos están en constante movimiento e intervención y por esta razón la planeación de estos puentes debe estar ligada a futuros niveles de servicio, si hay una doble calzada por ejemplo se necesitaría un puente paralelo o un puente sustituto con mayor capacidad de albergar tráfico y no convertirse el actual en un cuello de botella y además someterse a cargas para las que no está diseñado, por otro lado se maneja el tema económico, como en el caso anterior la luz jugaba un papel importante en la economía por temas de construcción paralela o por temas de intervención, ahora el ancho del puente maneja esa misma medida, de acuerdo a su extensión el puente requiere mantenimientos, rehabilitaciones y/o nuevas adecuaciones que acarrearán costos y esto es tema de discusión para la priorización así como lo era para el tema de la luz.

La consideración para la altura de las pilas y el galibo del puente es un tema de vulnerabilidad sísmica, socavación, asentamientos e impacto. La altura de las pilas se somete a un análisis de vulnerabilidad en el tema de que tan esbeltas pueden llegar a ser y en qué nivel de amenaza se encuentran por dicha medida y por la zona de amenaza sísmica, el tema de socavación va ligado con el tema de asentamientos pues las pilas que están en contacto con el cauce del río están sometidas a cambio de velocidades de crecientes de impactos y por lo general a asentamientos producto de las anteriores, es necesario replantear una evaluación para estimar el estado de estas pues de ellas depende un alto porcentaje de que la estructura se mantenga en pie, y por último el galibo, este se contempla en el caso de no existir las pilas, el puente maneja un galibo que está expuesto a impactos producto de las crecientes o del paso del tráfico, estos impactos someten el puente a fuerzas en dirección diferente a la que están diseñados y además se alteran las características de las vigas, y podría llegar a colapsar en una crecida en la cual su altura sea insuficiente, o en algunos casos la creciente puede sobrepasar el nivel del puente y convertirse en una amenaza para los vehículos que por allí transitan.



foto 36 Altura de pilas, Ancho y luz (U.S. DEPARTAMENT OF TRANSPORTATION, 2006)

3.2.3 TPD, TIPO DE VÍA Y RUTAS ALTERNAS

Estas tres interrogantes dentro del análisis de priorización de los puentes son importantísimas pues juegan un papel desde el mismo momento en que se hace el diseño del puente y a lo largo de toda su vida útil. Las tres variables van ligadas al tráfico en general pero con estas tres ramificaciones que las hace importantes una a una dentro de la estructura, para empezar el tránsito promedio diario (TPD), toma parte en el análisis determinando por su tamaño una de las características principales del diseño para proyectar las cargas a las que estará sometido el puente durante su vida útil y además también para proyectar el tráfico adicional que tendrá con el paso del tiempo, este factor hace que sea necesario tenerlo en cuenta por que debido a su crecimiento se entenderá que la estructura aún está acorde a los proyectado desde la etapa de diseño o que de lo contrario ya está soportando cargas o repeticiones para las que no fue diseñado y llegaría a

pensarse en un punto de obsolescencia de la estructura. El tipo de vía definitivamente va ligado al TPD pues en las vías de mayor importancia circula un número más elevado de tráfico y de características específicas que pueden ser los causales de daño en las estructuras por su peso y dimensiones, y por último las rutas alternas son aquellas vías que se utilizan como redundancia de una red de carreteras las cuales se usan en eventuales acontecimientos como cierres de vía por deslizamientos, o porque son pasos adicionales para entrar a determinado pueblo o localidad, estas variantes a pesar de que en algunos casos están habilitadas para el uso emergente a veces también son de uso frecuente y necesitan de su mantenimiento y supervisión, en el caso de los puentes se mide la importancia de estas desde el punto de vista que si en algún momento el puente está en reparación, o sufrió algún tipo de alteración o colapso pues la variante opera como medio emergente de comunicación entre comunidades.

Desde el punto de vista económico estas tres variables hacen que la estructura sea más importante o menos importante pues de estas tres variables depende que la circulación de mercancías, el desarrollo de regiones y la comunicación de poblaciones este activa, en ocasiones por el paso de olas invernales comunidades quedan incomunicadas y sus productos no pueden ser distribuidos y tampoco llegan productos de otras regiones para su consumo, también en la parte económica es importante estimar que a falta de un buen mantenimiento y supervisión periódica de las estructuras y la vía, los cálculos de los tráficos generados y atraídos se pueden elevar los costos por rehabilitaciones costosas o reconstrucciones de eventuales puentes colapsados.

Desde el punto de vista de proyección es fundamental conocer los tráficos y las mercancías que son usuarios constantes de la estructura pues así se pueden estructurar planes de acción a corto o a largo plazo, el desarrollo de las regiones en nuestro país básicamente se desarrolla a través del transporte carretero y la llegada y salida de mercancías vía carretera.

3.2.4 LÍNEAS VITALES

Las líneas vitales son aquellas vías por las cuales circula algún tipo de servicio público o privado, por medio de tuberías o cables, los puentes como estructuras aliviadoras de obstáculos sirven de soporte para este tipo de líneas, algunos de los servicios que circulan por estas vías son:

- Acueducto y alcantarillado
- Luz
- Gas
- Teléfono
- Otros

En la mayoría de casos en los que se presenta este tipo de fenómeno por lo general los servicios se están llevando de ciudades principales a territorios

aledaños los cuales no cuentan con una fuente propia de producción y se abastecen de las territoriales principales, por esta razón es tan importante mantener en funcionamiento la estructura y que se conserve en buen estado, que no sufra de asentamientos grandes y mucho menos que se presente un colapso inesperado, las inspecciones regulan el mantenimiento y atención de los puentes y hacen una evaluación del estado de las tuberías o vías de conducción se servicios para determinar si están en peligro de sufrir algún tipo de falla, así entonces se dictamina la importancia que tienen las líneas vitales sobre las estructuras, esta es una variables ajena a la estructura que no hace parte de su funcionalidad, ni de su estado estructural, si se presenta algún daño, la estructura no lo asume directamente, pero si el puente sufre alguna alteración las líneas vitales si se verán afectadas directamente y por consiguiente la comunidad. Es un tema social y ambiental

Hay que tener en cuenta que las estructuras no cuentan en el diseño inicial con un factor de cargas por elementos ajenos a ella, y se debe analizar previo a la conexión de tuberías o cables, si la estructura es apta para soportarlo.

3.2.5 ZONA DE AMENAZA SÍSMICA

De acuerdo al año de construcción de la estructura esta se diseñó pensando en la vulnerabilidad que podría tener en el caso de ser sometida a un evento de sismo. Hay consideraciones a tener en cuenta dentro del análisis de amenaza sísmica y son que las estructuras fueron diseñadas y construidas antes de presentarse el código de puentes de 1995 (Colombia), y a pesar que otras se construyeron bajo las consideraciones del código con el paso de los años los códigos Colombianos de sismoresistencia han actualizado sus zonas de amenaza, determinándolas y señalándolas en el mapa oficial del territorio Colombiano.

Es por esto que se sugiere en esta tesis que se adopte el mapa de amenaza sísmica de la norma actual y vigente (NSR 2010).

Es importante entonces tener claro la ubicación donde se encuentra la estructura y clasificarla como BAJA, INTERMEDIA, ALTA, y así determinar la priorización de intervención.

El considerar que la estructura se encuentra en una zona de amenaza Alta no da pie para reconsiderar el diseño ni para asegurar que la estructura es vulnerable, lo que sí se puede medir es el estado actual correspondiendo a la zona en la que está ubicada, así con el historial y los antecedentes de sismo y el registro del puente se puede concluir si ha sido adecuado y diseñado correctamente o si requiere un refuerzo para mantenerlo en funcionamiento.

Se presenta a continuación el Mapa utilizado en la NSR 2010

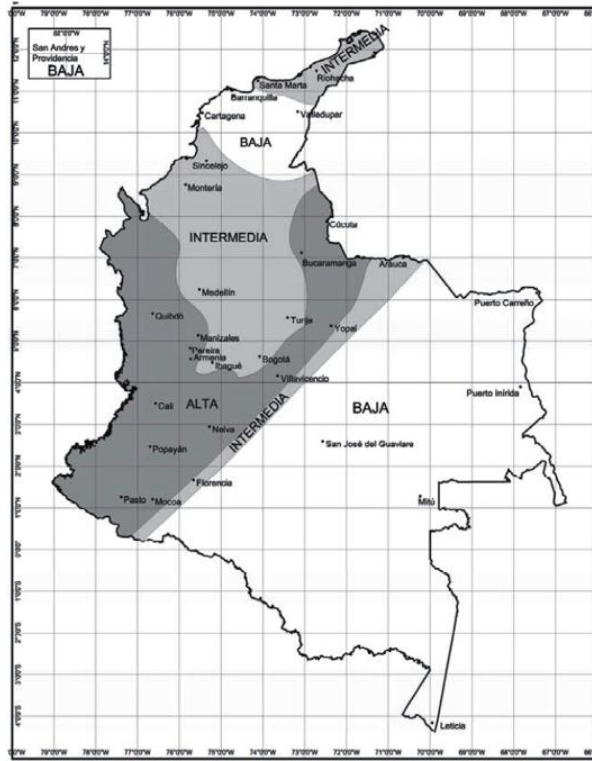


Figura A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de A_h y A_v

Figura 3 Mapa de Amenaza sísmica NSR 2010

3.2.6 ZONA DE INUNDACIÓN

Las inundaciones son, tras los terremotos, el fenómeno natural cuya amenaza tiene una mayor área de influencia en el país tal como muestra el mapa.

Las inundaciones son el desastre natural más frecuente, tanto en los países desarrollados como en los que están en desarrollo y puede tener consecuencias devastadoras, la información disponible a nivel mundial sobre este tipo de fenómenos muestra que a medida que pasa el tiempo somos más vulnerables a estas presentaciones de la naturaleza y que las zonas afectadas cada vez son más grandes y que los fenómenos causan más perjuicios materiales y de vidas humanas.

Los impactos económico y sociales de los desastres por inundaciones también se han venido incrementado significativamente y la tendencia par a las próximas décadas revela que hay un riesgo inminente a sufrir niveles más elevados que los actuales, en Colombia

El incremento constante del número de desastres por inundación y sus víctimas ha hecho que este sea considerado a nivel global como un problema de Salud Pública y, en consecuencia, se hayan establecido estrategias y acciones para

limitar sus impactos. En Colombia, y pese a los esfuerzos realizados en el país, los desastres por inundaciones han causado repercusiones importantes en la salud de la población.

A continuación se presenta el Mapa de inundación actualizado a fecha de 2010 en el cual se pueden observar todo el territorio Colombiano con sus correspondientes zonas afectadas, el cual se utilizara para la calificación por priorización al final de esta metodología.

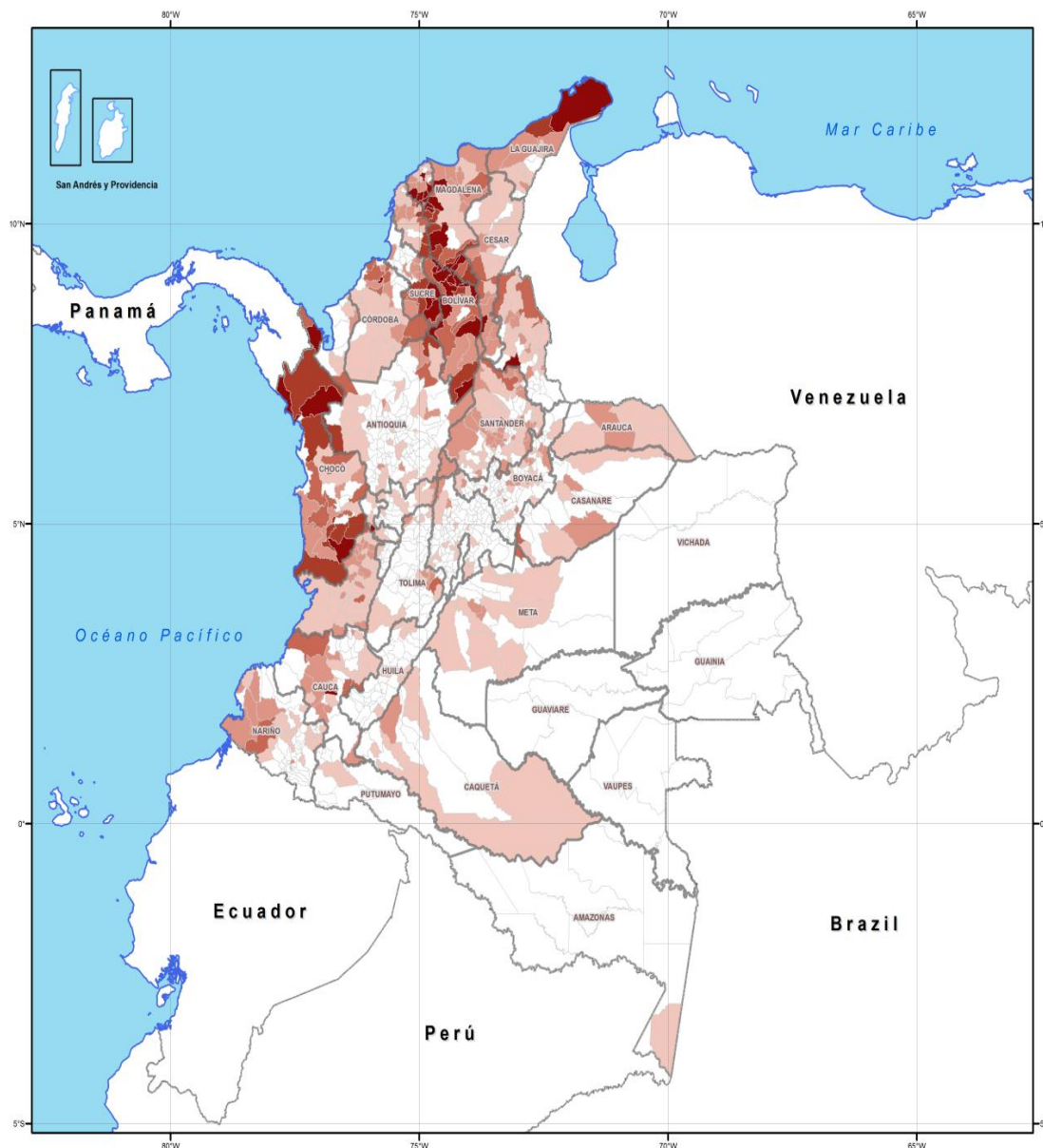


Figura 4 Emergencias invernales en Colombia - Taza de personas afectadas(Sistema Nacional para la atención y prevención de desastres, s.f.) 2010

Para el caso específico de estudio el Departamento de Cundinamarca se presenta el mapa de amenaza por inundaciones actualizado a 16 de Diciembre del 2010

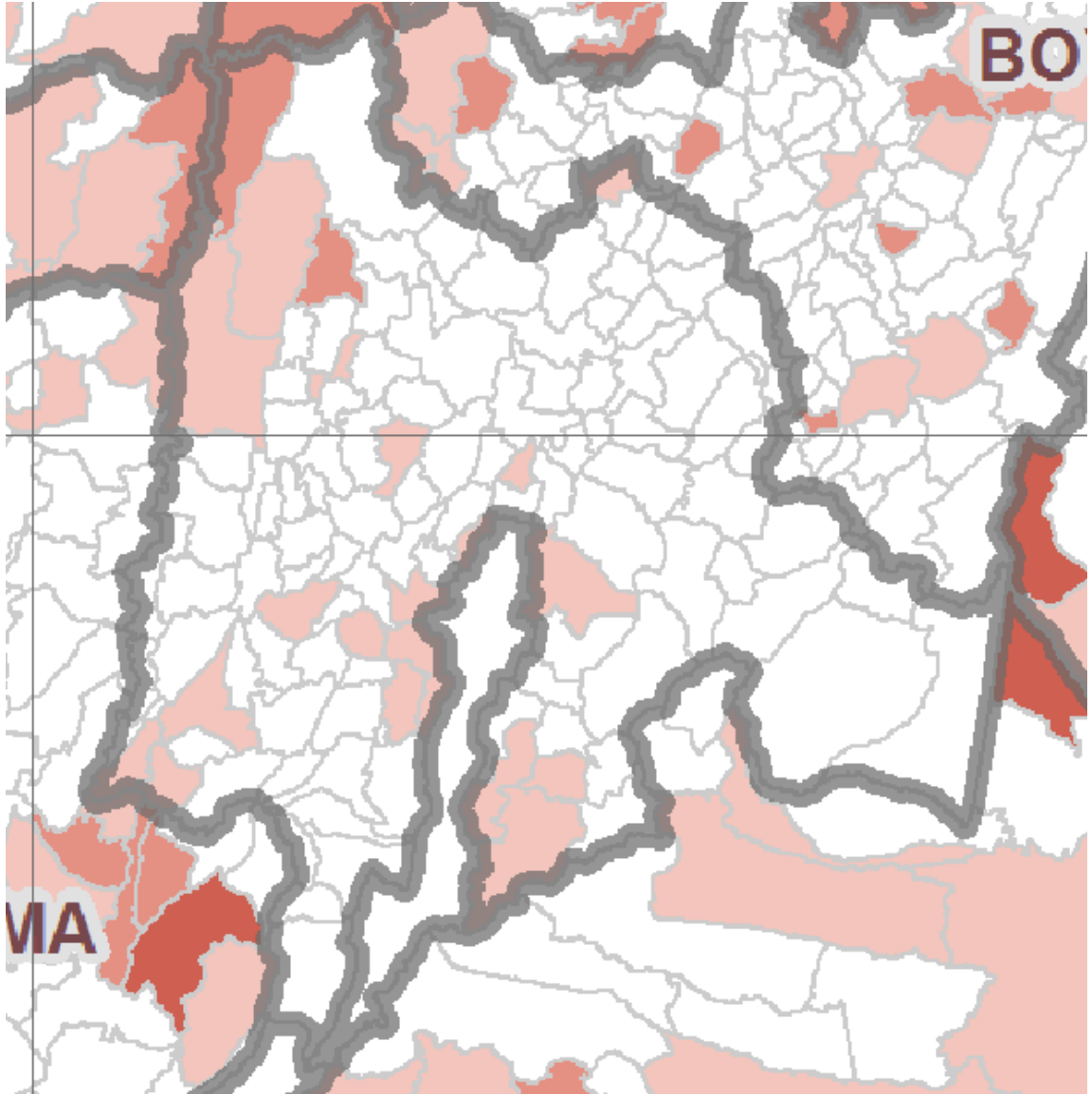


Figura 5 Emergencia invernal en Colombia - tasa de personas afectadas - Cundinamarca(Sistema nacional para la atención y prevención de desastres, s.f.)

4 MÓDULOS PROPUESTOS DEL SISTEMA

Basados en las referencias consultadas (Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca, 1996), (Muñoz, 2011), (Thompson, 1993), (THE IABMAS BRIDGE MANAGEMENT COMMITTEE, 2010), (Lauridsen, Andersen, & Lassen, 1998)(M.T Perú, 2006) y en los fundamentos de las variables explicadas en el numeral anterior, se presentan a continuación los módulos propuestos en la presente tesis. Estos módulos tienen características y un enfoque diferente a los módulos de los diferentes sistemas de administración de puentes del mundo consultados incluyendo el de Colombia (SIPUCOL). Los módulos son los siguientes:

- Módulo de inventario
- Módulo de inspección visual
- Módulo de inspección especial y/o estudios especiales(Se plantean mas no se definen)
- Módulo de mantenimiento y/o rehabilitación
- Modulo aproximado de evaluación económica
- Sistema experto para priorización y toma de decisiones
- Módulo de monitoreo e instrumentación (Trabajos futuros)
- Módulo de archivo (Trabajos futuros)
- Módulos proyectados (Trabajos Futuros)

En la Figura 6 se presenta el organigrama con los módulos del sistema de administración y a continuación se hace una descripción de cada uno ellos y sus fundamentos-

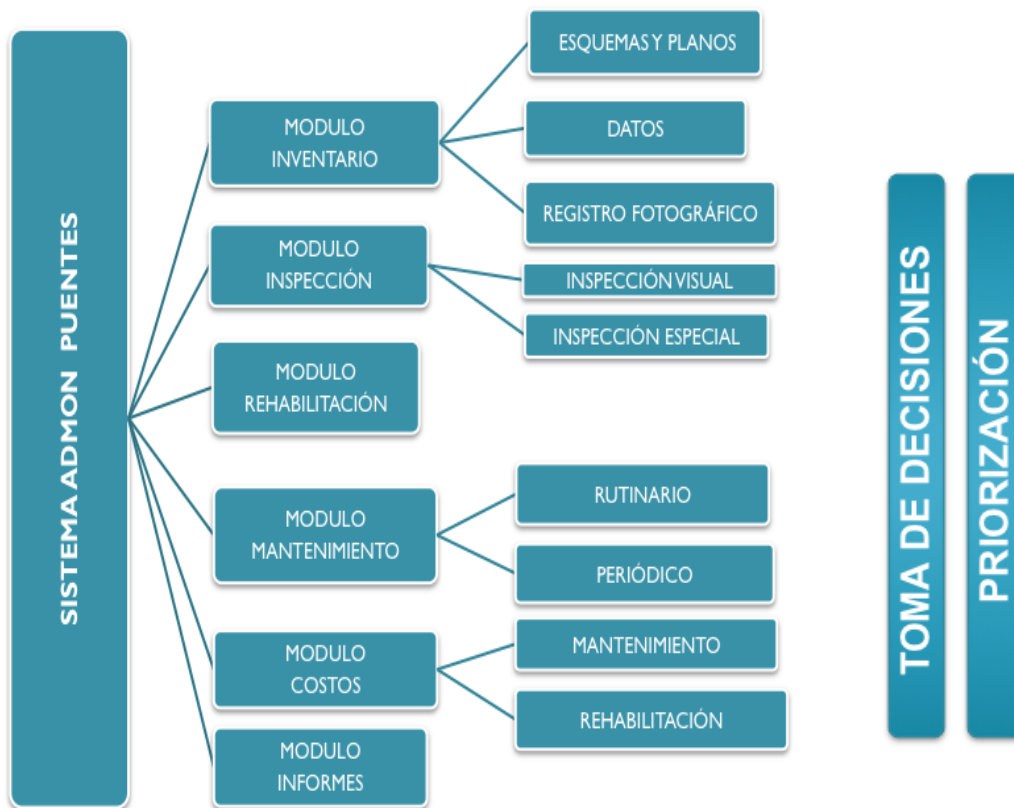


Figura 6 Organigrama General de la metodología

4.1 MODULO DE INVENTARIO

4.1.1 DESCRIPCIÓN

El propósito es contar con información suficiente para tener datos generales (localización, año de construcción, números de luces, longitud mayor, ancho, tipología del tablero, tipología de los estribos, tipología de la pila, etc) de cada uno de los puentes que están a su cargo, lo cual puede servir en el momento de la toma de decisiones relacionadas con la priorización y su intervención.

4.1.2 ESTRUCTURA

Este módulo está dividido en tres partes principalmente. El primero son los datos generales que incluyen:

Identificación y ubicación: Esta parte hace referencia a información sobre la localización de cada puente e incluye:

- Nombre del puente
- Tipología
- Estructuración transversal y longitudinal
- Altitud
- Tipo de Vía
- Departamento
- Coordenadas
- Administrador

Datos generales: Son datos de servicio e incluyen:.

- Tipo de obstáculo
- Tipo de servicio
- TPD
- % de camiones
- Año de construcción
- Intervenciones anteriores
- Zona de amenaza sísmica
- Clasificación en el mapa de inundaciones

Datos geométricos:

Estos datos se basan en el levantamiento geométrico sobre la estructura e incluye:

- Número de carriles
- Anchos de calzada
- Ancho de carril
- Ancho de bordillos
- Longitud total del puente
- Longitud de luz más amplia
- Número de tramos
- Materiales de los elementos
- Ancho de separador, andenes, accesos
- Altura de estribos, Aletas, Pilas

Subestructura

La subestructura la componen los estribos, aletas, pilas y apoyos. Dentro de cada uno de ellos se debe determinar lo siguiente:

- Tipo
- Material
- Cimentación tipo
- Alturas
- Longitud

Barandas, accesos y losas de aproximación

Para cada uno de estos elementos específicos se hace un inventario básico, con las características que los representan, estos elementos hacen del puente una estructura funcionalmente adecuada y cómoda al transitar.

- Tipología
- Material
- Longitudes
- Alineamientos
- Visibilidad

Seguridad Vial y Rutas Alternas

La seguridad vial y las rutas alternas están encaminadas a dar información del tráfico y de la funcionalidad y operación del puente de esta forma, se podrá hacer un análisis de algunos elementos que hagan falta en el puente para mejorar su condición y asegurarle al usuario un óptimo desempeño.

- Presencia de señales de tránsito
- Defensas metálicas
- Señalización vertical y horizontal
- Existencia de rutas alternas
- Longitud de recorrido de las rutas
- Estado de la ruta
- Privada o pública

Niveles de agua

Por último como información adicional de la estructura se tienen los niveles del agua en el momento de la inspección o levantamiento, estos datos ayudaran al inspector a determinar si las dimensiones del puente son las adecuadas, si los niveles han variado mucho con el tiempo o si en momento de la inspección se está presentando alguna obstrucción del cauce.

Observaciones, comentarios y recomendaciones.

Por último el inspector tiene un espacio en el cual se pueden redactar algunas recomendaciones adicionales a la estructura, de esta manera y después del levantamiento él puede dar un primer análisis de la estructura y podrá determinar si es necesario algún tipo de levantamiento más detallado, o si en algún caso especial no tenía acceso a elementos y es necesario hacer una nueva visita.

Con los esquemas El inspector podrá referenciar algunas de las medidas tomadas en campo y le servirá para mostrar la ubicación de los elementos principales o para ubicar el cauce y su ataque a la subestructura del puente. De esta manera con esta proyección de la estructura se puede analizar e identificar también la tipología del puente.

El segundo grupo son las fotografías y el tercer tipo Son de ayuda para que en un momento dado que estén analizando varios reportes.

4.1 MODULO DE INSPECCIÓN VISUAL

4.1.1 DESCRIPCIÓN

El enfoque que tiene el presente módulo es diferente al de los sistemas de administración de puente consultados en el presente trabajo y se basó su diseño en la problemática que tiene los puentes actualmente. Lo anterior se refiere a los daños típicos identificados en los puentes de Colombia basados en las inspecciones visuales o principales realizadas por el INVIAS empleando la metodología de SIPUCOL y que se identificaron en las referencias (Muñoz Edgar y Valbuena Edgar, 2006), (Muñoz, E. E., 2011).

En el módulo de inspección se encuentran las recomendaciones que se deben seguir para llevar a cabo una adecuada inspección visual, se hacen aclaraciones de los criterios necesarios para la toma de datos y calificaciones acerca del estado de los elementos que componen la estructura.

Se recomienda que las inspecciones se lleven a cabo de acuerdo con las periodicidades que recomiende el inspector con base en el deterioro de la estructura. Igualmente se recomienda que las inspecciones sean realizadas por personal calificado y con experiencia en rehabilitación e inspección de puentes, así se logra que en la inspección se obtengan datos más precisos y un análisis de oficina que lleve a resultados y decisiones coherentes y efectivas.

El equipo de seguridad y el equipo de mano es pieza fundamental a la hora de una inspección visual, esto facilita la toma de medidas, la llegada a lugares de difícil acceso y garantiza la seguridad de las personas que realizan la labor, en el ANEXO **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se especifican todas y cada una de estas recomendaciones.

Los criterios de calificación inician desde una calificación de cero (0) hasta una calificación de cuatro (4) siendo esta última la más desfavorable para el elemento en análisis.

4.1.2 ESTRUCTURA

- Personal de inspección
- Equipos o herramientas
- Criterios de calificación

4.1.2.1 Personal de Inspección

Ingeniero Inspector: Ingeniero civil habilitado para el ejercicio de la profesión, con 5 años de experiencia en vías y 3 años como mínimo en diseño, evaluación y/o inspección de puentes, tener conocimiento de los materiales y el comportamiento estructural de sus elementos.

Obligaciones del Ingeniero Inspector:

- a) Organizar la Inspección.
- b) Ejecutar la Inspección.
- c) Preparar el informe pertinente con las recomendaciones Debidamente sustentadas y/o justificadas.

4.1.2.2 Equipos o Herramientas

Para efectuar las inspecciones, se requiere como mínimo, sin ser limitativo, los siguientes equipos y/o herramientas:

- a. Herramientas para Limpieza
 - Cepillo de alambre
 - Correa de herramientas
 - Pala plana
 - Chaleco
 - Botas
 - Gafas
- b. Herramientas para ayuda visual
 - Binoculares
 - Metro
 - Plomada
 - Medidor de grietas
 - Lupa
 - Espejo
 - Tinta
- c. herramientas para documentación
 - cámara fotográfica
 - libreta de campo
 - cámara de video

- d. Herramientas de acceso
 - Escalera
 - Arnés
 - Polea
 - chaleco salvavidas
- e. equipo de señalización
 - conos de plástico
 - cinta
 - triángulos
- f. herramientas varias
 - caja de herramientas
 - botiquín
 - radio GPS
 - linterna
 - martillo



Tabla 9 Elementos principales para la inspección fuente (M.T Perú, 2006)


4.1.3 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

En el presente documento se desarrollaron criterios para determinar el estado de los elementos que componen las diferentes tipologías, los cuales están fundamentados en el análisis del estado del conocimiento del capítulo 2, y los síntomas y características principales de las variables que atacan la estructura.

A continuación se hace la relación de las diferentes preguntas (criterios) de evaluación que se determinaron y utilizaron en este proyecto.

Inicialmente se presenta la tabla donde se relacionan los diferentes elementos de las tipologías y se presenta las variables que los afectan.

Tabla 10 Elementos vrs Variables

| MATRIZ - VARIABLES VS ELEMENTOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------|---------------------|----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|--------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------------------|------------------|------------------------|---------------------|------------------|--------------------------|--------|---|
|  | ELEMENTOS ESTRUCTURALES | | | | | | | | | | | | ELEMENTOS FUNCIONALES | | | | | | | | | | | | |
| | CAUCE | ESTRIBO CONCRETO | ESTRIBO MAMPOSTERIA | ALETAS Y MUROS | VIGAS CONCRETO | VIGAS ACERO | LOSAS CONCRETO | LOSAS ACERO | PILAS CONCRETO | PILAS ACERO | APOYOS | CABLES, PENDOLONES Y TIRANTES | ARCOS METALICOS | ARMADURA METALICA | ARCOS EN CONCRETO | ARCOS EN MAMPOSTERIA | ANCLAJES DE CONCRETO | BARANDAS CONCRETO | BARANDA METALICA | SUPERFICIE DE RODADURA | ANDENES Y BORDILLOS | JUNTAS EXPANSION | CONOS, TALUDES Y ACCESOS | DRENES | |
| | CA | EC | EM | AYM | VC | VA | LC | LA | PC | PA | AP | CPT | AM | ARM | AC | AMA | ANCO | BC | BM | SR | AYB | JE | CTA | DR | |
| SOCAVACION | X | X | X | X | | | X | X | X | X | X | | | | | X | | | | | | | | | |
| CORROSION EN CONCRETO | | X | | X | X | | X | | X | | | | | | X | | X | X | | | X | | | | |
| CORROSION EN ACERO | | | | | | X | | X | | X | X | X | X | X | | | | | X | | | X | | | |
| FATIGA | | | | | | X | | X | | X | X | X | X | X | | | | | X | | | X | | | |
| VULNERABILIDAD SISMICA | | X | X | X | | | | | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | | X | | |
| DEFICIENCIA ESTRUCTURAL | | X | | X | X | | X | X | X | X | X | | | | X | X | X | X | X | X | X | | X | | |
| IMPACTO | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| INFILTRACION | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | X | X | X | | | X | X | X | X | X | X |

Criterios de evaluación por variables

SOCAVACIÓN

| COD | CRITERIO |
|------------|---|
| SOC 1 | Hay evidencia de a gradación y degradación en cauce del río? |
| SOC 2 | Hay evidencia en el cauce, aguas arriba y aguas abajo que la corriente arrastre Sedimentos, Escombros o Vegetación? |
| SOC 3 | Existen obstáculos tales como estructuras, arboles, cercas, islas o barras que estén afectando el curso del cauce y su caudal? |
| SOC 4 | Se observan marcas o evidencias que muestren la altura que tuvo el nivel del agua durante inundaciones anteriores, con respecto al galibo del puente? |
| SOC 5 | Hay evidencia de los fenómenos como estancamiento, remolinos o patrones de flujo cerca de pilas y/o estribos? |
| SOC 6 | Que consecuencias trae para el puente las operaciones mineras de grava o arena activas en el cauce? |
| SOC 7 | El cauce está siendo afectado por la existencia de confluencia con otras corrientes? |

| COD | CRITERIO |
|------------|---|
| SOC 8 | Las afectaciones que ha sufrido el cauce hacen que se presenten corrientes dirigidas a los estribos, muros y aletas del puente? |
| SOC 9 | El dimensionamiento del puente (galibo, luz y forma de pilas) generan obstrucción del flujo? |
| SOC 10 | Qué nivel de obstrucción se está generando en las márgenes de inundación por el crecimiento de vegetación o presencia de árboles? |
| SOC 11 | Las estructuras guía o de protección cumplen la función de reducir la erosión de las márgenes? |
| SOC 12 | Hay evidencia de desbordamiento en las vías de acceso del puente? |
| SOC 13 | Se observa exposición de la cimentación del puente? |
| SOC 14 | Hay evidencia de rotación o inclinación en las pilas, estribos o aletas? |
| SOC 15 | Con respecto al tipo de material del lecho del rio, que tan susceptible es a la socavación? |

CORROSIÓN EN CONCRETO

| COD | CRITERIO |
|------------|--|
| CC1 | Se observa desprendimientos, de laminación U hormigoneo en el concreto de recubrimiento del refuerzo? |
| CC2 | Se evidencia que la infiltración proveniente de las juntas de expansión, juntas de construcción o drenes está generando deterioro en el concreto de recubrimiento? |
| CC3 | Hay acumulación de maleza, materia orgánica o basura que esté afectando la estructura? |
| CC4 | Se evidencian grietas paralelas al refuerzo que pudieran ser producto de la pérdida de sección e hinchamiento de dicho refuerzo producto de la corrosión (carbonatación, cloruros, etc)? |
| CC5 | Se evidencian manchas de óxido, eflorescencia, gel de exudación o decoloración en la superficie del concreto? |
| CC6 | Se presenta concreto fofo (sonido hueco al golpe del martillo).? |

| COD | CRITERIO |
|------------|---|
| CC7 | Se observa deficiencias en la durabilidad del concreto, por carbonatación o baja de pH?. Esto ha generado que el recubrimiento del concreto de este componente no proteja adecuadamente el acero de refuerzo y este tenga problemas de corrosión. |

CORROSIÓN EN EL ACERO

| COD | CRITERIO |
|-----|---|
| CA1 | Se observan aguas estancadas o materia orgánica por falta de mantenimiento preventivo o rutinario, que pueden producir fenómenos de oxidación y/o corrosión que afectan la capacidad de la estructura metálica? |
| CA2 | Hay ausencia de tornillos o remaches en la estructura quedando expuestas las áreas perforadas de los elementos de soporte? |
| CA3 | Existe contacto entre dos metales con diferentes avances de corrosión? |
| CA4 | Cual es el estado de la pintura en los elementos metálicos del puente? |
| CA5 | Cuál es el nivel de las manchas asociadas a corrosiones local o generalizada con condiciones homogéneas o picaduras? |
| CA6 | Existe pérdida de sección en los elementos de acero producto de la corrosión? |
| CA7 | El entorno y las condiciones ambientales son agresivas y pueden tener un alto grado de afectación en los elementos estructurales? |

FATIGA

| COD | CRITERIO |
|------------|--|
| FA1 | Se observa levantamiento o rotura de la pintura en el componente? |
| FA2 | Cuál es el estado de ángulos, soportes, articulaciones, uniones soldadas, atornilladas o remachadas especialmente en elementos sometidos a tracción? |
| FA3 | Existe pérdida de sección en pines, pasadores o elementos estructurales? |
| FA4 | Se observa apertura y cierre de grietas o fisuras debido al paso de vehículos por el puente? |
| FA5 | Como es la calidad de soldaduras en especial en sitios con cambios de sección, que estén sometidos a tracción? |
| FA6 | Existen grietas en elementos perforados o sometidos a tracción? |

IMPACTO

| COD | CRITERIO |
|------|---|
| IMP1 | Se observa fisuramiento o descascaramiento en la estructura provocado por golpes de vehículos, material transportado por el rio etc.? |
| IMP2 | Hay perdida de sección de elementos estructurales generados por el impacto de vehículos o rocas? |
| IMP3 | Se observa acero expuesto o discontinuidad del acero de refuerzo debido a impactos? |
| IMP4 | Existen deformaciones en los elementos por impacto? |

INFILTRACIÓN

| | |
|------|---|
| INF1 | Cual es el estado de las juntas de construcción y/o juntas frías? |
| INF2 | Hay presencia de infiltración a través de las juntas de expansión? |
| INF3 | Se evidencian depósito de agua y materia orgánica que pueda afectar el elemento? |
| INF4 | Se evidencia ausencia, mala ubicación, estado o características de los drenes que pueden afectar la durabilidad de la losa y/o las vigas? |
| INF5 | Se observa deterioro del concreto de las losa en el voladizo del tablero, producido por la disposición inadecuada o falta de los drenes? |

VULNERABILIDAD SÍSMICA

| COD | CRITERIO |
|--------------|--|
| V. SÍSMICA 1 | La longitud de los asientos de los apoyos de las vigas es adecuada para el puente? |
| V. SÍSMICA 2 | La forma y dimensiones de los apoyos es adecuada? |
| V. SÍSMICA 3 | Existe restricción transversal (topes antisísmicos) y estos son adecuados en tamaño, forma y característica? |
| V. SÍSMICA 4 | Existen vigas diafragma en los apoyos del puente? |
| V. SÍSMICA 5 | Se observan anclajes verticales en los apoyos? |
| V. SÍSMICA 6 | El puente es recto o curvo y que tanto puede afectar este componente? |
| V. SÍSMICA 7 | Que tan pronunciado es el ángulo de esviajamiento y está afectando este componente? |

| COD | CRITERIO |
|--------------|---|
| V. SÍSMICA 8 | Hay presencia de rotación y/o asentamiento del elemento? |
| V. SÍSMICA 9 | El tipo de material de cimentación es susceptible a licuefacción (suelos arenosos o blandos)? |

DEFICIENCIA ESTRUCTURAL

| COD | CRITERIO | |
|------------|---|-------------|
| DEF. 1 | Se observan grietas en la superficie de la capa de rodadura de tipo piel de cocodrilo? | DAÑO |
| DEF. 2 | Se observan huecos o baches en la superficie de rodadura? | |
| DEF. 3 | Existen asentamientos en los terraplén de acceso? | |
| DEF. 4 | Se observa desprendimiento de agregados de la capa de rodadura? | |
| DEF. 5 | Se observa refuerzo principal (longitudinal o transversal) expuesto que puede sufrir corrosión y en un futuro tener una | |

| COD | CRITERIO | |
|---------|---|--------------|
| | reducción de su sección transversal? | |
| DEF. 6 | Existen deformaciones en los apoyos que a su vez estén produciendo grietas? | |
| DEF. 7 | Se evidencia una deformación excesiva en el centro de la luz del tablero del puente combinada o no con vibración excesiva? | |
| DEF. 8 | Existe presencia de grietas o fisuras por flexión o tensión pura en el centro de la luz de las vigas simplemente apoyadas y/o cerca a los apoyos en vigas continuas (parte superior) con espesores que representan falta de capacidad de carga? | CONSTRUCCIÓN |
| DEF. 9 | Hay presencia de grietas o fisuras por cortante cerca a los apoyos de las vigas con espesores que representan una falta de capacidad de carga? | |
| DEF. 10 | Deficiencias estructurales provenientes de defectos constructivos tales como : inadecuada colocación del refuerzo, descimbrado inadecuado, ausencia o mala protección y curado del concreto, falta de control de | |

| COD | CRITERIO | |
|---------|--|--|
| | calidad en los materiales, recubrimiento inadecuado y/o construcción inadecuada de juntas frías? | |
| DEF. 11 | Hay presencia en algunas zonas que el refuerzo es liso y esto puede generar inadecuada adherencia entre materiales? | |
| DEF. 12 | Se observan grietas de las láminas por falta de capacidad? | |
| DEF. 13 | Hay falla por aplastamiento del concreto de la pila en la zona de apoyos, por la falta de capacidad de soportar este tipo de cargas? | |
| DEF. 14 | Se observa un inadecuado diseño, donde el componente no está en la capacidad de soportar la cargas sísmicas ni las cargas verticales provenientes de la superestructura del puente? Esto se manifiesta por medio de grietas o fisuras estructurales? | |

SOBRECARGA

| COD | CRITERIO |
|------------|---|
| SOB 1 | Se evidencian deflexiones y deformaciones excesivas al paso de vehículos sobre el puente. |
| SOB 2 | Existen estaciones de pesaje en la vía sobre la cual está ubicado el puente? |

4.1.4 NIVELES DE IMPORTANCIA

Para cada una de los criterios se desarrollaron 3 niveles de importancia, que varían de acuerdo con el impacto que pueda generar, sea de tipo estructural, no estructural o funcional.

| Niveles | Peso(%) |
|---------|---------|
| 1 | 1 |
| 2 | 0,8 |
| 3 | 0,5 |

Ejemplo de los niveles de importancia en los criterios de evaluación basados en su importancia. Viga de concreto

- 1 Existe presencia de grietas o fisuras por flexión o tensión pura en el centro de la luz de las vigas simplemente apoyadas y/o cerca a los apoyos en vigas continuas (parte superior) con espesores que representan falta de capacidad de carga?



- 2 Se observan desprendimientos, hormigonero o deterioro en el concreto producto de la infiltración?



- 3 Hay acumulación de maleza, materia orgánica o basura en este componente que esté afectando la estructura?



De esta manera una vez inspeccionado el elemento y calificado su estado, se ponderan en un reporte donde se encuentran las calificaciones por componente, las cuales se afectan por el nivel de importancia respectivo, se calcula el promedio de estos valores para determinar la calificaciones por elemento, de igual forma se puede determinar el promedio por variable, con este promedio se valorar las calificaciones de todas las variable en todos elementos y se toma el valor más desfavorable.

4.1.5 REPORTES

| CALIFICACIÓN PROMEDIO POR VARIABLE ASOCIADA A LA ESTRUCTURA | |
|--|-------------|
| SOCAVACIÓN | 0,95 |
| CORROSIÓN EN CONCRETO | 2,06 |
| CORROSIÓN EN ACERO | 1,95 |
| FATIGA | 1,67 |
| VULNERABILIDAD SÍSMICA | 0,85 |
| DEFICIENCIA ESTRUCTURAL | 1,33 |
| IMPACTO | 0,96 |
| INFILTRACIÓN | 1,58 |
| CALIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA | 2,06 |

4.2 MODULO DE INSPECCIÓN ESPECIAL Y/O ESTUDIOS ESPECIALES

4.2.1 DESCRIPCIÓN

En el momento de efectuar las inspecciones de campo dentro de los puntos de análisis se encuentra presente la posibilidad que el inspector dentro de su capacidad profesional y técnica y su amplio conocimiento del tema requiera presentar algunos estudios especiales para así tener certeza de la calificación otorgada al estado del elemento, o en otros casos el inspector requiere de inspecciones especiales pues se le dificulta el acceso al elemento por ejemplo hay ocasiones en las cuales los niveles de agua estar por encima del nivel normal y se hace difícil ver el lecho del rio, o los materiales transportados, o las cimentaciones de las pilas y estribos, adicional a esto se hace necesario en algunas oportunidades determinar la velocidad del flujo, o el pH del agua si el puente está salvando un obstáculo de cauce. Es por estas razones y más que se hace necesario recurrir a inspecciones especiales y estudios especializados en las áreas de difícil acceso o que necesiten de laboratorios para la toma de datos exactos.

Algunos de los estudios y de las inspecciones que se realizan a los elementos varían dependiendo el material, la forma, el comportamiento físico o la misma apariencia a la hora de hacer la inspección visual, en el caso de los aceros la corrosión es uno de los fenómenos más característicos que se presentan pero la determinación de su nivel o la incidencia de esta en la estructura a simple vista no podría ser totalmente definida.

A continuación se listan algunas de las inspecciones y estudios que se sugieren para la determinación de la calificación del estado de los elementos.

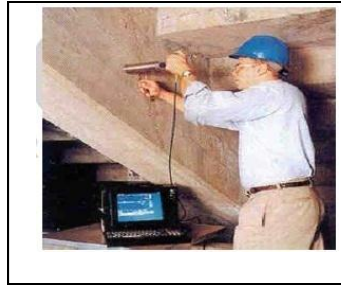
| | |
|--|------------------------------------|
| Niveles de corrosión en concreto | Velocidad de pulso ultrasónico |
| Recubrimiento de concreto en elementos de concreto reforzado | Inspección radiográfica |
| Contenido de cloruros | Tomografía asistida por computador |
| Mapa de contorno de corrosión | Tintas de penetración |
| Toma de núcleos | Medidas de humedad |
| Reactividad alcalina de agregados | Pruebas de carga |

Ver ANEXO A

REPORTES

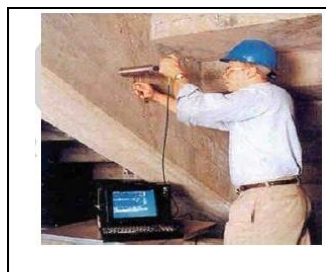
Para los reportes de las inspecciones especiales recomendadas se maneja en esta metodología una matriz en la cual se pueden encontrar los diferentes elementos de cada tipología, y su relación de acuerdo a la necesidad de inspecciona o estudio recomendado, cabe aclarara que para efectos de este trabajo de tesis únicamente se mencionan que tipo de estudios se podrían llegar a necesitar y de qué forma podrían llegar a realizarse. A continuación se relaciona la matriz base en la cual se encuentran todos los elementos y sus inspecciones especiales.

Tabla 11 Inspecciones especiales vrs elementos



| | | | CARBONATACIÓN O BAJA DE PH | CONTENIDO DE CLORUROS | ATAQUE DE SULFATOS | MAPEO PARA POTENCIAL ELECTROQUIMICO | RESISTIVIDAD | POROSIDAD | MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN | ENSAYO DE MOD. ELAST- EXTRAC. NUCLEOS | PRUEBA CAPO | PRUEBA ESCLEROMETRO | PRUEBA DE PULSO ULTRASONICO | PRUEBA DE ADHERENCIA | LEV. GEOMETRICO, LOC. DE REFUERZO | ESPEJOR REMANENTE DE ACERO | MEDIDOR DE ESPESOR DE PINTURA | ENSAYO DE TENSIÓN | ENSAYO DE CONTENIDO QUIMICO | ENSAYO DE FATIGA | ESPEJOR DE SOLDADURA | |
|-------------------------|-------------------------------|-----|----------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------|-----------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|---|
| | | | IE 1 | IE 2 | IE 3 | IE 4 | IE 5 | IE 6 | IE 7 | IE 8 | IE 9 | IE 10 | IE 11 | IE 12 | IE 13 | IE 14 | IE 15 | IE 16 | IE 17 | IE 18 | IE 19 | IE 20 | |
| ELEMENTOS ESTRUCTURALES | CAUCE | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ESTRIBO CONCRETO | E | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | X | | | | | | | |
| | ESTRIBO MAMPOSTERIA | EM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ALETAS Y MUROS | A | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | X | | | | | | | |
| | VIGAS EN CONCRETO | VC | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | X | | | | | | | |
| | VIGAS ACERO | VA | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X |
| | LOSAS CONCRETO | LC | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | X | | | | | | | |
| | LOSAS ACERO | LA | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X |
| | PILAS CONCRETO | P | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | PILAS ACERO | PA | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X |
| | APOYOS | AP | X | X | X | | | | | | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | CABLES, PENDOLONES Y TIRANTES | CPT | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | |
| | ARCOS METALICOS | ARM | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X |
| ARMADURA METALICA | AM | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X | |
| ELEMENTOS FUNCIONALES | BARANDAS CONCRETO | BC | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | | X | | | | | | | |
| | BARANDA METALICA | BM | X | X | X | | | | | | | | | | | | X | X | | X | | | |
| | SUPERFICIE DE RODADURA | SR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ANDENES Y BORDILLOS | AND | X | X | X | X | X | X | X | X | | X | | | X | X | | | | | | | |
| | JUNTAS EXPANSION | JE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CONOS Y TALUDES | CT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DRENES | D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 12 Inspecciones especiales vrs elementos (continuación)



| | | | TINTAS PENETRANTES | PARTICULAS MAGNETICAS | ENSAYO DE RADIOGRAFIA | ULTRASONIDO | SANIDAD | VERIFICACIÓN DE RAMACHES | VERIF. DE PERNOS Y TORNILLOS | EXTRACCION DE NUCLEOS DE LADRILLO | APIQUE DE CIMENTACION | ENSAYO DE SUELOS | ENSAYO DE REFRACCION SISMICA | ENSAYO DOWN HOLES | ENSAYO INTEGRIDAD DE PILOTES (PIT) | INSTRUMENTACIÓN DE SOC-AVACIÓN | INSTRUMENTACIÓN DE PROPIEDADES DINAMICAS | INSTRUMENTACIÓN DE ELEMENTOS SOMETIDOS A CARGAS VIVAS | RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LADRILLOS | RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS Y CAL | PRUEBA DE CARGA | | |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|---------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------|--|---|--|---|-----------------|---|---|
| | | | IE 21 | IE 22 | IE 23 | IE 24 | IE 25 | IE 26 | IE 27 | IE 28 | IE 29 | IE 30 | IE 31 | IE 32 | IE 33 | IE 34 | IE 35 | IE 36 | IE 37 | IE 38 | IE 39 | | |
| ELEMENTOS ESTRUCTURALES | CAUCE | C | | | | | | | | | X | X | | | | X | X | | | | | | |
| | ESTRIBO CONCRETO | E | | | | | | | | | X | X | | | | X | X | X | | | | X | |
| | ESTRIBO MAMPOSTERIA | EM | | | | | | | | X | | X | | | | X | X | X | X | X | X | X | |
| | ALETAS Y MUROS | A | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | |
| | VIGAS EN CONCRETO | VC | | | | | | | | | X | X | | | | X | X | X | | | | X | |
| | VIGAS ACERO | VA | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | | | | | X | | | X | |
| | LOSAS CONCRETO | LC | | | | | | | | | X | X | | | | X | X | X | | | | X | |
| | LOSAS ACERO | LA | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | | | | | X | | | X | |
| | PILAS CONCRETO | P | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | X | X | X | X | X | X | X |
| | PILAS ACERO | PA | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | | X | | | | X |
| | APOYOS | AP | X | X | X | | | | | X | | X | | | | | | | | | | | |
| | ELEMENTOS FUNCIONALES | CABLES, PENDOLONES Y TIRANTES | CPT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ARCOS METALICOS | | ARM | X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ARMADURA METALICA | | AM | X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BARANDAS CONCRETO | | BC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BARANDA METALICA | | BM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUPERFICIE DE RODADURA | | SR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ANDENES Y BORDILLOS | | AND | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| JUNTAS EXPANSION | | JE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONOS Y TALUDES | CT | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | |
| DRENES | D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4.3 MODULO DE MANTENIMIENTO Y/O REHABILITACIÓN

El mantenimiento de las carreteras en general es de vital importancia para el buen funcionamiento operacional de las mercancías y el crecimiento económico de las regiones, el mantenimiento de puentes es una de las actividades vinculadas a este fenómeno más importantes dentro de la conservación de las redes de carreteras a nivel mundial.

En el ámbito del mantenimiento se puede dividir en dos secciones los mantenimientos periódicos y los mantenimientos rutinarios, la falta de alguno de estos conlleva a diferentes alteración de tipo social, económico y de transporte, de la misma manera que con la falta de mantenimientos se llega a instancias en las que ya es necesario hacer una rehabilitación, aunque estas también se hacen en el momento que algún material es obsoleto o que las especificaciones viales cambiaron o se hace una reconstrucción o ampliación o adecuación de la estructura también pueden darse por la falta de mantenimientos a los elementos que le dan la vida útil a la estructura.

La falta de estos mantenimientos o la ejecución inadecuada de los puentes puede llevar a problemas de funcionalidad y de seguridad incalculables los cuales directamente se reflejan en vidas humanas y en costos para elevados para la entidad administradora de la red vial. Se presentan en este trabajo algunas de las recomendaciones a seguir para determinar en qué momento se deben hacer los mantenimientos, cuáles son sus fundamentos y en qué momento la estructura debe ser intervenida o rehabilitada definitivamente. En algunos casos sustituida por completo.

Se dan fenómenos desde el inicio de la construcción que no son favorables para la estructura y se requiere de vigilancia y seguimiento para conservar su funcionalidad, los materiales sufren deterioros por el clima y por las solicitaciones de carga y los impactos, se requiere una supervisión para mantenerlos en buen estado, el tráfico con el paso del tiempo incrementa su volumen y hace obsoleto el diseño inicial que se tenía para unas solicitaciones de carga iniciales, por último se habla de los fenómenos naturales como crecientes, terremotos, etc. Ver ANEXO A

4.3.1 REPORTE

En el caso de los mantenimientos y las rehabilitaciones se maneja de la misma forma que con las inspecciones especiales, se trabajan matrices para cada intervención y el inspector está en la capacidad de diligenciarlas cada una para determinar al final de la inspección visual as intervenciones que deben realizarse a cada estructura.

Tabla 13 Matriz Mantenimientos rutinarios


| | | |  | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|-----|---|---|---|--------------------------------------|--|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|----------------------------|--|---|
| | | | LIMPIEZA DE SUPERFICIE DE RODADURA (INCLUYE LOSA DE ACCESO) (MR-1) | LIMPIEZA DE JUNTAS DE DILATACIÓN (MR-2) | LIMPIEZA DE BARANDAS EN CONCRETO (MR-3) | LIMPIEZA DE BARANDAS DE ACERO (MR-4) | LIMPIEZA DE ANDENES Y BORDILLOS (MR-5) | LIMPIEZA DE DRENAJES (MR-6) | LIMPIEZA DE LOSA Y VIGAS (MR-7) | LIMPIEZA DE CONOS Y TALUDES (MR-8) | LIMPIEZA DE ALETAS, MUROS DE CONTENCIÓN, PILAS Y ESTRIBOS (MR-9) | LIMPIEZA DE APOYOS (MR-10) | LIMPIEZA DE COMPONENTES DE ACERO (MR-11) | LIMPIEZA Y REMOCIÓN DE OBSTÁCULOS EN EL CAUCE (MR-12) |
| | | | MR1 | MR2 | MR3 | MR4 | MR5 | MR6 | MR7 | MR8 | MR9 | MR10 | MR11 | MR12 |
| ELEMENTOS ESTRUCTURALES | CAUCE | C | | | | | | | | | | | | X |
| | ESTRIBO CONCRETO | E | | | | | | | | | X | | | |
| | ESTRIBO MAMPOSTERIA | EM | | | | | | | | | X | | | |
| | ALETAS Y MUROS | A | | | | | | | | | X | | | |
| | VIGAS CONCRETO | VC | | | | | | | X | | | | | |
| | VIGAS ACERO | VA | | | | | | | X | | | | X | |
| | LOSAS CONCRETO | LC | | | | | | | X | | | | | |
| | LOSAS ACERO | LA | | | | | | | X | | | | | X |
| | PILAS CONCRETO | PC | | | | | | | | | | X | | |
| | PILAS ACERO | PA | | | | | | | | | | X | | X |
| | APOYOS | APY | | | | | | | | | | | X | |
| | CABLES, PENDOLONES Y TIRANTES | CDT | | | | | | | | | | | | X |
| | ARCOS METALICOS | AM | | | | | | | | | | | | X |
| ARMADURA METALICA | ARMM | | | | | | | | | | | | X | |
| ELEMENTOS FUNCIONALES | BARANDAS CONCRETO | BC | | | X | | | | | | | | | |
| | BARANDA METALICA | BA | | | | X | | | | | | | X | |
| | SUPERFICIE DE RODADURA | SR | X | | | | | | | | | | | |
| | ANDENES Y BORDILLOS | AYB | | | | | X | | | | | | | |
| | JUNTAS EXPANSION | JE | | X | | | | | | | | | | |
| | CONOS Y TALUDES | CYT | | | | | | | | X | | | | |
| | DRENES | D | | | | | | X | | | | | | |

Tabla 14 Matriz de mantenimientos periódicos


| | | |  | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|------|---|---|--|---|--|--------------------------------------|--|---|
| | | | REPARACIÓN Y/O REPOSICIÓN DE SELLO DE JUNTAS DE EXPANSIÓN (MP- 1) | PINTURA DE COMPONENTES DE CONCRETO (MP-2) | PINTURA DE COMPONENTES DE ACERO (MP-3) | REPARACIÓN O REPLAZO PARCIAL DE BORDILLOS Y/ ANDENES (MP-4) | CONSTRUCCIÓN, REPARACIÓN O ALARGAMIENTO DE DRENES (MP-5) | PROTECCIÓN DE CONOS Y TALUDES (MP-6) | RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE MURO DE GAVIONES (MP-7) | RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE BOLSACRETOS (MP-8) |
| | | | MP 1 | MP 2 | MP 3 | MP 4 | MP 5 | MP 6 | MP 7 | MP 8 |
| ELEMENTOS ESTRUCTURALES | CAUCE | C | | | | | | | X | X |
| | ESTRIBO CONCRETO | E | | X | | | | | | |
| | ESTRIBO MAMPOSTERIA | EM | | | | | | | | |
| | ALETAS Y MUROS | A | | X | | | | | | |
| | VIGAS CONCRETO | VC | | X | | | | | | |
| | VIGAS ACERO | VA | | | X | | | | | |
| | LOSAS CONCRETO | LC | | X | | | | | | |
| | LOSAS ACERO | LA | | | X | | | | | |
| | PILAS CONCRETO | PC | | X | | | | | | |
| | PILAS ACERO | PA | | | X | | | | | |
| | APOYOS | APY | | | | | | | | |
| | CABLES, PENDOLONES Y TIRANTES | CDT | | | X | | | | | |
| | ARCOS METALICOS | AM | | | X | | | | | |
| | ARMADURA METALICA | ARMM | | | X | | | | | |
| ELEMENTOS FUNCIONALES | BARANDAS CONCRETO | BC | | X | | | | | | |
| | BARANDA METALICA | BA | | | X | | | | | |
| | SUPERFICIE DE RODADURA | SR | | | | | | | | |
| | ANDENES Y BORDILLOS | AYB | | X | | X | | | | |
| | JUNTAS EXPANSION | JE | X | | | | | | | |
| | CONOS Y TALUDES | CYT | | X | | | | X | | |
| | DRENES | D | | | | | X | | | |

Tabla 15 Matriz de actividades de Rehabilitacion



| |  | CAUCE | ESTRIBO CONCRETO | ESTRIBO MAMPOSTERIA | ALETAS Y MUROS | VIGAS CONCRETO | VIGAS ACERO | LOSAS CONCRETO | LOSAS ACERO | PILAS CONCRETO | PILAS ACERO | APOYOS | CABLES, PENDOLONES Y TIRANTES | ARCOS METALICOS | ARMADURA METALICA | BARANDAS CONCRETO | BARANDA METALICA | SUPERFICIE DE RODADURA | ANDENES Y BORDILLOS | JUNTAS EXPANSION | CONOS Y TALUDES | DRENE |
|-------|---|-------|------------------|---------------------|----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|--------|-------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-------|
| RH 1 | CAMBIO DE PAVIMENTO ASFALTICO (RH- 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| RH 2 | CAMBIO DE PAVIMENTO DE CONCRETO RÍGIDO (RH-2) | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| RH 3 | TRATAMIENTO SUPERFICIAL (RH-3) | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| RH 4 | REPARACIÓN DE PAVIMENTO (RH-4) | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| RH 5 | OTRA SUPERFICIE DE RODADURA (RH-5) | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| RH 6 | REPARACIÓN DE JUNTA (RH-6) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| RH 7 | CAMBIO DE JUNTA DE ACERO (RH-7) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| RH 8 | CAMBIO DE GOMA ASFÁLTICA (RH-8) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| RH 9 | OTRO (RH-9) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| RH 10 | CAMBIO TOTAL DE ANDÉN Y/O BORDILLO (RH-10) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| RH 11 | REPARACIÓN DEL CONCRETO (RH-11) | | X | | X | X | | X | | X | | X | | | | X | | X | X | | | |
| RH 12 | REPARACIÓN DE BARANDAS EN CONCRETO (RH-12) | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | |
| RH 13 | REPARACIÓN DE BARANDAS DE ACERO (RH-13) | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| RH 14 | CAMBIO DE BARANDA DE CONCRETO (RH-14) | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | |
| RH 15 | CAMBIO DE BARANDA DE ACERO (RH-15) | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| RH 16 | RELLENAR (RH-16) | | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | X | |
| RH 17 | REPARACIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN (RH-17) | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | X | |
| RH 18 | PROTECCIÓN DE CONOS DE DERRAME (RH-18) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | |
| RH 19 | CONSTRUCCIÓN DE CUNETAS (RH-19) | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | X | |
| RH 20 | ENCAMISADO DE CONCRETO (RH-20) | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | |

Tabla 16 Matriz actividades de rehabilitación (continuación)

| |  | CAUCE | ESTRIBO CONCRETO | ESTRIBO MAMPOSTERIA | ALETAS Y MUROS | VIGAS CONCRETO | VIGAS ACERO | LOSAS CONCRETO | LOSAS ACERO | PILAS CONCRETO | PILAS ACERO | APOYOS | CABLES, PENDOLONES Y TIRANTES | ARCOS METALICOS | ARMADURA METALICA | BARANDAS CONCRETO | BARANDA METALICA | SUPERFICIE DE RODADURA | ANDENES Y BORDILLOS | JUNTAS EXPANSION | CONOS Y TALUDES | DRENES | |
|-------|---|-------|---------------------------------------|---------------------|----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|--------|-------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------------|---------------------|------------------|-----------------|--------|---|
| | | RH 21 | CAMBIO TOTAL DE LA ESTRUCTURA (RH-21) | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| RH 22 | CAMBIO PARCIAL DE LA ESTRUCTURA (RH-22) | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| RH 23 | NIVELACIÓN (RH-23) | | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RH 24 | RECALCE DE ESTRIBOS, PILAS Y ALETAS (RH-24) | | X | X | X | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | |
| RH 25 | OTRAS OBRAS DE PROTECCIÓN DE ESTABILIDAD ESTRIBOS (RH-25) | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RH 26 | CAMBIO DE APOYOS (RH-26) | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | |
| RH 27 | CORRECCIÓN DE POSICIÓN (RH-27) | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | |
| RH 28 | AMPLIACIÓN DE LA LONGITUD DE APOYO (RH-28) | | X | X | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | |
| RH 29 | REFUERZO (SOBRELOSA) (RH-29) | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| RH 30 | CAMBIO DE LOSA (RH-30) | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| RH 31 | REFUERZO DE VIGA EN CONCRETO O ACERO (RH-31) | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RH 32 | INYECCIÓN DE GRIETAS CON EPOXI/RESINA (RH-32) | | X | | X | X | | X | | X | | | | | | X | | X | X | | | | |
| RH 33 | REPARACIÓN DE COMPONENTES DE ACERO DE VIGAS (RH-33) | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RH 34 | RENIVELAR (RH-34) | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RH 35 | REENCAUSAMIENTO (RH-35) | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RH 36 | PROTECCIÓN DEL CAUCE (RH-36) | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RH 37 | GAVIONES (RH-37) | X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | X | |
| RH 38 | BOLSACRETOS (RH-38) | X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | X | |
| RH 39 | PEDRAPLENES (RH-39) | X | X | X | X | | | | | X | X | | | | | | | | | | | X | |
| RH 40 | TETRÁPODOS O HEXAPODOS (RH-40) | X | X | X | X | | | | | X | X | | | | | | | | | | | X | |
| RH 41 | RECUBRIMIENTO DEL LECHO (RH-41) | X | X | X | X | | | | | X | X | | | | | | | | | | | X | |
| RH 42 | PANTALLA DE TABLETAS O TUBO (RH-42) | X | X | X | X | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | |
| RH 43 | DIQUES EN TUBO (RH-43) | X | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | |
| RH 44 | ESCOLLERAS PARA ESTRIBOS Y PILAS (RH-44) | X | X | X | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | |
| RH 45 | ESPIGONES (RH-45) | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4.4 MODULO APROXIMADO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.4.1 DESCRIPCIÓN

Para cada una de las diferentes intervenciones que se le hacen a una estructura se requiere de recursos ya sean suministrados por el estado o por alguna entidad privada, las cuales están encargadas de administrar y garantizar el perfecto funcionamiento en este caso de las redes viales de una región.

En este documento se lleva a cabo una priorización de intervención de las estructuras de acuerdo a su estado actual y su funcionalidad y localización, para esto se hace indispensable el uso del inventario y las correspondientes inspecciones para así con esos datos llegar a estimar que tipo de mantenimiento o rehabilitaciones es necesario practicarle a determinada estructura.

Para este caso de análisis se realizó un libro base en el cual se encuentran los precios unitarios base con los que se pueden intervenir los puentes tanto en mantenimientos como en rehabilitaciones , el funcionamiento de este libro comienza por unos datos generales de la estructura los cuales acompañaran los encabezados de cada precio unitario y el formulario de presupuesto oficial del puente, seguido de estos datos iniciales se trabajan los insumos, los costos de manos de obra y distancias, todos estos representan las materias primas con las que se realizan los precios unitarios, estos se dejaron aparte de los precios por que el sistema está desarrollado para cualquier región del territorio Nacional y en cada una de las regiones se manejan precios diferentes para los materiales y hay diferentes precios para la mano de obra y las distancias de las fuentes de materiales son diferentes esto hace más exacto el cálculo por estructura. Una vez teniendo los precios de los insumos se calculan los precios unitarios y con estos el libro base del formulario oficial, así queda consignado el libro para que el inspector únicamente suministre las cantidades de las intervenciones a realizar y el formulario se encargara de generar el valor aproximado de la intervención, es así entonces como con la priorización de intervención y los datos económicos de cada una de ellas se optimiza el manejo de recursos de una entidad en un territorio en el tema de Administración de puentes. Ver libro base en ANEXO B

4.4.2 ESTRUCTURA

El módulo de costos aproximados de la intervención de este tipo de estructuras está compuesto por los siguientes subgrupos de análisis:

- Debe haber una matriz por tipo de intervenciones
- Insumos y manos de obra de la región donde se encuentra la estructura
- Precios unitarios de las intervenciones
- Cantidades de la intervención
- Costo final

Insumos de obra de la región donde se encuentra la estructura, precios unitarios, cantidades y costo final.

Las estructuras se encuentran en diferentes regiones del país y por esta razón es fundamental que se manejen los precios de cada localidad para garantizar que las obras no van a tener costos elevados de intervención o costos muy por debajo de lo real, el formulario base que se generó para este análisis se compone inicialmente de ese cuadro donde se hace el diligenciamiento inicial de los precios del mercado local y así se proyectan los unitarios y el valor real de la intervención. Los precios unitarios entonces ya con los rendimientos ajustados y con los precios locales se relacionan con el formulario final en el cual se anexan las cantidades de obra para que se obtenga un precio final de intervención.

En el anexo B se presenta la tabla donde se encuentran los precios locales para el Departamento de Cundinamarca, los cuales se utilizaron para esta metodología en el capítulo de la validación de la misma.

4.5 SISTEMA EXPERTO PARA PRIORIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES

Como primera medida para la implementación de un sistema en la toma de decisiones se utiliza el tema de la economía como referencia y a partir de este se desencadenan un sin número de variables que atacan a una sociedad por la interrupción o el buen manejo de las estructuras hablando desde el punto de vista de su administración y buen manejo para brindar un servicio adecuado y seguro.

Los costos dependen básicamente de factores principales como lo son el costo que puede generar la estructura en relación directa con el usuario que es el primer afectado ya sea por buen o por inadecuado funcionamiento, se empieza hablar entonces de lo que sería una vida útil de la estructura como un todo.

Por otro lado las características funcionales, pues de estas dependerán algunas variables que componen la suma final del costo como elemento estructural y funcional tales como lo son la construcción misma, el mantenimiento las reparaciones y la rehabilitación parcial o total. Siendo así es necesario hacer un análisis funcional y económico en el cual se puedan sacar conclusiones de peso para la toma de decisiones importantes y prioritarias.

Para llegar a tal punto de priorización en intervenciones y gasto de recursos generalmente del estado se debe hacer un estudio riguroso el cual arroje resultados técnicos y se pueda relacionar con resultados funcionales y de necesidad en las diferentes zonas donde se encuentran en funcionamiento las estructuras.

En el presente documento se hace la relación de las diferentes variables asociadas a los componentes de las estructuras sin importar su tipología, y se seleccionan unos criterios de calificación lo cuales están vinculados a la inspección visual antes realizada, allí el inspector bajo su criterio de calificación llega a un resultado numérico del estado de la estructura en general y su funcionalidad actual.

En este trabajo en particular se hizo necesario recurrir a una técnica poco utilizada en el énfasis de los sistemas de administración de puentes a nivel mundial, pues dentro de la literatura encontrada ninguno de ellos utiliza esta técnica para determinar valores numéricos con datos lingüísticos, esta técnica es la lógica difusa, la cual se encarga de interpretar y ponderar datos lingüísticos de determinado tema para convertirlos en calificaciones numéricas que se puedan relacionar con la calificación anterior de la inspección visual de la estructura y llegar a una calificación definitiva del puente en estudio.

Los términos lingüísticos nacieron de la necesidad de incorporar las variables ajenas a la estructura dentro del análisis de su estado y NECESIDAD de intervención, variables tales como:

- Año de construcción
- Luz
- Ancho
- Tipo de Vía
- Variantes
- Zonas de Amenaza sísmica
- Zonas de inundación

Este tipo de variables se relacionan más con la continuidad del servicio de la estructura, la vida útil y el estado en que se encuentra para su funcionamiento. De cada una de ellas se seleccionan unos subgrupos a los cuales se les otorgan unos pesos de importancia para así llegar a la calificación final del puente y dar inicio a la priorización con respecto de otras estructuras de la base de datos analizada.

- Calificación de inspección visual
- Geometría
- Tránsito
- Líneas vitales
- Vulnerabilidad

En el ANEXO A se describe la interpretación y toma de datos y calificaciones para ponderación.

4.6 MÓDULOS PROYECTADOS

Basado en la experiencia del trabajo y en la estructuración del sistema nace el capítulo de los módulos proyectados, actividades en las cuales se tenga aún más certera y precisa una extensa calificación del estado de la estructura y como complemento el seguimiento permanente de la misma.

Los módulos anteriores trabajan en temas relacionados con la inspección y con el estado de los elementos independientes de la estructura, la condición en la que se encuentran y el tipo de intervenciones que se deben seguir para que se mantenga en óptimas condiciones de servicio, pero yendo un poco más allá de estos análisis y siguiendo tal vez las experiencias de otros sistemas de administración del mundo se tendrían otros módulos más aproximados y de “complemento” para un sistema más estructurado que el que se presenta en este documento, se habla entonces de módulos de carga, de actualización de datos en línea, seguridad vial (niveles de accidentalidad), módulo de planificación (necesidad de nuevas estructuras), elementos finitos entre otros.

Cada uno de estos módulos tiene una especialidad dentro del análisis de la estructura pero como se comentaba antes tiene un trasfondo más importante que es la conservación y la optimización de la red vial, el módulo de carga sugiere que se le practiquen medidas a las estructuras existentes o aquellas que lo requieran para así determinar la obsolescencia de los puentes actuales con respecto al tráfico de diseño y el tráfico real que circula por la red, la actualización de datos en línea es la aplicación de un sistema vía internet que le haga las cosas más fáciles a los inspectores de tal forma que los inventarios y las inspecciones, las fotografías o cualquier tipo de registro sea actualizado en tiempo real y no sea necesario un trabajo tan extenso de oficina en el que se tengan que registrar todos los datos nuevamente en la base de datos de la entidad, para los niveles de accidentalidad se tiene un manejo de estadísticas y antecedentes de aquellos hechos ocurridos dentro de la estructura, contra la estructura o por mala señalización o superficie en mal estado, el registro que se lleve de este tipo de hechos es de mucha ayuda a la hora de tomar decisiones definitivas, pues si la estructura tiene un historial elevado de accidentalidad tendrán que tomarse medidas inmediatas, en cuanto al tema de planificación la entidad administradora de la red tendría la libertad de hacer un plan de redundancia o de buen manejo de tráfico y de unión entre regiones gracias a la evaluación de las condiciones actuales de las vías, o de la necesidad de las comunidades por comunicarse y de transportar recursos para el crecimiento económico local, los elementos finitos en el análisis de estructuras dan a conocer técnicamente con ayuda de modelos las condiciones estructurales en las que se encuentran los elementos, los materiales y la estructura en sí, este módulo es muy importante pero requiere mucha experiencia a la hora de hacer levantamientos y dibujar los modelos pues cualquier calculo será la respuesta para la toma de decisiones de la entidad.

4.7 MODULO DE MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN

El monitoreo y la instrumentación abarcan el proceso de recolección de información continuamente sobre los diferentes tipos de comportamientos que está sufriendo un elemento dentro de una estructura, este estudio se aplica para llevar un registro en tiempo real y permanente de algún ataque de un fenómeno determinado a la estructura.

El monitoreo continuo ayuda además a la prevención de daños y ayuda a evitar accidentes que pueden ser generados por un fenómeno activo que ataca la estructura. Una de las actividades más comunes en instrumentación es la del monitoreo del cauce pues esta ayuda desde el punto de vista económico y de seguridad a la entidad administradora y a los usuarios.

De todas las estructuras hechas para el uso público ninguna requiere de tantos niveles de cuidados como los puentes. Con los inclinómetros también se pueden determinar las deflexiones que sufre la estructura por el tráfico y la gravedad propia de la estructura.

Estos inclinómetros ofrecen un registro preciso y confiable de todos los movimientos angulares con respecto a la gravedad. La ventaja de estos equipos es que pueden reducir los gastos por inspección de los técnicos y el tiempo que se requiere para dichos estudios, estos equipos al tomar los datos en tiempo real e instantáneo suministran una información confiable para el análisis de oficina.

A varios problemas se enfrentan los equipos de instrumentación en ocasiones la cantidad de datos es demasiada para la interpretación o para malos análisis, si en algún momento algún equipo llegase a fallar la información y el tiempo se perdería, o en el peor de los casos tienen problemas de delincuencia.

Entre algunos se pueden mencionar los siguientes:

- Monitoreo en tiempo real
- Monitoreo en la Construcción
- Monitoreo del Diseño
- Evaluación de desempeño a largo plazo
- Sensores que dan lectura del nivel del lecho de fondo en un cierto periodo de tiempo
- Ecosondas para determinar no solo profundidades, sino también velocidades en distintos puntos, lo cual permitiría obtener un perfil de velocidades del curso
- Dispositivos indicadores de variación de velocidad en el curso. Para determinar niveles de turbulencia en las pilas, por ejemplo.

4.8 MODULO DE ARCHIVO

Las estructuras durante su vida útil o de servicio tienen cambio o sufren algún tipo de fenómenos o son inspeccionadas o se les practica algún tipo de obra de conservación, todos estos procesos generan una documentación específica que debe ser archivada para generar una “hoja de vida” de los antecedentes de la estructura tanto en intervenciones como en otro tipo de fenómenos que haya soportado.

Esta documentación por lo general siempre está compuesta por: Planos, cálculos, especificaciones, interventorías, estudios especiales, entre otros., toda esta información será recolectada en el archivo y será de mucha utilidad a la hora de actualizar un inventario o a la hora de recurrir a alguna intervención pues el manejo de los tiempos periódicos de mantenimiento dictan si están siendo acordes a lo programado o existe alguna inconsistencia.

5 VALIDACIÓN

La metodología propuesta en el presente trabajo incluye su validación, la cual se basó en el concepto de un panel de expertos articulado con una prueba piloto consistente en el inventario y la inspección visual de 14 puentes de diferente tipología de la Gobernación de Cundinamarca. A continuación se presentan los resultados de la validación para estos dos (2) aspectos.

5.1 CONCEPTO PANEL DE EXPERTOS

Para poder evaluar la metodología a través del panel de expertos se diseñó una encuesta, con el fin de facilitar y unificar los criterios de evaluación. En el anexo B, se presenta el formato de dicha encuesta.

Diseño de Cuestionario / Encuesta

Los Ingenieros Germán Sedano y Santiago Parra estudiantes del Programa Maestría en Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana, desarrollaron una metodología para ser implementada en el análisis del estado de los puentes existentes



Se pretende validar mediante el concepto de expertos el resultado del trabajo a través de la presente encuesta.

Los conceptos que ustedes expresen en esta encuesta serán incorporados a este trabajo en la medida que este dentro de los alcances del mismo. Los que no en estén dentro de dichos alcances serán mencionado para trabajos futuros.

- 1 No aceptable
- 2 De acuerdo con ajuste
- 3 De acuerdo sin ajuste

| | Calificación | Descripción del ajuste si es necesario |
|--|--------------|--|
| * Módulo de inventario (datos, esquemas, fotos, etc) | | |
| * Criterios de calificación de cada componente de los puentes mediante preguntas de cada variable | | |
| * Niveles adoptados para el peso de cada pregunta basados en su importancia (100,80 y 60) | | |
| * Forma de seleccionar la calificación de cada componente y del puente mediante la respuesta de cada pregunta. | | |
| * Criterios propuestos para la priorización basados en la calificación de inspección visual y aspectos generales tales como (Geometria, Transito, Vulnerabilidad por amenaza sísmica e inundacion, obsolescencia, etc.) | | |
| * Criterios propuestos sobre las sugerencias de inspecciones especiales o estudios especializados | | |
| * Criterios sobre el módulo de costos. | | |
| * Criterios sobre el módulo mantenimiento y/o rehabilitación | | |

Recomendaciones para tener en cuenta en trabajos futuros desarrollados sobre esta metodología.

Firma

GRACIAS POR SU AYUDA

Figura 7 Formato de encuesta para panel de expertos – Fuente propia

Mediante este proceso se recibieron sugerencias o comentarios al respecto de la metodología diseñada, teniendo en cuenta que los pesos que se dieron a las

variables fueron dados por la el criterio de los investigadores y con la guía y experiencia del director de la tesis.

El panel de expertos seleccionado los conformaron dos ingenieros Colombianos radicados en nuestro país con una alta experiencia en inspecciones de puentes y con un amplio conocimiento en los sistemas de administración no solo a nivel local sino también a nivel internacional. Ellos fueron Nelson Betancour y Samir González, quienes recomendaron:

1. Anexar un módulo de inspecciones rutinarias, el cual garantizara que los puentes tuvieran un seguimiento rutinario y que a los inspectores de la zona se les facilitara el trabajo con estas inspecciones, pues la realización de inspecciones frecuentes hace que el inspector se familiarice con la estructura y además identifique en poco tiempo cuales son los cambios representativos que debe dar alerta para intervenir rápidamente.

Esta recomendación es importante pero esta fuera del alcance de este trabajo, por lo cual se considera como un trabajo futuro.

2. Optimizar la información consignada en el módulo de inventario, pues se piensa que son demasiados datos y que podrían no ser útiles a la hora de hacer una inspección visual o una priorización de una estructura, Dicha recomendación queda consignada en este documento y será tomada en cuenta en futuros trabajos de grado.
3. Optimizar la cantidad de criterios contenidos para la evaluación de los componentes en las diferentes variables. También es necesario mejorar la calidad en las preguntas y que sean más sintetizadas y acordes al tipo de variable que se está calificando. Este tema es importante para los correspondientes ajustes.
4. Incluir la variable de sobrecarga dentro del análisis de variables en las diferentes tipologías estudiadas y analizadas en el trabajo. Se tuvo en cuenta y hace parte del sistema.

5.2 VALIDACIÓN CON INSPECCIONES DE CAMPO

Cumpliendo con el alcance propuesto en el trabajo de grado, se realizó el inventario y la inspección visual de 14 puentes administrados por la Gobernación de Cundinamarca y ubicados en el Departamento de Cundinamarca. Los puentes seleccionados fueron los siguientes:

Tabla 17 Listado de puentes para la validación con inspecciones de campo

| No | NOMBRE PUENTE | MUNICIPIO | TIPOLOGÍA |
|-----------|-----------------------|------------------|--|
| 1 | SAN FRANCISCO | JUNÍN | REFORZADO SIMPLEMENTE APOYADO 1 LUZ |
| 2 | PTE QDA MALACHI | NILO | REFORZADO SIMPLEMENTE APOYADO 1 LUZ |
| 3 | RIO DULCE | VILLETA | REFORZADO SIMPLEMENTE APOYADO 2 O MAS LUCES |
| 4 | LA CHORRERA | VENECIA | REFORZADO SIMPLEMENTE APOYADO 2 O MAS LUCES |
| 5 | LA ESMERALDA | QUEBRADA NEGRA | POSTENSADO UNA SOLA LUZ |
| 6 | LA RUNCHERA | GUADUAS | POSTENSADO UNA SOLA LUZ |
| 7 | LA ESMERAL - CLARAVAL | JUNIN | MIXTO (VIGA CELOSÍA METÁLICA) - PLACA CONCRETO |
| 8 | PTE LOS PÉREZ | NIMAIMA | MIXTO (VIGA ALMA LLENA) - PLACA CONCRETO |
| 9 | GUATIMBOL | VENECIA | COLGANTE |
| 10 | GAZAUNTA | MEDINA | COLGANTE |
| 11 | PTE MINAS | MANTA | ARCO METÁLICO |
| 12 | RIO TROMPETAS | UBALA | ARCO METÁLICO |
| 13 | PTE RIO CUJA | PANDI | ARMADURA METÁLICA |
| 14 | RIO NEGRO | PANDI | ARMADURA METÁLICA |

5.2.1 UBICACIÓN

Para la selección de los puentes se tomó como criterio que los mismos estuvieran ubicados a más de 20 kilómetros de cualquier límite de Bogotá D.C. con el fin que la condición del tráfico de la ciudad no afectara los criterios de tráfico promedio diario o población afectada.

De igual formase tuvo se trató que los puentes estuvieran ubicados en los diferentes tipos de vías con que cuenta el Departamento de Cundinamarca y que

estuvieran ubicados en zonas de economías, topografías diferentes con el fin de poder evaluar diferentes criterios de usos y ambientales.

Se buscó tener una dispersión de los puentes en las diferentes provincias del Departamento, en la Figura 8 se presenta un mapa del Departamento de Cundinamarca con la ubicación de los puentes seleccionados para la validación.

GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA

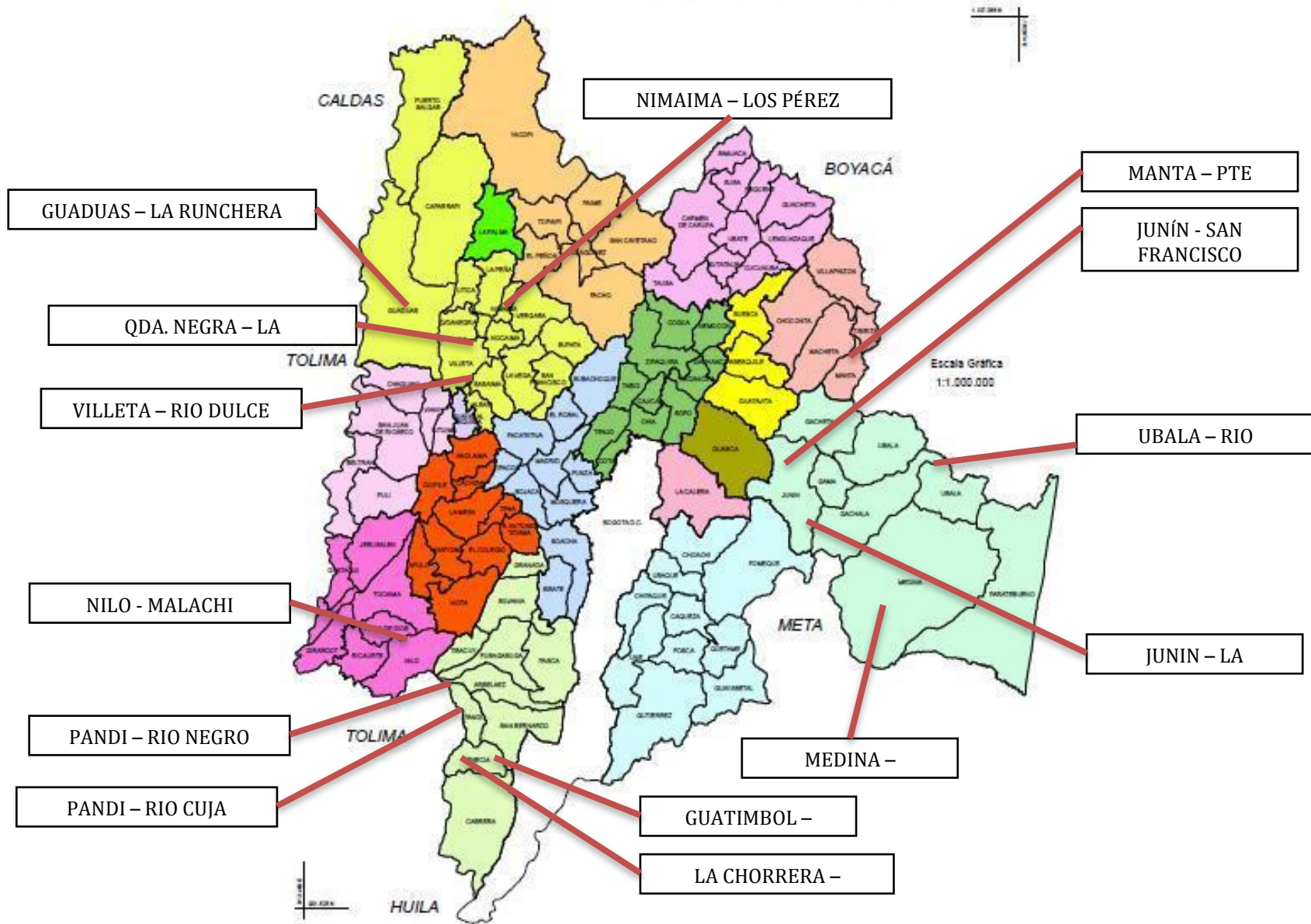


Figura 8 UBICACIÓN DE PUENTES PARA LA VALIDACIÓN

5.2.1 RESULTADOS DE LAS LABORES DE CAMPO

De cada puente se recolecto la información relacionada en el módulo de inventario descrito en el numeral 4.1 y que se encuentra detallada en el anexo B, a continuación se presentan los resultados de campo obtenidos.

Los Resultados se dividen en 4 Grupos

1. Inventario
2. Inspección visual
3. Priorización
4. Costos aproximados de intervención

A continuación se hará la relación de información obtenida en la validación en campo del puente Gazaunta del Municipio de Medina.

5.2.2 INVENTARIO

En cada uno de los puentes se levantó la información relacionada en el formato de inventario, y se tomaron los datos allí solicitados, de igual forma se hizo un registro fotográfico de los deferentes elementos del puente y los accesos del mismo.



foto 37 Puente Gazaunta - Medina tipología longitudinal - colgante Fuente propia



foto 38 Puente Gazaunta - Medina - Cauce río gazaunta - Fuente propia

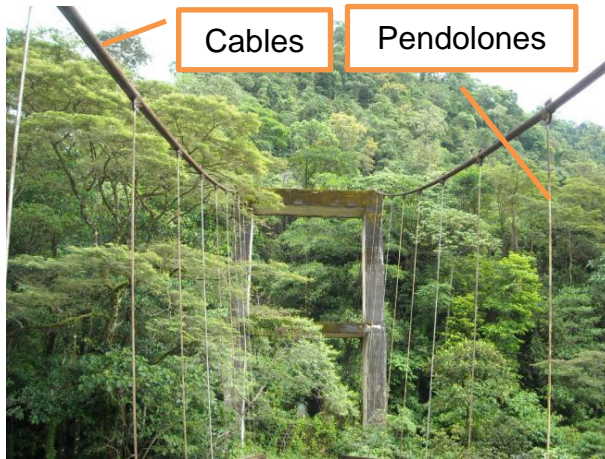


foto 39 Puente Gazaunta - Medina - Se observan cables y pendolones - Fuente propia



foto 40 Puente Gazaunta - Medina se observa - Cables, pendolones, armadura metálica y losa - Fuente propia



foto 41 Puente Gazaunta - Medina Se observa estribo en concreto - Fuente propia



foto 42 Puente Gazaunta - Medina Se observa losa en concreto - Fuente propia



**foto 43 Puente Gazaunta - Medina Se observa
bordillo en concreto - Fuente propia**



**foto 44 Puente Gazaunta - Medina Se observa
estructura metálica - Fuente propia**

En la Tabla 18 se presenta los resultados obtenidos en el inventario de los puentes visitados.

Tabla 18 resultados de inventario

| Aspecto \ No. Puente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Nombre del puente | Puente negro | Puente Rio Gazaunta | Puente Minas | Puente Quebrada la Esmeralda | Puente quebrada Negra | Puente San Francisco | Puente Los Perez | Puente rio Trompetas | Puente quebrada Malachi | Puente sobre Rio Dulce | Puente rio cuja | Puente La Runchera | Guatimbol | Puente sobre La chorrera |
| Tipología | Amadura Metalica | Colgante | Arco Metalico | Postensado una luz | Mixto | Reforzado Simplemente Apoyado 1 luz | Mixto | Arco Metalico | Reforzado Simplemente apoyado de una luz | Vigas concreto reforzado | Amadura Metalica | Vigas en concreto reforzado | Colgante | Reforzado simplemente apoyado |
| Estructura Transversal | Vigas en acero Cada 3 metros | Perfiles soportados y arriostrados | Vigas en acero | Riostras concreto reforzado | Cortavientos | Arriostrado | Vigas en concreto Reforzado | Vigas Transversales | Riostras | Riostras de concreto | Vigas en acero | Riostras | Vigas transversales | Riostras |
| Departamento | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca |
| Ciudad/Municipio | Pandi | Medina | Manta | Quebrada Negra | Junin | Junin | Nimaima | Ubala | Nilo | Villeta | Pandi | Guaduas | Venecia | Venecia |
| Propietario | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca | Cundinamarca |
| Administrador | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU | ICCU |
| Tipo de Via | Secundaria | Secundaria | Secundaria | Terciaria | Terciaria | Terciaria | Terciaria | Secundaria | Secundaria | Terciaria | Secundaria | Terciaria | Terciaria | Secundaria |
| Tipo de Obstaculo | Rio | Rio | Rio | Quebrada | Quebrada | Quebrada | Rio | Rio | Rio | Rio | Rio | Quebrada | Rio | Rio |
| Tipo de Servicio | Vehicular | Vehicular | vehicular | Vehicular | Vehicular | Vehicular | Vehicular | Vehicular | Vehicular | Vehicular | Vehicular | Vehicular | Peatonal | Vehicular |
| TPD | 212 | | 32 | - | 15 | 10 | - | - | - | - | 212 | - | - | 465 |
| % de Camiones | 40 | | 35 | - | 3 | 3 | - | - | - | - | 40 | - | - | 45 |
| Mantenimiento de subestructura | Si | No | No | No | Si | No | No | Si | Si | No | Si | No | Si | si |
| Rehabilitacion subestructura | Si | No | No | No | No | No | No | Si | Si | No | Si | No | Si | si |
| Mantenimiento Infraestructura | Si | No | Si | No | No | No | No | No | No | No | Si | No | Si | - |
| Rehabilitacion Infraestructura | No | No | No | No | No | No | No | No | No | No | No | No | Si | - |
| Mantenimiento Cauce | No | No | No | No | No | No | No | Si | Si | No | No | Si | Si | - |
| Rehabilitacion Cauce | No | No | Si | No | No | No | No | Si | Si | No | No | No | Si | - |
| Numero de Carriles | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Ancho de Carril | 3,1 | 2,9 | 4 | 4 | 3,6 | 3,2 | 3,1 | 2,5 | 2,5 | 3,6 | 3,1 | 3,6 | 2,62 | 3,55 |
| Longitud Total | 40 | 103,24 | 50 | 40,6 | 20 | 18 | 62,1 | 56 | 23 | 30,2 | 40 | 20 | 50 | 45 |
| Puente en curva o Recto | Recto | Recto | Recto | Recto | Recto | Recto | Recto | Recto | Recto | Recto | Recto | Recto | Recto | Recto |
| Numero de Tramos | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Luz Principal | 36 | 103,24 | 50 | 40,6 | 20 | 18 | 30 | 54 | 23 | 10,9 | 40 | 20 | 50 | 27,3 |
| Categotia | 2 vigas en acero de paso inferior | Puente colgante | Arco metalico en A36 | Postensado simplemente apoyado | Simplemente apoyado | Simplemente apoyado | Mixto viga celosia metalica / placa cpncreto | Arco metalico simplemente apoyado | Vigas en concreto reforzado | Reforzado simplemente apoyado | 2 vigas en acero de paso inferior | Vigas en concreto Reforzado | Puente colgante | Reforzado simplemente apoyado |
| Material predominante | Acero | Acero | Acero | Concreto reforzado | Concreto | Concreto | Concreto reforzado | Acero | Concreto Reforzado | Concreto Reforzado | Acero | Concreto | Madera | Concreto |
| Materia de Tablero | Steel Deck | Concreto reforzado | Concreto Reforzado | Concreto | Concreto | Concreto | Concreto reforzado | Concreto Reforzado | Concreto Reforzado | Concreto Reforzado | Steel deck | Concreto | Madera | Concreto reforzado |
| Espesor | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,20 | 0,2 | 0,22 | 0,4 | 0,27 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,3 |
| Superficie de rodadura | Metalica | Concreto | Concreto | Concreto | Concreto | Concreto | Concreto | Concreto | Concreto | Concreto | Metalica | Concreto Reforzado | - | Asfalto |

Tabla 19 resultados de inventario (continuación)

| Aspecto \ No. Puente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-----------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| Nombre del puente | Puente negro | Puente Rio Gazaunta | Puente Minas | Puente Quebrada la Esmeralda | Puente quebrada Negra | Puente San Francisco | Puente Los Perez | Puente rio Trompetas | Puente quebrada Malachi | Puente sobre Rio Dulce | Puente rio cuja | Puente La Runchera | Guatimbol | Puente sobre La chorrera |
| Tipo de vigas | Armadura Metalica | Seccion metalica | Vigas IPE a 36 | Postensadas | Celosia | Reforzadas | Vigas celosia metalica | IPE | Concreto Reforzado | Concreto Reforzado | Armadura metalica | Concreto Reforzado | Viguetas en madera | Vigas simplemente apoyadas |
| Material vigas | Acero | Acero | Acero | Concreto | Acero | Concreto | Acero | Acero | Concreto | Concreto | Acero | Concreto Reforzado | Madera | Concreto |
| Tipo de estribos | Concreto Reforzado | Portico en concreto R. | - | Caissons | Estribos de concreto | Estribo de Concreto | Zarpas | Concreto Reforzado | Concreto Reforzado | Roca y concreto | Concreto Reforzado | Concreto Reforzado | Concretos reforzado | Concreto reforzado |
| Material de estribos | Concreto | Concreto | Concreto Reforzado | Concreto | Concreto | Concreto Reforzado | Concreto reforzado | Concreto | Concreto | Concreto Reforzado | Concreto | Concreto | Concreto | Concreto |
| Cimentacion tipo | Profunda | Superficial | Profunda | Profunda | Zarpa superficial | Zarpa superficial | Superficial | Profunda | Superficial | Superficial | No se puede detallar | Profunda | No se puede detallar | Zarpa |
| Cimentacion Material | Concreto | Zarpa | Concreto | Concreto | Concreto reforzado | Concreto Reforzado | Concreto | Concreto Reforzado | Zarpa | Concreto | - | Concreto | - | Concreto |
| Altura estribos | 8,4 | 5m | 5 | 6 | 2,3 | 3,4 | 2 | 1,9 | 4 | 3 | 7 | 3,5 | 4 | 5 |
| Ancho estribos | 5 | 1,95 | 6 | 4,6 | 3,7 | 4,1 | 4,2 | 2,17 | 5 | 5 | 5 | 4,2 | 3 | 7 |
| Material Aletas | - | - | Gaviones | Gaviones y concreto | Concreto | Concreto | Concreto reforzado | Concreto y gaviones | - | Concreto Reforzado | - | Concreto | - | Concreto |
| Altura aletas | - | - | 4 | 4 y 8 | 2,3 | 4,4 | 1,5 | 3,56 | - | 5 | - | 5,5 | - | 4 |
| Longitud Aletas | - | - | 14 | 34 | 2,8 | 4,5 | 2 | 1,13 y 8 | - | 10 | - | 4,6 | - | 3,5 |
| Tipo de pila | - | - | - | - | - | - | - | - | - | Concreto Reforzado | - | - | - | Pantalla |
| Material de pilas | - | - | - | - | - | - | Concreto reforzado | - | - | Concreto | - | - | - | Concreto |
| Tipo apoyo | Movil | Movil | - | Neoprenos | Movil | Neppreno | Neoprenos | Neoprenos | Movil | Movil | Movil | Neoprenos | Simplemente apoyado | Simplemente apoyado |
| Anclajes | No tiene | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | si | - |
| Tipo de baranda | No tiene | Seccion metalica | Metalica | Concreto | Concreto | Tubular | Concreto | Metalica | Concreto Reforzado | Mixta concreto y tuberia | - | Baranda de Concreto | Cercha | - |
| Material de barandas | No tiene | Acero | Acero | Concreto reforzado | Concreto reforzado | Hierro | Concreto reforzado | Acero | Concreto | concreto y acero | - | Concreto | Madera | - |
| Longitud barandas | No tiene | 97 | 50 | 40,6 | 20 | 18 | 62,1 | 54 | 23 | 30 | - | 20 | 50 | - |
| Rutas alternas | No tiene | No tiene | No | No | No | No | No | No | No | No | No tiene | No time | No tiene | No tiene |
| Nivel de agua max | 3 | 3 | 2 | 2 | 1,5 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 9 | 1 | 5 | 5 |
| Galibo max | 9 | 3,2 | 5 | 8,6 | 20 | 8 | 5,2 | 4 | 4,3 | 6 | 6 | 4,5 | 6,5 | 6,5 |

5.2.3 INSPECCIÓN VISUAL

Luego de realizado el inventario del puentes se procedió a realizar la inspección visual con base en los criterios definidos en el módulo de inspección visual Capítulo 4, se procedió a calificar cada uno de los criterios allí mencionados y se tomó el registro fotográfico detallado.



foto 45 Puente Gzaunta - Medina - Se observa corrosión en cables y pendolones - Fuente propia



foto 46 Puente Gzaunta - Medina - Se observa corrosión de cables - Fuente propia



foto 47 Puente Gzaunta - Medina - Se observa acumulación de materia orgánica en cables - Fuente propia



foto 48 Puente Gzaunta - Medina - Se observa acumulación de materia orgánica en barandas y estructura metálica - Fuente propia



foto 49 Puente Gzaunta - Medina - Se observan hundimientos del terraplén de acceso - Fuente propia



foto 50 Puente Gzaunta - Medina - Se observa ausencia de Juntas de expansión - Fuente propia



foto 51 Puente Gzaunta - Medina - Se observa deterioro en bordillos - Fuente propia



foto 52 Puente Gzaunta - Medina - Se observa corrosión en barandas - Fuente propia

En la Tabla 20 Y Tabla 21 se presenta los resultados obtenidos por variable para cada puente después de la calificación por inspección visual.

Tabla 20 Resultados de calificación por variables (inspección visual)

| No. | NOMBRE | MUNICIPIO | SOCAVACION | CORROSION EN CONCRETO | CORROSION EN ACERO | FATIGA | VULNERABILIDAD SISMICA | DEFICIENCIA ESTRUCTURAL | IMPACTO | INFILTRACION | CALIFICACION INSPECCION VISUAL |
|-----|-------------------------|----------------|------------|--------------------------|-----------------------|--------|---------------------------|----------------------------|---------|--------------|--------------------------------------|
| 1 | Puente minas | Manta | 2,11 | 1,98 | 1,5 | 1,58 | 2,47 | 2,08 | 1,89 | 1,91 | 2,47 |
| 2 | La esmeralda - Claraval | Junin | 0,49 | 2,26 | 2,18 | 2,3 | 2,31 | 2,4 | 1,73 | 2,6 | 2,6 |
| 3 | Gazaunta | Medina | 1,85 | 2,53 | 3,2 | 3,51 | 2,18 | 2,38 | 2,4 | 1,91 | 3,51 |
| 4 | Pte Rio Cuja | Pandi | 1,2 | 1,23 | 2,2 | 2,14 | 1,99 | 2,76 | 1,61 | 2,09 | 2,76 |
| 5 | San Francisco | Junin | 1,09 | 2,5 | N/A | N/A | 1,35 | 2,15 | 1,87 | 2,23 | 2,5 |
| 6 | La Esmeralda | Quebrada Negra | 2,49 | 1,77 | N/A | N/A | 1,77 | 1,94 | 1,83 | 2,06 | 2,49 |
| 7 | La Chorrera | Venecia | 2,18 | 1,94 | 2,72 | 2,46 | 2,59 | 1,85 | 1,93 | 2,51 | 2,72 |
| 8 | Rio Negro | Pandi | 1,37 | 1,79 | 2,36 | 2,05 | 1,99 | 2 | 1,87 | 1,93 | 2,36 |
| 9 | Pte Quebrada Malachi | Nilo | 1,67 | 1,52 | N/A | N/A | 1,15 | 1,59 | 1,38 | 1,64 | 1,67 |
| 10 | Guatimbol | Venecia | 1,88 | 2,63 | 3,14 | 3 | 2,66 | 2,61 | 2,66 | 2,54 | 3,14 |
| 11 | Rio Dulce | Villeta | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,48 | 2,39 | 2,32 | 1,8 | 2,47 | 2,48 |
| 12 | La Runchera | Guaduas | 1,28 | 0,67 | N/A | N/A | 0,97 | 1,04 | 0,85 | 0,92 | 1,28 |
| 13 | Puente los Perez | Nimaima | 1,24 | 0,6 | 1,3 | 1,63 | 1,64 | 1,08 | 1,09 | 1,06 | 1,64 |
| 14 | Rio Trompetas | Ubala | 1,35 | 0,78 | 0,73 | 0,52 | 1,11 | 1,04 | 0,78 | 1,08 | 1,35 |

Tabla 21 Resultados de calificación total por inspección visual

| No. | NOMBRE | MUNICIPIO | CALIFICACIÓN INSPECCIÓN VISUAL |
|------------|-------------------------|-------------------|---|
| 1 | Gazaunta | Medina | 3,51 |
| 2 | Guatimbol | Venecia | 3,14 |
| 3 | Pte Rio Cuja | Pandi | 2,76 |
| 4 | La Chorrera | Venecia | 2,72 |
| 5 | La esmeralda - Claraval | Junín | 2,6 |
| 6 | San Francisco | Junín | 2,5 |
| 7 | La Esmeralda | Quebrada Negra | 2,49 |
| 8 | Rio Dulce | Villeta | 2,48 |
| 9 | Puente minas | Manta | 2,47 |
| 10 | Rio Negro | Pandi | 2,36 |
| 11 | Puente Quebrada Malachi | Nilo | 1,67 |
| 12 | Puente los Pérez | Nimaima | 1,64 |
| 13 | Rio Trompetas | Ubala | 1,35 |
| 14 | La Runchera | Guaduas | 1,28 |

En la Tabla 22 se presentan los resultados obtenidos en la priorización de los puentes, teniendo en cuenta las variables externas que se explicaron en el numeral VARIABLES EXTERNAS de cada uno de los puentes.

Tabla 22 Calificación de variables externas

| No. | NOMBRE | MUNICIPIO | CALIFICACIÓN INSPECCIÓN VISUAL | AÑO DE CONSTRUCCION | LUZ | ANCHO DELPUENTE | ALTURA DE PILAS O GALIBO | TPD | TIPO DE VIA | VARIANTES | LINEA VITALES | ZONA DE AMENAZA SISMICA | ZONA INUNDACION | CALIFICACION |
|-----|-------------------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------|-----|--------------------|--------------------------------|-----|-------------|-----------|------------------|-------------------------------|--------------------|--------------|
| 1 | Puente minas | Manta | 2,47 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 0 | 4 | 0 | 2,44 |
| 2 | La esmeralda - Claraval | Junin | 2,6 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 2,41 |
| 3 | Gazaunta | Medina | 3,51 | 4 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 3,15 |
| 4 | Pte Rio Cuja | Pandi | 2,76 | 4 | 2 | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 | 2,75 |
| 5 | San Francisco | Junin | 2,5 | 3 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 2,34 |
| 6 | La Esmeralda | Quebrada Negra | 2,49 | 4 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4 | 0 | 2 | 0 | 2,42 |
| 7 | La Chorrera | Venecia | 2,72 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 0 | 4 | 0 | 2,74 |
| 8 | Rio Negro | Pandi | 2,36 | 3 | 4 | 1 | 3 | 1 | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 | 2,36 |
| 9 | Puente Quebrada Malachi | Nilo | 1,67 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 | 1,78 |
| 10 | Guatimbol | Venecia | 3,14 | 4 | 4 | 1 | 2 | 0 | 1 | 4 | 4 | 4 | 0 | 3,21 |
| 11 | Rio Dulce | Villeta | 2,48 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 0 | 2 | 0 | 2,30 |
| 12 | La Runchera | Guaduas | 1,28 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 4 | 0 | 2 | 1 | 1,43 |
| 13 | Puente los Perez | Nimaima | 1,64 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 0 | 2 | 1 | 1,84 |
| 14 | Rio Trompetas | Ubala | 1,35 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 1,64 |

En la Tabla 23 se presenta la priorización final de los puentes que se tomaron como muestra para validar la metodología desarrollada en el presente trabajo.

Tabla 23 Priorización Final de los puentes

| No. | NOMBRE | MUNICIPIO | PRIORIZACIÓN FINAL |
|------------|-------------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | Puente minas | Manta | 2,44 |
| 2 | La esmeralda - Claraval | Junín | 2,41 |
| 3 | Gazaunta | Medina | 3,15 |
| 4 | Pte Rio Cuja | Pandi | 2,75 |
| 5 | San Francisco | Junín | 2,34 |
| 6 | La Esmeralda | Quebrada Negra | 2,42 |
| 7 | La Chorrera | Venecia | 2,74 |
| 8 | Rio Negro | Pandi | 2,36 |
| 9 | Puente Quebrada Malachi | Nilo | 1,78 |
| 10 | Guatimbol | Venecia | 3,21 |
| 11 | Rio Dulce | Villeta | 2,30 |
| 12 | La Runchera | Guaduas | 1,43 |
| 13 | Puente los Perez | Nimaima | 1,84 |
| 14 | Rio Trompetas | Ubala | 1,64 |

I. EVALUACIÓN ECONÓMICA APROXIMADA

Como parte primordial de la funcionalidad de cualquier sistema que ayude a la priorización y a la toma de decisiones, se asumen un sin número de criterios y análisis para tal fin, uno de ellos son los costos de las intervenciones recomendadas por el inspector o por el ente administrador a las respectivas localidades del gobierno quienes son al final las encargadas de ordenar el gasto.

En este trabajo en particular se llevó a cabo el análisis de un determinado número de precios unitarios los cuales conforman un formulario base en el cual se pueden encontrar los precios y las características de los ítems más representativos.

El libro donde se desarrolla el formulario consta de una hoja para las cantidades de obra, que deben ser suministradas por el inspector una vez realizada la inspección detallada del puente, una hoja que compone los insumos (materiales), una nueva hoja que contiene la mano de obra y las distancias de acarreo de estos insumos. De esta forma con la facilidad que tiene el usuario para el ingreso de datos y con la posibilidad de ingresar los insumos y las materias primas, se garantiza que en cada región donde se lleve a cabo una intervención se tendrán los precios actualizados y acordes a esa región, solo es ingresar los precios y el cuadro automáticamente se actualizara y multiplicara las cantidades ingresadas y se llegara a un costo aproximado por la estructura.

Los precios unitarios de este libro están actualizados con los informes de interventoría aplicados por el Instituto Nacional De Vías.

En EL ANEXO B se presenta el formulario base, para Cundinamarca con el cual se podría operar las cantidades en un caso dado se requiera hacer un ejercicio minucioso de los puentes del Departamento.

El formulario está compuesto por unas partidas grandes de pagos:

- Explanaciones
- Bases, subbases y afirmados
- Pavimentos
- Estructuras de drenajes
- Señalización
- Obras varias

Dentro de los puentes todos y cada uno de estos se necesitan de una u otra manera, ya sea en la estructura como tal o fuera de ella, es el caso de los materiales granulares, son aplicados en las aproximaciones al puente y son de vital importancia para los asentamientos en las juntas de expansión.

Se aclara que en un buen porcentaje los precios fueron suministrados por el INVIAS.

Tabla 24 Presupuesto aproximado de las obras de mantenimiento rutinario y periódico para el puente Gazaunta - Medina

| Nº | DESCRIPCION | UND. | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|------------------------------------|---|------|----------|-----------------|-------------------------|
| BASES, SUBBASES Y AFIRMADOS | | | | | |
| 1 | Conformación de la calzada existente | m2 | 250,00 | \$ 486,00 | \$ 121.500,00 |
| Subtotal | | | | | \$ 121.500,00 |
| ESTRUCTURAS Y DRENAJES | | | | | |
| 2 | Juntas Transversales | m | 5,00 | \$ 1.614.559,00 | \$ 8.072.795,00 |
| 3 | Anclaje activo con cinco (5) cables o torones de 1/2" | m | 20,00 | \$ 324.693,00 | \$ 6.493.860,00 |
| 4 | Suministro, fabricación, montaje y pintura de estructura metálica en acero estructural A588 (No Incluye Transporte) | kg | 350,00 | \$ 9.615,11 | \$ 3.365.287,23 |
| 5 | Bordillos en concreto | m | 120,00 | \$ 53.181,00 | \$ 6.381.720,00 |
| 6 | Construcción, reparación o alargamiento de drenes (mp-5) | m | 20,00 | \$ 44.571,00 | \$ 891.420,00 |
| Subtotal | | | | | \$ 25.205.082,23 |
| SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD | | | | | |
| 7 | Líneas de Demarcación con pintura en frio | m | 120,00 | \$ 1.710,00 | \$ 205.200,00 |
| 8 | Señal vertical de Tránsito Tipo I | u | 4,00 | \$ 289.383,00 | \$ 1.157.532,00 |
| Subtotal | | | | | \$ 1.362.732,00 |
| OBRAS VARIAS | | | | | |
| 9 | Junta de dilatacion | m | 30,00 | \$ 112.798,00 | \$ 3.383.940,00 |
| 10 | LIMPIEZA DE SUPERFICIE DE RODADURA (INCLUYE LOSA DE ACCESO) (MR- 1) | m2 | 200,00 | \$ 3.271,00 | \$ 654.200,00 |
| 11 | Limpieza de juntas de dilatación (mr-2) | ml | 70,00 | \$ 2.927,00 | \$ 204.890,00 |
| 12 | Limpieza de barandas de acero (mr-4) | ml | 120,00 | \$ 4.766,00 | \$ 571.920,00 |
| 13 | LIMPIEZA DE ANDENES Y BORDILLOS (MR-5) | ml | 120,00 | \$ 3.283,00 | \$ 393.960,00 |
| 14 | Limpieza de drenajes (mr-6) | u | 8,00 | \$ 7.976,00 | \$ 63.808,00 |
| 15 | Pintura de componentes de acero (MP-3) | m2 | 70,00 | \$ 11.680,00 | \$ 817.600,00 |
| 16 | Limpieza de las superficies exteriores de la infraestructura con chorro de agua (Hidro Blasting) | m2 | 10,00 | \$ 20.000,00 | \$ 200.000,00 |
| 17 | Limpieza y pintura de la estructura metálica con chorro de arena (Sand Blasting) | m3 | 70,00 | \$ 60.000,00 | \$ 4.200.000,00 |
| Subtotal | | | | | \$ 10.490.318,00 |
| VALOR TOTAL | | | | | \$ 37.179.632,23 |

Tabla 25 Priorización final de intervención de estructuras con sus correspondientes costos.

| No. | NOMBRE | MUNICIPIO | CALIFICACIÓN PRIORIZACIÓN | COSTO DE INTERVENCIÓN |
|------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Pte Rio Cuja | Pandi | 2,75 | \$ 6.922.462 |
| 2 | Puente minas | Manta | 2,44 | \$ 26.162.514 |
| 3 | Guatimbol | Venecia | 3,21 | \$ 25.711.698 |
| 4 | La Chorrera | Venecia | 2,74 | \$ 16.286.913 |
| 5 | Gazaunta | Medina | 3,15 | \$ 37.179.632 |
| 6 | La esmeralda - Claraval | Junín | 2,41 | \$ 32.214.545 |
| 7 | Rio Negro | Pandi | 2,36 | \$ 5.660.020 |
| 8 | La Esmeralda | Quebrada Negra | 2,42 | \$ 32.110.761 |
| 9 | San Francisco | Junín | 2,34 | \$ 23.690.572 |
| 10 | Puente Quebrada Malachi | Nilo | 1,78 | \$ 1.491.590 |
| 11 | Puente los Pérez | Nimaima | 1,84 | \$ - |
| 12 | Rio Dulce | Villeta | 2,3 | \$ 26.721.190 |
| 13 | La Runchera | Guaduas | 1,43 | \$ 15.213.537 |
| 14 | Rio Trompetas | Ubala | 1,64 | \$ - |

5.3 DISCUSIÓN

A partir de las inspecciones visuales realizadas para ser implementadas como la primera parte de la validación de la metodología, los resultados encontrados luego de las calificaciones por inspección visual, se pueden determinar algunos temas y algunas tendencias y datos representativos, a pesar de ser tan pequeña la muestra hay unos datos que son relevantes dentro de análisis final de los puentes.

Para empezar según las tendencias y calificaciones solo se encontraron dos datos de puentes que se encontraran por encima de la calificación 3,5, la calificación más elevada fue de 3,21, esto demuestra que a simple vista alguna estructura puede presentar algunos fenómenos de deterioro desde el punto de vista funcional, y con daños estructurales de consideración, aunque en el momento de la priorización al incluirse el tráfico y la luz del puente como factores de evaluación se da la importancia a los puentes y se comprobó que la metodología aplicada y los análisis y niveles de peso que se le asignaron a las preguntas de inspección estaban bien suministrados. De las 7 tipologías

escogidas y analizadas se encontró que ninguna sufre de fatiga en ninguno de sus elementos o que las calificaciones no representan mayor daño, inicia alguna problema pero controlable y no afecta la estructura, y la corrosión en los concretos y en los aceros si tiene el mayor número de calificaciones más elevadas, el puente con mayores dificultades su calificación más elevada fue por corrosión en los elementos de acero que lo componen.

Desde el punto de vista funcional a ninguna de las estructuras es necesario cerrarle el paso del tráfico pero si es necesario ocuparse de los mantenimientos tanto rutinarios como periódicos, pues se observó en su inventario que la falta de los anteriores los tiene muy deteriorados y abandonados, la materia orgánica se encuentra en la mayoría de componentes y las barandas de los que las tienen se encuentran en inadecuadas condiciones.

Ninguna de las estructuras presenta daños a considerar por efecto del ataque de dos variables diferentes, es decir ninguna de las estructuras presenta daños superiores a una calificación de 2, por dos variables al mismo tiempo, siempre hay una más representativa que otras y en ninguna estructura hay dos calificaciones elevadas.

6 APLICATIVO COMPUTACIONAL

Dentro de la fase experimental del desarrollo de la metodología se incluyen dos aplicativos computacionales con los cuales la entidad o el inspector facilita y mecaniza un poco más las cosas, el tema de inspección visual e inventario están ligados en el primer aplicativo, el cual es muy didáctico y de fácil implementación, el usuario ingresa los datos paso a paso, siguiendo el mismo orden que había seguido a la hora de llenar los registros en campo, en ningún momento el aplicativo se sale de ruta o deja sin conocimiento de manejo al usuario, este se encarga de llevar los datos a los informes finales que los mismos que se llenaron en campo de tal forma que el usuario pueda imprimirlos y anexarlos en un documento de entrega para la entidad, también la sección de inspección visual genera los informes antes diligenciados en campo o a mano por el inspector, la diferencia es que este trabajo por ser de oficina facilita la comodidad y reduce el manejo de papeles que a la hora de reportar una inspección se vuelve bastante dispendioso, el aplicativo está controlado de tal forma que para tipo de tipología de puentes se hace un cuestionario diferente, un informe diferente y un análisis de resultados diferente. También tiene la facilidad de integrar dentro de los informes las fotografías, adicional a esto al finalizar la corrida del aplicativo el usuario puede seleccionar las posibles intervenciones que son necesarias para llevar la estructura a un estado de funcionalidad óptimo y seguro.

Por otro lado el segundo aplicativo es el encargado de generar las calificaciones de priorización de intervención en los puentes, este hace que el inspector una vez tenga las calificaciones de inspección visual y el inventario tenga la facilidad de seleccionar los datos adecuados para el cálculo final, allí se hace una ponderación de calificaciones y un discreto análisis de lógica difusa para llegar a los resultados acordes con el estado de la estructura y la necesidad de intervenirla, de esta última calificación y con ayuda de las demás calificaciones de los demás puentes se hace la selección final de cuál es el primer puente a reparar sustentado con los criterios de inventario, inspección y priorización.

6.1 INFORMES

Los diferentes tipos de inspecciones que se realizan en campo y en laboratorio exigen tener y manejar un equipo adecuado para llegar al objetivo final que es la búsqueda de unas respuestas a problemas latentes dentro de la estructura analizada.

Adicional a la preparación de los equipos y los técnicos que los operan y los inspectores que se encargan de desplazarse al campo para hacer las inspecciones visuales y de más detalle es necesario que toda esta información se relacione en un documento el cual debe tener algunas especificaciones ya sean generadas por la entidad que desarrolla la actividad o simplemente por la persona que está haciendo la labor.

Lo importante de este módulo de informes comienza desde la creación de unos buenos formatos tanto para las inspecciones visuales como para los estudios especializados y los análisis y calificaciones de campo. Con una buena estructuración de los formatos se generaran ahorros de tiempo y dinero que se verán reflejados a la hora de recopilar toda la información en una base de datos y también a la hora de utilizar esta valiosa información para tomar decisiones económicas y sociales.

En este trabajo se relacionaron tres tipos de informes como resultado de la propuesta de implementación futura y de la inspección realizada durante el desarrollo de la tesis, estos entonces se dividen en Inventarios, Inspecciones visuales de campo y Priorización de intervención. Se incluyen en este módulo los informes de calificaciones numéricas del estado en que se encuentra la estructura, además de los registros fotográficos y la historia general de la estructura, su localización, vida útil, trafico, entre otros.

En el informe de la Inspección se incluyen los criterios con los cuales se puede evaluar el estado de la estructura basado en una inspección visual, además se muestra la calificación numérica suministrada por el inspector en campo y la calculada por el formulario de inspección, la cual representa la calificación del estado actual de la estructura igualmente basada en parámetros dados por la teoría de este trabajo, los cuales varían de 0 a 4 siendo 4 la calificación más desfavorable en la que se encuentra la estructura.

Cabe resaltar que a la hora de tener la información relacionada en los informes esta será la base para proyectar soluciones de posibles mantenimientos o intervenciones de extrema urgencia y que también son un parámetro fundamental a la hora de asignar recursos del estado o del territorio donde se llevó a cabo dicha labor.

En el Anexo B se encuentran los formatos utilizados y diligenciados para la presentación de los datos recolectados en el inventario e inspección especial respectivamente.

6.2 MANUAL DEL USUARIO

El manual de usuario es el documento técnico de determinación de un sistema que intenta dar asistencia para que sus usuarios lo utilicen e interactúen con el de la mejor manera posible.

En general, un manual de usuario debería poder ser entendido por cualquier usuario principiante, como así también serle útil a usuarios avanzados, para esta metodología del sistema de administración de puentes se diseñó un manual del usuario (ver anexo A) en el cual se puedan identificar los diferentes módulos operacionales del sistema, desde el principio de cómo se debe realizar la inspección visual, el inventario de los puentes dependiendo su tipología y los elementos que lo componen, otro capítulo del manual contiene las características y fotografías de los criterios de selección y calificación de la inspección visual, la toma de medidas y los equipos utilizados para dicho fin, finalmente el manual presenta como se hace la toma de decisiones las priorizaciones de intervención y se muestran todos los tipos de informes en los cuales se debe plasmar la información recolectada en el análisis.

Además las matrices relacionando los componentes del puente y las posibles intervenciones en mantenimientos rutinarios, periódicos, y rehabilitaciones, cada uno de estos con sus respectivos precios unitarios para ser utilizados en el formulario oficial de presupuesto de la intervención de la estructura.

7 CONCLUSIONES

- Se desarrolló una metodología para la evaluación de puentes existentes identificando y relacionando variables que los afectan, priorizando su necesidad de intervención por medio del análisis de variables externas a la estructura, propias de cada región y relacionadas a su funcionalidad.
- Se realizó un análisis del estado de conocimiento de los principales sistemas de administración de puentes en el mundo y se identificaron las variables fundamentales que intervienen en la evaluación del estado de los mismos. Con lo anterior, se comprobó que la metodología de inspección visual y priorización planteada en este trabajo es única y diferente a la que tienen los diferentes sistemas de administración en el mundo, porque se concibió adaptada a la problemática que tienen los puentes de Colombia y en donde se asegura profundidad técnica en el momento de la evaluación de los daños de cada componente en este tipo de estructuras.
- Se comprobó por medio de la metodología planteada la importancia de las variables externas y regionales que afectan la estructura en el momento de realizar la priorización, que es un aspecto base para la toma de decisiones en el proceso de intervención mediante labores de mantenimiento o rehabilitación de los puentes.
- Se realizó la validación de la metodología mediante los ajustes recomendados por el panel de expertos articulado con la evaluación de 14 puentes administrados por la Gobernación de Cundinamarca. Dicha validación, se concentró en la optimización y reducción de los criterios de cada variable empleados para la evaluación mediante la inspección visual de cada uno de los componentes que conforman este tipo de estructuras. Dichos ajustes se realizaron con el objeto de sintetizar su finalidad, para de esta manera hacer más efectiva la metodología, especialmente en los módulos de inspección visual y priorización.
- La metodología define los costos aproximados de inversión para cada uno de los puentes, los cuales no se deben considerar como una variable para la priorización, porque esta actividad debe estar basada principalmente en la relación de variables que afecten la estabilidad y funcionalidad de la estructura. Sin embargo, estos costos se deben tener en cuenta a la hora de ordenar el gasto por parte de la entidad y son una información importante con la cual se dimensiona el presupuesto necesario para la intervención de los puentes.
- Es importante que el inspector posea conocimiento, criterio y experiencia en la aplicación de la metodología y la inspección visual de puentes, lo anterior garantiza que los resultados obtenidos reflejen la estado de la estructura.

8 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Como proyección debe plantearse el desarrollo de un SOFTWARE integrado en el cual se pueda manejar la información y hacer el análisis en la misma plataforma, interactuando planos, fotos, modelos estructurales, entre otros. Por otro lado se recomienda que el manejo del software y la actualización de los datos se pueda manejar vía internet, esto ayudaría el procesamiento de los datos en campo y reduciría el trabajo de oficina.
- Se recomienda que se le dé un nivel de importancia adecuado a las inspecciones y estudios especiales para la toma de decisiones, así mismo el análisis económico de intervención debe hacerse detallado y actualizar los costos dependiendo de la región donde se hace el estudio, de esta manera las entidades administradoras tendrán plena seguridad del valor de inversión.
- En el tema del análisis de variables externas para la priorización de intervención debe mantenerse actualizada la información solicitada, y los rangos de calificación de las variables deben ajustarse proporcionalmente a la zona evaluada. (TPD, MAPAS, TIPO DE VIA, ETC).
- Como trabajo futuro se plantea la posibilidad de crear un módulo para la proyección de nuevas estructuras.
- Se recomendó por parte del panel de expertos que se anexara un módulo de inspecciones rutinarias, el cual garantizara que los puentes tuvieran un seguimiento rutinario y que a los inspectores de la zona se les facilitara el trabajo con estas inspecciones, pues la realización de inspecciones frecuentes hace que el inspector se familiarice con la estructura y además identifique en poco tiempo cuales son los cambios representativos que debe dar alerta para intervenir rápidamente.
- Optimizar la información consignada en el módulo de inventario, pues se piensa que son demasiados datos y que podrían no ser útiles a la hora de hacer una inspección visual o una priorización de una estructura.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Austroroads. (2002). Bridge management systems – the state of the art. LB Dowling & Associates Pty Ltd.
- Bien, J. (1999). Expert Functions in Bridge Management Systems. *Wroclaw University of Technology, Poland*.
- Bonde, A. (s.f.). BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM FOR THE CITY OF MOSCOW.
- BOTERO, V. H. R. (s.f.). Implementación de una solución analítica para el fenómeno de propagación unidimensional de ondas en pilotes y su adaptación para la interpretación de resultados de la prueba de integridad de pilotes (PIT).
- BRIDGE INSPECTION MANUAL Chapter 11: Fatigue/Fracture Critical. (2010).
- Carrion, F., Lópezza, J. A., & Balankinb, A. (s.f.). Probabilistic model for bridge structural evaluation using nondestructive inspection data. *Proc. of SPIE Vol* (Vol. 5767, pág. 401).
- de Sousa, C. V., Almeida, J. O., & Delgado, R. M. (2001). BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM AS AN INSTRUMENT OF RISK MITIGATION.
- DE, M. P. L. A. I. V., & FLEXIBLES, P. (s.f.). ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS.
- Duffy, beng. (2004). DEVELOPMENT OF EIRSPAN: IRELAND'S BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM. proceedings of the institution of civil engineers bridge Engineering.
- Federal Highway Administration. (1998). Recording And Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges.
- Ferreira e Castro. (2008). BRAZILIAN BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM: COMMENTS ON AXLE-LOAD VEHICLE.
- Galiano Ayala, L. M., & Toapaxi Alvarez, J. A. (2010). Análisis de la socavación en cauces naturales.
- Godart, B., & Vassie, P. R. (1999). Bridge Management Systems: Extended Review of Existing Systems and Outline Framework for a European System. *BRIME PL97-2220-Project funded by European Commision, Deliverable D, 13*.
- Guevara, M. . (2003). *Socavación en puentes*. Universidad del Cauca.
- Instituto Nacional De Vías. (2006). «Socavación y protección contra socavación».

Instituto Nacional de Vías. (2007). «Socavación y protección contra la socavación», Documento dentro del Sistema de Administración de Puentes de Colombia(SIPUCOL), Bogotá, Colombia.

Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca. (1996). «Manual de inventario, inspección principal, inspección especial, inspección rutinaria y mantenimiento de Puentes».

Lauridsen, B., Andersen, N. ., & Lassen, B. (1998). *Creating a Bridge Management System. Structural Engineering International*.

LINDBLADH, L. (2000). Bridge Management within the Swedish National Road Administration.

M.T Perú. (2006, Marzo). GUÍA PARA INSPECCIÓN DE PUENTES.

Maldonado Rondón, E., Casas Rius, J. R., & Canas Torres, J. A. (2002). Aplicación de los conjuntos difusos en la evaluación de los parámetros de la vulnerabilidad sísmica de puentes. *Revista Internacional de Métodos Numéricos*.

MANUAL DE INVENTARIO OBRAS DE PASO. (2009, Diciembre).

MARASY, M. E. (2001). Data Information System for Structures: DISK.

Michigan Department of Transportation. (2007). PONTIS BRIDGE INSPECTION MANUAL.

Ministerio de Obras Publicas y transporte, R. de C. R. (2007). Lineamientos para mantenimiento de puentes.

Moreno, E. (2000). La corrosión del acero de refuerzo inducida por la carbonatación del concreto. *Ingeniería, Revista académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán*.

Moreno, E. I., Domínguez Lara, G., Cob Sarabia, E., & Duarte Gómez, F. (2004). Efecto de la relación aumento en la velocidad de carbonatación del concreto utilizando una cámara de aceleración. *Ingeniería—Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán*, 8(2), 117–130.

Muñoz, E., & Valbuena, E. (2004). Evaluación del estado de los puentes de acero de la red vial de Colombia. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 4(2), 125–140.

Muñoz Edgar y Valbuena Edgar. (2006, Febrero). «Los problemas de la socavación en los puentes de Colombia». *Revista de Infraestructura Vial*.

Muñoz Martín, A., & Carbó Gorosabel, A. (2006). Resultados y experiencias de aplicación del método de Refracción por Microtremor (Sísmica Pasiva) para la investigación geofísica de las nuevas líneas de metro en Madrid (España). *Geogaceta*, 40, 51-54.

Muñoz, E. E. (2011). *INGENIERÍA DE PUENTES*. Javeriana.

Muñoz, E. E. (2011). *“Ingeniería de Puentes –Tomo 1 y 2“ Grupo de investigación de “Estructuras y Construcción “del Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana. Editorial Javeriana.*

Muñoz, E. E., Niñez, F., & Mohammdi, J. (2009). An investigation of common causes of bridges collapse in Colombia. *Practice Periodical on Structural Design and Construction-ASCE*, 14(4), 194 -200.

Muñoz, E. E., Núñez, F., and Mohammadi, J.,. (2009). «An investigation of common causes of bridges collapse in Colombia,» *Practice Periodical on Structural Design and Construction-ASCE*, (Vol. 14). USA.

Muñoz, E. E., Valbuena, E., & Rodríguez, R. (2004). Estado y daños típicos de los puentes de la red vial nacional de Colombia, basados en inspecciones visuales. *Revista Rutas*.

Muñoz., E. E. (s.f.). Estudio de las causas del colapso de algunos puentes de Colombia. *Ingeniería y Universidad, Pontificia Universidad Javeriana*, (2001).

National Engineering Technology Corporation, Canada. (2008). BRIDGIT: User-Friendly Approach to Bridge Management.

Nell, A. J., Nordengen, P. A., & Newmark, A. (2008). Bridge management system for the Western Cape provincial government, South Africa: implementation and utilization.

Ochoa, F. (2002). ANÁLISIS ESPECTRAL DE ONDAS RAYLEIGH CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA NO INTRUSIVA.

ODOT BRIDGE ENGINEERING SECTION OREGON DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. (2009). BRIDGE INSPECTION POCKET CODING GUIDE.

Ohio Department of Transportation. (s.f.). INSPECTION AND EVALUATION OF WATERWAYS. *MANUAL INSPECCIÓN*.

PDI INGENIERÍA. (s.f.).

Ponce Delgado, A. (2003). Fallas en fundaciones. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, (3), 7–21.

Ray, J. C., Ortiz, W. V., Stanton, T. R., Cintrón, C. Y. L., & Velazquez, G. L. (2007). EVALUACIÓN DE DAÑOS Y REPARACIONES PROPUESTAS POR LAS FUERZAS ARMADAS ESTADOUNIDENSES PARA PUENTES UBICADOS EN ZONA DE COMBATE. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 7(2).

Reuelta Crespo, D., G. J., J.P. (s.f.). ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN MEDIANTE EL MUESTREO, EXTRACCIÓN Y ROTURA DE PROBETAS TESTIGO.

Robie Bonilla, G. (s.f.). tecnologías fluídicas para reducir la socavación local.

SIPUCOL. (1999). INSPECCIÓN PRINCIPAL.

Sistema nacional para la atención y prevención de desastres. (s.f.).

Spalletti, P., Brea, J. D., & Cardini, J. (s.f.). EROSIONES LOCALES Y POR CONTRACCIÓN EN PUENTES EN PLANICIES.

Takeuchi, C. P. (s.f.). Lecciones aprendidas con los estudios estructurales sobre las causas que ocasionaron el colapso de algunos puentes metálicos en Colombia.

THE IABMAS BRIDGE MANAGEMENT COMMITTEE. (2010). OVERVIEW OF EXISTING BRIDGE MANAGEMENT SYSTEMS.

Thompson, P. . (1993). PONTIS: The maturing of bridge management systems in te USA.

Thompson, P. D., & Kerr, B. (s.f.). A NEW BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM FOR ONTARIO.

U.S. DEPARTAMENT OF TRANSPORTATION. (2006, Diciembre). Bridge Inspector's Reference Manual.

Universidad de los Andes. (2007). «Manual para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad de puentes de la red vial principal de Colombia».

Universidad Nacional de Colombia. (1994). Causas del colapso del puente Los Ángeles.

Universidad Nacional de Colombia. (1996a). Causas del colapso del puente Purnio.

Universidad Nacional de Colombia. (1996b). Estudio de las causas del colapso del puente Heredia (Cartagena).

Universidad Nacional de Colombia. (1998a). Causas del colapso del puente Recio,.

Universidad Nacional de Colombia. (1998b). *Estudio de las causas del colapso del puente Pescadero localizado en el Departamento de Santander*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías.

YOKOYAMA, K., INABA, N., HONMA, A., & OGATA, N. (2006). DEVELOPMENT OF BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM FOR EXPRESSWAY BRIDGES IN JAPAN. *Technical Memorandum of Public Works Research Institute*, 99–104.