

**SISTEMA COMPUTACIONAL DE ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD EN PUENTES
DE LA RED VIAL NACIONAL EN COLOMBIA UTILIZANDO EL MODELO DE
JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA**

**OSCAR LEONARDO CELIS FONSECA
JHONNY ALEXANDER RODRÍGUEZ BAYONA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRIA EN INFRAESTRUCTURA VIAL
BOGOTÁ D.C. COLOMBIA
2018**

SISTEMA COMPUTACIONAL DE ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD EN PUENTES
DE LA RED VIAL NACIONAL EN COLOMBIA UTILIZANDO EL MODELO DE
JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA

Presentó:
OSCAR LEONARDO CELIS FONSECA
JHONNY ALEXANDER RODRÍGUEZ BAYONA

Tesis de grado para optar al título de Magister en Infraestructura Vial

Director del Proyecto
Ingeniero JUAN MANUEL LIZARAZO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRIA EN INFRAESTRUCTURA VIAL
BOGOTÁ D.C. COLOMBIA
2018

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. 05 de octubre de 2018

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos en especial al Ing. Jaime Garzón, por su conocimiento brindado en la iniciativa del proyecto, al Ing. Juan Manuel Lizarazo por el apoyo como Director del Proyecto, al Ing. Diego Fernando Garzón por su aporte en la estructuración de la herramienta computacional y a todos los Ingenieros de la Subdirección de Prevención y Atención de Emergencias del INVIAS, que de una manera directa o indirecta nos brindaron el apoyo y conocimiento al presente proyecto.

DEDICATORIA

Este proyecto no hubiese sido posible sin la colaboración, más bien, el tiempo cedido para ejecutar esta meta, en especial a mis hijos Daniela, Johanna y Cristian, a mi señora Yaneth Rodriguez que siempre me brindo fortaleza y ahínco y también dio sus pinceladas en la corrección de estilo al proyecto, a mis padres Carmenza y Alfonso por su apoyo incondicional y a mi DIOS que todo lo puede, gracias.

JHONNY A.

Dedico este tesis a Dios porque quien nos guio por este camino por darnos las fuerzas para continuar y no desfallecer, a mi Familia quienes por ellos soy lo que soy, de manera muy especial a mis padres Hugo y Mariela que durante este tiempo me apoyaron para lograr los objetivos, a mi adorada Esposa Edna quien fue el motor y mi apoyo incondicional de todo este proyecto. Gracias a ellos por estar presentes en esta etapa tan importante de mi vida.

OSCAR.

TABLA DE CONTENIDO

<u>1. PLANEACION DEL PROYECTO.....</u>	<u>20</u>
1.1. GENERALIDADES	20
1.2. JUSTIFICACIÓN	20
1.3. OBJETIVOS	23
1.3.1. GENERALES.....	23
1.3.2. ESPECÍFICOS	23
1.4. ALCANCES DEL PROYECTO	23
1.5. METODOLOGÍA	24
<u>2. MARCO CONCEPTUAL Y LEGAL.....</u>	<u>24</u>
2.1. MARCO CONCEPTUAL	24
2.2. MARCO LEGAL	24
<u>3. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL MODELO DE EVALUACIÓN.....</u>	<u>25</u>
3.1. ANÁLISIS JERÁRQUICO DE PROCESOS.....	25
3.2. EL PROCESO DE DECISIÓN (7)	26
3.2.1. ELEMENTOS:.....	27
3.2.2. PROCESO:.....	27
3.2.3. RESULTADO:.....	27
3.3. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE CONSISTENCIA (RC).....	31
3.4. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS JERÁRQUICO	32
3.5. VENTAJAS DE LA METODOLOGÍA	34
<u>4. MODELO DE EVALUACION PARA PUENTES CON METODOLOGIA MULTICRITERIO</u>	<u>34</u>
4.1. PRIMERA CATEGORÍA FACTORES DE RIESGO POR CRITERIOS DE INTERVENCIÓN:.....	35
4.2. SEGUNDA CATEGORÍA FACTORES DE CONSECUENCIA POR CRITERIOS DE INTERVENCIÓN:	35
4.3. TERCERA CATEGORÍA REQUERIMIENTOS DE INVERSIÓN:	35
4.4. FUNCIONES LINEALES DE UTILIDAD	36
4.4.1. INDICADOR DE RIESGO PONDERADO DEL PUENTE “I”	36
4.4.2. INDICADOR DE CONSECUENCIAS POR FALLAS DEL PUENTE “I”	36
4.4.3. INDICADOR DE COSTO DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE “I”	36
4.5. FACTORES DE PONDERACION	37
4.6. CALIFICACION DE INDICADORES	40
4.6.1. INDICADOR DE RIESGO (14)	41
4.6.2. INDICADORES DE CONSECUENCIA POR FALLA EN EL PUENTE (ICP)	43
4.7. MODELO DE SELECCIÓN DE PRIORIDADES	46
4.8. PROPUESTA DEL ALCANCE DEL PROYECTO.....	47
4.8.1. RECOPIACION DE DATOS DEL MODULO DE INVENTARIO	47
4.8.2. TIPOLOGIA GENERAL DE PUENTES:.....	48
4.8.3. COMPONENTES DEL PUENTE:.....	56
<u>5. ESQUEMAS DEL MODULO DE EVALUACION</u>	<u>74</u>
5.1. DAÑOS EN ELEMENTOS DE CONCRETO	74

5.1.1.	DAÑOS ESTRUCTURALES EN UN PUENTE DE CONCRETO:	74
5.1.2.	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES EN PUENTES DE CONCRETO	74
5.1.3.	EVALUACIÓN DE DAÑOS EN LA SUPERESTRUCTURA	75
5.1.4.	EVALUACIÓN DE DAÑOS EN LA INFRAESTRUCTURA	84
5.1.5.	EVALUACIÓN DE DAÑOS EN ELEMENTOS FUNCIONALES	96
5.2.	DAÑOS ESTRUCTURALES EN ELEMENTOS METALICOS	107
5.2.1.	OXIDACIÓN, CORROSIÓN Y HERRUMBRE	108
5.2.2.	DEFORMACIONES Y PANDEO	111
5.2.3.	DESPRENDIMIENTO DE REMACHES Y PERNOS	112
5.2.4.	FRACTURAS POR SOLDADURA INSUFICIENTE	115
5.2.5.	DAÑOS POR COLISIÓN O CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS	117
5.2.6.	DAÑOS POR FATIGA	119
5.2.7.	PROBLEMAS DE FATIGA EN CONEXIONES SOLDADAS	121
5.2.8.	PROBLEMAS DE FATIGA EN CONEXIONES PERNADAS	123
5.2.9.	PROBLEMAS DE FATIGA EN DIAGONALES	125
5.2.10.	PROBLEMAS DE FATIGA EN APOYOS	126
5.2.11.	PROBLEMAS DE FATIGA EN LAS UNIONES DE LOS CABLES	128
5.2.12.	PROBLEMAS DE FATIGA EN LOS EMPOTRAMIENTOS DE LOS CABLES	129
5.2.13.	IMPACTO Y DAÑOS EN BARANDAS METÁLICA (PINTURA/POSTES Y PASAMANOS)	131
5.3.	EVALUACIÓN HIDRÁULICA	132
5.3.1.	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN PARA INSPECCIÓN POR EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN PUENTES. ...	133
5.4.	EVALUACION GEOTECNICA	140
5.4.1.	SISMICIDAD:	140
5.4.2.	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA POR SISMICIDAD	145
5.5.	EVALUACION DEL INDICADORES DE CONSECUENCIA DEL PUENTE	149
5.5.1.	INDICADOR DE CONSECUENCIA POR NIVELES DE TRANSITO (T):	150
5.5.2.	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL (VR):	150
5.5.3.	EVALUACIÓN DEL VALOR ESTRATÉGICO DEL PUENTE (VEP):	152
6.	PROGRAMACION Y HERRAMIENTA COMPUTACIONAL DEL MODULO DE INVENTARIO	155
6.1.	MODULO DE EVALUACION	155
6.2.	MODULO DE DECISION/PRIORIZACION	158
6.3.	DATOS DE ENTRADA	158
6.4.	DATOS DE SALIDA	158
6.5.	DATOS FINALES DEL PROGRAMA	158
6.6.	ALGORITMO DEL PROGRAMA	159
6.6.1.	BASE DE DATOS	159
6.6.2.	ARQUITECTURA DEL PROGRAMA	159
6.6.3.	MANUAL DEL USUARIO DEL PROGRAMA	162
	RECOMENDACIONES O SUGUERENCIAS	164
	REFERENCIAS	167
	BIBLIOGRAFIA	169
	ANEXO NO. 1 MANUAL DEL USUARIO	174
	ANEXO NO. 2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN POR SIPUCOL	175

TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 ENUMERACIÓN DE LOS ELEMENTOS	15
ILUSTRACIÓN 2 PUENTE LOSA VIGA	16
ILUSTRACIÓN 3 SÍNTESIS DEL MODELO	33
ILUSTRACIÓN 4 PARTES DE UN PUENTE EN CONCRETO SIMPLEMENTE APOYADO	48
ILUSTRACIÓN 5 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUENTE	55
ILUSTRACIÓN 6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA LONGITUDINAL	57
ILUSTRACIÓN 7 ESTRUCTURA TRANSVERSAL TIPO LOSA	59
ILUSTRACIÓN 8 ESTRUCTURA TRANSVERSAL TIPO LOSA SOBRE VIGAS	59
ILUSTRACIÓN 9 ESTRUCTURA TRANSVERSAL TIPO VIGAS CAJÓN	60
ILUSTRACIÓN 10 ESTRUCTURA TRANSVERSAL TIPO ARMADURA DE PASO INFERIOR	60
ILUSTRACIÓN 11 ESTRUCTURA TRANSVERSAL TIPO ARMADURA DE PASO SUPERIOR	61
ILUSTRACIÓN 12 ESTRUCTURA TRANSVERSAL TIPO ARMADURA DE PASO A TRAVÉS.	61
ILUSTRACIÓN 13 ESTRUCTURA TRANSVERSAL TIPO ARCO SUPERIOR	62
ILUSTRACIÓN 14 ESTRUCTURA TRANSVERSAL ARCO INFERIOR TIPO ABIERTO.	62
ILUSTRACIÓN 15 ESTRUCTURA TRANSVERSAL ARCO INFERIOR TIPO CERRADO	63
ILUSTRACIÓN 16 TIPO DE APOYO JUNTA DE CONSTRUCCIÓN (ACASO CON UNA CAPA DE CARTÓN ASFALTADO O DE PLOMO)	63
ILUSTRACIÓN 17 TIPO DE APOYO BALANCÍN DE CONCRETO	64
ILUSTRACIÓN 18 TIPO APOYO PLACA DE NEOPRENO	64
ILUSTRACIÓN 19 TIPO DE APOYO FIJO DE ACERO	64
ILUSTRACIÓN 20 TIPO DE APOYO DE DESLIZAMIENTO EN ACERO	65
ILUSTRACIÓN 21 TIPO DE APOYO BALANCÍN DE ACERO	65
ILUSTRACIÓN 22 TIPO DE APOYO DE RODILLOS (ACERO)	65
ILUSTRACIÓN 23 TIPO DE JUNTA DE EXPANSIÓN PLACA DE ACERO	66
ILUSTRACIÓN 24 TIPO DE JUNTA DE EXPANSIÓN PLACA DE ACERO CUBIERTA DE ASFALTO	66
ILUSTRACIÓN 25 JUNTA DE EXPANSIÓN TIPO ÁNGULOS O PLACA VERTICAL DE ACERO	66
ILUSTRACIÓN 26 JUNTA DE EXPANSIÓN TIPO JUNTA DENTADA	66
ILUSTRACIÓN 27 JUNTA DE EXPANSIÓN TIPO ACERO CON SELLO FIJO EN NEOPRENO	66
ILUSTRACIÓN 28 JUNTA DE EXPANSIÓN TIPO ACERO CON SELLO DE NEOPRENO COMPRIMIDO	66
ILUSTRACIÓN 29 JUNTA DE EXPANSIÓN TIPO BLOQUE DE NEOPRENO	67
ILUSTRACIÓN 30 JUNTA DE EXPANSIÓN TIPO GOMA ASFÁLTICA	67
ILUSTRACIÓN 31 JUNTA DE EXPANSIÓN TIPO NO DISPOSITIVO DE JUNTA	67
ILUSTRACIÓN 32 JUNTA DE EXPANSIÓN TIPO CARTÓN ASFALTADO	67
ILUSTRACIÓN 33 31JUNTA DE EXPANSIÓN TIPO CARTÓN ASFALTADO CON SELLO	67
ILUSTRACIÓN 34 ANDÉN Y SEPARADOR DEL PUENTE	68
ILUSTRACIÓN 35 PILA SÓLIDA	68
ILUSTRACIÓN 36 COLUMNA SÓLIDA	69
ILUSTRACIÓN 37 PILA DE DOS O MÁS COLUMNAS SIN CABEZAL	69
ILUSTRACIÓN 38 TIPO PILA, COLUMNA SOLA CON CABEZAL	69
ILUSTRACIÓN 39 TIPO PILAS CON DOS O MÁS COLUMNAS CON CABEZAL	69
ILUSTRACIÓN 40 TIPO PILAS CON DOS O MÁS COLUMNAS CON CABEZAL COMÚN	70
ILUSTRACIÓN 41 TIPO PILAS CON DOS O MÁS COLUMNAS CON CABEZAL COMÚN Y DIAFRAGMA (O VIGAS HORIZONTALES)	70
ILUSTRACIÓN 42 TIPO PILAS COLUMNAS CON CABEZAL	70
ILUSTRACIÓN 43 TIPO PILAS CON PILOTES CON CABEZAL	71
ILUSTRACIÓN 44 TIPO PILAS CON PILOTES CON CABEZAL Y DIAFRAGMA (O VIGAS HORIZONTALES)	71
ILUSTRACIÓN 45 ESTRIBOS CON ALETAS INTEGRADAS/SEPARADAS	72
ILUSTRACIÓN 46 ESTRIBOS ENTERRADO, SOLIDO	72
ILUSTRACIÓN 47 ESTRIBOS ENTERRADO, COLUMNAS O PILOTES CON VIGA CABEZAL	72
ILUSTRACIÓN 48 ALGORITMO DEL PROGRAMA	160

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 RESUMEN DE PUENTES INTERVENIDOS POR LA OLA INVERNAL 2010 - 2011 EN LA RED VIAL NACIONAL.	21
TABLA 2 ESQUEMA DEL PROBLEMA DE DECISIONES	26
TABLA 3 ESCALA DE SAATY PARA LA TOMA DE DECISIONES	29
TABLA 4 ÍNDICES ALEATORIOS POR TAMAÑO DE MATRIZ	32
TABLA 5 FACTORES DE PONDERACIÓN DE LA IMPORTANCIA RELATIVA PARA LOS INDICADORES DE RIESGO PONDERADO.	37
TABLA 7 FACTORES DE PONDERACIÓN PARA LOS INDICADOR DE CONSECUENCIA DEL PUENTE.	40
TABLA 8 CALIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PUENTE CON EL MODELO DE DECISIÓN MULTICRITERIO DISCRETO.	40
TABLA 9 MODELO DE DATOS	47
TABLA 10 TIPO DE SUPERESTRUCTURA	56
TABLA 11 TIPO DE MATERIAL DE LA SUPERESTRUCTURA	57
TABLA 12 TIPO DE VIGA DEL PUENTE	58
Tabla 13 Tipo de material de la Superestructura	59
TABLA 14 TIPO DE ESTRUCTURA TRANSVERSAL DE LA SUPERESTRUCTURA	58
TABLA 15 TIPO DE APOYOS	63
TABLA 16 JUNTAS DE EXPANSIÓN	65
TABLA 17 ANDENES	67
TABLA 18 TIPO DE PILAS/PILONES/COLUMNAS	68
TABLA 19 EL TIPO DE ESTRIBOS	71
TABLA 20 MATERIAL DE LOS ESTRIBOS/PILAS	72
TABLA 21 TIPO DE CIMENTACIÓN DE ESTRIBOS/PILAS	73
TABLA 22 EL TIPO DE COLUMNA	73
TABLA 23 TIPO DE AMENAZAS SÍSMICA PARA COLOMBIA DE ACUERDO AL IDEAM (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES).	141
TABLA 24 TABLA DE EVALUACIÓN POR SISMICIDAD	145
TABLA 25 CLASIFICACIÓN DE LAS REGIONES DE COLOMBIA DE ACUERDO CON EL MAPA DE PLUVIOMETRÍA	147
TABLA 26 CALIFICACIÓN GEOTÉCNICA POR LLUVIAS	148
TABLA 27 Clasificación de las regiones de Colombia de acuerdo con el mapa de Pluviometría	148
TABLA 28 Calificación geotécnica por lluvias	148
TABLA 29 Caracterización y clasificación del proceso de remoción en masa	148
TABLA 30 Criterios de evaluación de proceso en masa	148
TABLA 31 Calificación de Niveles de Transito	149
Tabla 32 Calificación por Importancia de cierre	149
TABLA 33 CALIFICACIÓN POR FECHA DE CONSTRUCCIÓN	152
TABLA 34 Calificación por Pendiente del tramo	151
TABLA 15 Calificación por fecha de construcción	151
TABLA 36 Calificación por configuración estructural	151
TABLA 37 Calificación por existencia de vías alternas	152
TABLA 38 Evaluación por sensibilidad ambiental	152
TABLA 39 Esquema del Módulo de evaluación	153
TABLA 40 Indicador de riesgo ponderado del puente	155
TABLA 41 Indicador de Consecuencia	155
TABLA 42 Árbol de Jerarquías	156
TABLA 43 Fundamento teórico del modelo AHP	157

LISTA DE FOTOS

FOTO NO. 1 PUENTE CARRETERA EL ZULIA – GRAMALOTE (1)	49
FOTO NO. 2 PUENTE SANTA INÉS PR9+000 CARRETERA AGUA CLARA – OCAÑA (2)	50
FOTO NO. 3 PUENTE RIO NEGRO CARRETERA BOGOTÁ – VILLAVICENCIO (3)	50
FOTO NO. 4 CAÑO YUCA – SUCRE	51
FOTO NO. 5 PUENTE CAJAMARCA	52
FOTO NO. 6 PUENTE SAN JOSÉ DE FRAGUA – CAQUETÁ	52
FOTO NO. 7 PUENTE CASACARA- CESAR	53
FOTO NO. 8 PUENTE JUNTAS RIO PÁEZ CAUCA	53
FOTO NO. 9 PUENTE CAMBAO SOBRE EL RIO MAGDALENA	54
FOTO NO. 10 PUENTE ALFONSO LÓPEZ PUMAREJO – ATLÁNTICO	54
FOTO NO. 11 VIADUCTO PEREIRA – DOSQUEBRADAS	55

Las demás fotografías que aparecen en las fichas de daño de este proyecto son de la colección propia de los autores.

GLOSARIO

A continuación, se relacionan algunas definiciones utilizadas en la elaboración del presente proyecto:

ACTUALIZACIÓN SÍSMICA: involucra el análisis total de la estructura desde las fundaciones, pasando por la subestructura y su conexión con la superestructura para que al realizar el análisis de vulnerabilidad sísmica se dé la actualización y cumplimiento a lo establecido en la sección A. 3.5 CARGAS POR SISMO del Código Colombiano de diseño sísmico de puentes y el cumplimiento de las Normas Colombianas de diseño y Construcción Sismo – Resistente. Los procesos constructivos involucran el estudio del espectro sísmico desde el componente geotécnico hasta la forma de implementar los conectores entre la superestructura y la subestructura. Estas actividades requieren del mantenimiento y reforzamiento previo de los elementos estructurales.

AMENAZA: evento físico o condición peligrosa de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, capaz de causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Guía Metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000, Servicio Geológico Colombiano – SGC, Dic 2017.)

CAMBIO CLIMÁTICO: importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras. (**Artículo 4o. Definiciones Ley 1523 de 2012.**)

DAÑO: Es un deterioro en la condición original de un componente estructural, causado por efectos como desgaste, contaminación ambiental, acciones físicas y químicas, e impactos de usuarios, entre otros.

EVALUACIÓN DE CAUSA DE DAÑO: determinación de la causa de un daño. Un daño puede tener varias causas, y uno de los daños podría haber facilitado la aparición de otros.

EMERGENCIA: situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general. (**Artículo 4o. Definiciones Ley 1523 de 2012.**)

INSPECCIÓN: Es una revisión sistemática de la estructura o parte de ella, con el propósito de registrar tipo y extensión de daño o falta de limpieza. (SIPUCOL - INVIAS).

MANTENIMIENTO RUTINARIO Y LIMPIEZA: son un conjunto de obras, con procedimientos de ejecución sencillos y con utilización de herramientas menores, que se realizan para devolver a una estructura o a un componente, la condición de funcionamiento para la cual fueron diseñados. Son obras que se ejecutan a intervalos iguales o menores a un (1) año. Obras que se ejecutan a intervalos mayores de un año se denominan Mantenimiento Periódico, o Reparación/ Refuerzo/Rehabilitación. (SIPUCOL - INVIAS)

OPERACIÓN: la operación de una estructura comprende las actividades de inspección, limpieza y mantenimiento. (SIPUCOL - INVIAS)

PASO: un paso es una arteria principal (por ejemplo, una carretera, un ferrocarril, una tubería o un curso de agua) que pasa por encima, por debajo o en las cercanías de una estructura. (SiPuCol - INVIAS)

PASO DEPRIMIDO: para el presente proceso se entiende por paso deprimido una intersección vial a desnivel con paso inferior, es decir la nueva calzada se encuentra por debajo del nivel de la intersección inicial. Pueden estar localizados en vías urbanas y/o en carreteras. (Pliegos modelos INVIAS)

PILOTE Y/O CAISSON: elemento constructivo utilizado para cimentación de obras, que permite trasladar las cargas hasta un estrato resistente del suelo, cuando este se encuentra a una profundidad tal que hace inviable, técnica o económicamente, una cimentación más convencional mediante zapatas o losas, para la experiencia en el presente proceso pilote y caisson es equivalente. (Pliegos modelos INVIAS)

PUENTE: es una obra de arte con la que se salva un obstáculo, dando continuidad a una vía conectando dos puntos, los obstáculos a salvar pueden ser otra vía, ya sea carretable o férrea. Una corriente de agua o una depresión del terreno. Los puentes se construyen con el fin de permitir la circulación de personas, vehículos, trenes y líquidos.

PUENTE MIXTO: para el presente proceso se considera como aquel que teniendo mínimo dos luces, una de ellas es metálica y la otra en concreto hidráulico.

PUENTE METÁLICO: para el presente proceso se considera puente metálico toda estructura cuya losa o placa de circulación vehicular está soportada por elementos estructurales metálicos.

PUENTE EN CONCRETO: para el presente proceso se considera puente en concreto toda estructura cuya losa o placa de circulación vehicular está soportada por elementos estructurales contruidos con concreto hidráulico.

PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE PUENTES: se entiende por construcción de puentes la actividad mediante la cual se materializan las obras derivadas de los diseños técnicos de ingeniería asociados a la construcción de una infraestructura de transporte que permita la continuación de la circulación de automóviles (carros, buses, camiones, autobuses) en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad, permitiendo pasar obstáculos, como ríos, quebradas, otras vías, carreteras, vías férreas, entre otros.

REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL: adición de fuerza o capacidad de carga a un elemento estructural que hace parte de un todo ya sea definido como superestructura, sub estructura o fundación. Los ejemplos incluyen la colocación de barras de refuerzo de metal debidamente ancladas al elemento existente en la forma establecida en los estudios y diseños antes de verter el hormigón; o colocar las placas de refuerzo metálicos en la intersección de varios elementos; o realizar el reforzamiento mediante la implementación de sistemas compuestos como el refuerzo con fibra de carbono; o utilización de aceros estructurales; o implementación de reforzamiento mediante tensionamiento exterior de los elementos requeridos. Es de resaltar que puede llevarse a cabo la combinación de varias de las actividades mencionadas según lo establezcan los estudios y diseños para el reforzamiento estructural. En ningún caso se tiene en cuenta el componente sísmico, ni un análisis geotécnico de las fundaciones, ni estudios hidráulicos de la estructura; puesto que la actividad consiste en reforzar los elementos que se encuentran en mal estado y permitir aumentar la vida útil de la misma.

Las actividades de reforzamiento se realizan para recuperar la capacidad por la acción de agentes externos a la estructura como ataques terroristas; accidentes y/o colisiones; fuerza mayor o caso fortuito donde se presente una mayor acción de las cargas por vientos, mayor fuerza de la corriente, material de arrastre y condiciones de sedimentos; y el empuje de tierras no contempladas en los diseños iniciales. Además de ataques por agentes químicos y/o la falta de mantenimiento de los elementos estructurales los cuales afectan la durabilidad y la estabilidad de la estructura. Esta actividad no implica actualizar la capacidad de carga de la estructura. Estas actividades requieren del mantenimiento previo de los elementos estructurales.

REPOTENCIACIÓN ESTRUCTURAL: consiste en el reforzamiento del conjunto de elementos estructurales de tal forma, que se pueda adicionar la capacidad de la estructura mediante procesos constructivos que garanticen el aumento de la capacidad para la cual fue diseñada inicialmente. En el caso específico de los puentes involucra la actualización de cargas por el nuevo camión de diseño según lo establecido en el Código Colombiano de diseño sísmico de puentes CCDSP-14 sección 3.6 CARGA VIVA. y/o la necesidad de adosar nuevos elementos (involucran nuevas cargas) para realizar ampliación del tablero y/o añadir pasos de tuberías y/o redes de servicios públicos o cualquier otro requerimiento de carga que no se encontraba previsto en el diseño inicial de la estructura. Por ende, no involucra el componente sísmico. Estas actividades requieren del mantenimiento previo de los elementos estructurales. (pliegos modelos INVIAS)

SIPUCOL: Sistema de Administración de mantenimiento de puentes en Colombia desarrollado por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS con la participación de la Dirección de Carreteras de Dinamarca en 1996.

VULNERABILID: Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

Abreviaturas de los componentes – Sipucol - Invias:

Se numera de acuerdo al centro de coordenadas para cada luz independiente de izquierda a derecha.

A continuación, se presentan dos ejemplos de la enumeración de los componentes de un puente.

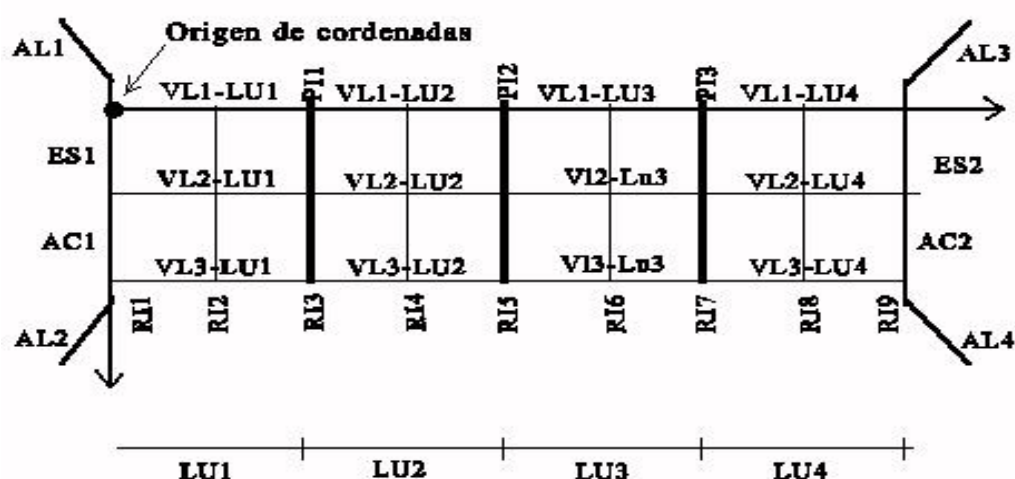


Ilustración 1 Enumeración de los elementos
Tipo: Puente de losa viga

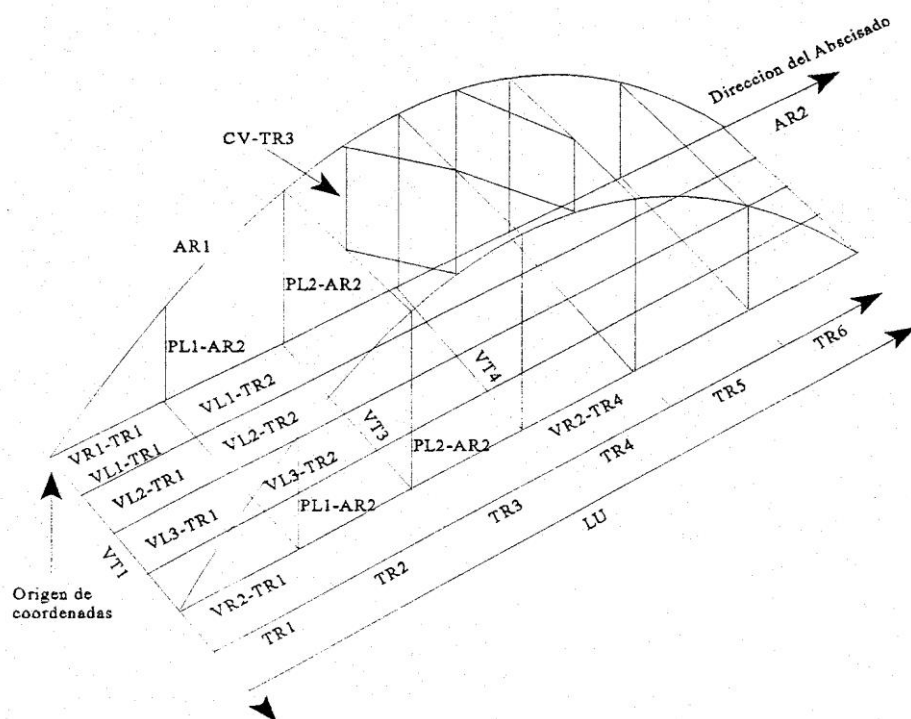


Ilustración 2 Puente Losa Viga

Para efectos de la identificación de los componentes se introducen las siguientes abreviaturas:

Estribo:	ES
Pila:	PI
Aleta:	AL
Cono/talud:	CO
Torre:	TO
Losa:	LO
Viga longitudinal:	VL
Viga transversal:	VT
Viga de rigidez:	VR
Viga riostra:	RI
Viga cajón:	VC
Contraventeo:	CV
Arco:	AR
Cercha:	CE
Pendolón:	PE
Junta:	JU
Apoyo:	AP
Luz:	LU
Tramo:	TR
Acceso:	AC

RESUMEN

Las entidades gubernamentales para la gestión en la administración vial, se ven obligados a realizar intervenciones en los puentes en la medida que estos son reportados como afectados por acciones de lluvias intensas, de la sobrecarga, socavación en la cimentación, sismos, etc. Esta toma de decisiones en la mayoría de los casos se ejecuta sin ninguna planeación, atendiendo los puentes en la medida que se van afectando, por lo que el presente trabajo pretende ser el inicio de una planeación efectiva para priorizar el daño en las estructuras viales y en especial el punto crítico de la misma como lo son los puentes.

Este proyecto pretende crear una herramienta computacional con una evaluación de los puentes tomando criterios de decisión y muchas más variables que de una u otra forma se involucran en la toma de decisiones para su inmediata intervención y utilizando la evaluación de los daños estructurales, hidráulicos y geotécnicos como indicadores de riesgos ponderado del puente y como indicadores de consecuencia se utilizó los criterios de nivel de tránsito y valor estratégico del puente, con los respectivos subcriterios y elementos funcionales, infraestructura y superestructura, socavación del puente en pilas, estribos y aletas, grado de importancia dentro de la red vial, tránsito promedio diario-TPDS, importancia de la vía, impacto por cierre, dificultad de recuperación de la vía, pendiente del tramo, fecha de construcción del puente, configuración estructural del puente, vías alternas y sensibilidad ambiental; abarcando en su gran mayoría los criterios técnico-político y socio-ambiental que intercedan en la toma de decisión para una intervención en la evaluación de los puentes.

Para el modelo de procesos de decisión, aunque la metodología permite generar valores de los pesos, a través de expertos o juicio de valores de un centro decisor, en el presente proyecto se generaron los pesos de manera cualitativa midiendo su consistencia, los cuales se tomaron en base a las tres evaluaciones de puentes realizadas por el INVIAS en los años 1996-1997, 2001-2002 y 2008-2009, estos pesos podrían ser modificados por el administrador experto del programa en caso de requerirse criterios o "juicios subjetivos realizados por los expertos" **(1)**, una matriz de comparación por pares de factores en una escala de valoración de acuerdo a las preferencias utilizando la escala de valores de Saaty de igual o extrema importancia o sea de 1 (uno) cuando es débil la comparación y hasta 10 (diez) cuando la comparación es fuerte. Se ejecuta el proceso de normalización de la matriz para la obtención de los pesos relativos para cada par de criterios, realizando el cálculo de la relación de congruencia con la finalidad de verificar la consistencia de los juicios individuales y obteniendo el vector de prioridad para cada par de criterios. Con esta metodología se generó el modelo de decisión multicriterio con la jerarquización analítica mezclando el criterio técnico-político y socio-ambiental en el ordenamiento de las prioridades para la toma de decisiones en la intervención para el gestionamiento de puentes.

INTRODUCCION

Uno de los componentes en la infraestructura vial lo conforman los puentes con la finalidad de superar una depresión topográfica y dar continuidad a la estructura vial. En Colombia para un total de 3266 puentes vehiculares del orden nacional (Inspección 2012) y en el contexto Distrital Capital de 921 estructuras de las cuales 511 son vehiculares (55,5%) y 410 son peatonales (44,5%)(2), estructuras que cuenta con un mínimo de seguimiento, actualmente los instrumentos de seguimiento y control como herramientas computarizadas son muy deficientes o limitadas ya que, cada año existe una nueva política de seguimiento con el tema de la funcionalidad de la infraestructura y su consiguiente reparación y/o mantenimiento; más bien las decisiones van dirigidas al cumplimiento del Plan Nacional o Regional de Desarrollo que deberá cumplir las metas a cualquier costo en el periodo del Presidente o gobernante elegido en ese momento, sin mirar retrospectivamente políticas pasadas y proyectos a mediano y largo plazo que disminuirán los costos de inversión y optimizarían el escaso recurso presupuestal con que cuentan las entidades encargadas de dicha gestión, esto aunado al advenimiento de las concesiones donde todo parece que el concesionario es el dueño de la vía mas no el estado, dificultado aún más el proceso de gestión vial en toda la red vial nacional, para la unificación de criterios y toma de decisiones.

El Instituto Nacional de Vías encargada de las vías nacionales no concesionadas actualmente posee un sistema llamado SIPUCOL – Sistema de Administración de Mantenimiento de Puentes de Colombia, en una plataforma desactualizada con un sistema operativo que ya no se utiliza (D.O.S) para los más de 1700 puentes a su cargo, sistema desarrollado con la participación de la Dirección de Carreteras del Dinamarca, el cual realiza un inventario del estado de aproximadamente 3266 puentes a nivel nacional desde un punto de vista estructural e hidráulico dándole una calificación de 1 a 5, parámetro este que no es utilizado para priorizar los puentes en su intervención.

Adicionalmente, se revisó la metodología utilizada por el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU que cuenta con una evaluación de puentes a través de una hoja de cálculo Excel programada donde se evalúa por tipología de puentes (vehicular o peatonal), aspectos físicos (suciedad, hormigueos, humedades), estado de los elementos (superestructura, infraestructura, capa de rodadura, barrera de protección, junta de dilatación, accesos), aspectos mecánicos (asentamientos, fisuras y grietas, desprendimiento y vibraciones) y aspectos químicos(fluorescencia, oxidación y corrosión, perdida recubrimiento, espesor-pintura, material orgánica) dándole una calificación en un estado de bueno a malo de cero (0) a cinco (5) en un grado de calificación igual que el Sipucol con la facilidad de calcular con decimal, para lo cual se sigue la metodología contemplada en los formatos de “Toma de información de pre-diagnóstico y diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de movilidad y espacio público construido de Bogotá D.C para la estructuración de programas de conservación”.

Estas metodológicas no tiene en cuenta otras variables como por ejemplo la tipología de puentes o la importancia del mismo dentro de la red vial, que conjugadas con los factores de riesgo y vulnerabilidad por agentes sísmicos y de lluvia, tipo de carreteras, asociados al grado de importancia o peso relativo de cada variable; son los conceptos que se tomaran para desarrollar este proyecto y apoyado con el modelo de análisis de decisión multicriterio desarrollado por Thomas Saaty en la Universidad de Pennsylvania, como herramienta en la toma de decisiones y en la jerarquización para la intervención de los puentes, ya que se pretende realizar una herramienta computacional, que permita priorizar la atención oportuna de los puentes bajo el modelo de análisis de decisión multicriterio, dando con esto un aporte a la Gestión y Administración en el mantenimiento de puentes en Colombia, la base de datos utilizada para, se realizó una revisión al programa Expert.Choice.V11 pero no facilitaba el cargue de base de datos y las muchas variables que contempla una estructura de un puente, por lo que se decidió desarrollarlo en el programa en Oracle V8, el cual registra las características más relevantes de naturaleza técnica y de inspección visual de los puentes en una red vial, en base a la inspección visual del puente y con las características de la zona de influencia con los criterios del estado del puente, de nivel de tránsito y valor estratégico del puente, socavación del puente en pilas, estribos y aletas, grado de importancia dentro de la red vial, Transito Promedio Diario - TPDS, importancia de la vía, impacto por cierre, dificultad de recuperación de la vía, pendiente del tramo, fecha de construcción del puente, configuración estructural del puente, vías alternas, sensibilidad ambiental.

Para cada criterio y subcriterios se define los pesos respectivos de importancia obteniendo valores numéricos para los juicios de preferencia, al sumar estos pesos por pares de criterios, se realiza la matriz normalizada obteniendo el vector de prioridad y definir la mejor alternativa como aquella con mayor valor de prioridad y en su orden el grado de intervención a realizar en cada puente. Conformando con esta una base de datos de cada puente que podrá ser consultado y actualizado en cada inspección y ejecutando una política de reparación de daño y una herramienta computacional que sea ágil y de fácil manejo para el usuario de seguimiento de las estructuras y su comportamiento tanto estructural como hidráulico y ambiental. Adicionalmente y con la facilidad del programa se podrían generar reportes por puente y/o puentes con sus respectivas características y datos de la evaluación con imágenes fotográficas que visualizarían aún más la presentación de la información y la toma de decisiones en su intervención.

1. PLANEACION DEL PROYECTO

1.1. GENERALIDADES

Diseñar una herramienta computacional, que sea ágil y fácil manejo y defina las políticas de reparación de daño desde el punto de vista hidráulicos, geotécnicos y estructurales; de igual manera realizar un análisis como consecuencia de la intervención de los agentes naturales, sobrecargas y daños impuestas por tránsito vehicular, fenómenos de socavación y/o erosión, causas de movimiento sísmicas, permitiendo evaluar el estado de vulnerabilidad de los puentes, teniendo en cuenta la afectación a que se han visto en la ola invernal 2010 – 2011, como herramienta en la toma de decisión y para la jerarquización de la intervención se aplicará el modelo de análisis multicriterio desarrollado por Thomas L Saaty de la Universidad Pennsylvania.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Como consecuencia del fenómeno natural denominado “fenómeno de la niña” que afectó la economía de nuestro país en especial cerca de 400 puntos en carreteras de la nación(3), el estado realizó la inversión de manera obligatoria y prioritaria para dar transitabilidad en la red vial, este efecto de la ola invernal se puede considerar por la pérdida o deterioro de la infraestructura pública y privada y del tiempo requerido e incremento de los costos de producción para recuperar los niveles de productividad.

El estado colombiano cuenta con aproximadamente 3266 puentes en la red vial nacional(4) entre concesionados y no concesionados y de 921 puentes vehiculares y peatonales del orden Distrito Capital; los cuales deben mantener en buenas condiciones de transitabilidad, realizando una inversión sin ningún orden de prioridades, ni planeamiento solo a merced de la priorización del Administrador de turno y muchas veces presionados por la parte política, por lo que los recursos de la administración pública se utilizan de forma inadecuada, sobrediseñando la intervención que en muchos de los casos, los factores de seguridad sobrepasan los estimados en la realidad. Por lo que se requiere de un sistema que seleccione de manera objetiva, adecuada, oportuna y eficiente la afectación de los puentes y su posible intervención a corto, mediano o largo plazo; este proyecto permitirá crear una la herramienta que contenga recopilación de información básica de los puentes de la red vial nacional, inventario de los puentes

afectados por diferentes causas, calificaciones de los puentes seleccionados, priorización de los daños que ayudará en la toma de decisión.

En la toma de decisiones se utilizara el método de análisis multicriterio que permite considerar problemas de decisión con múltiples objetivos y con información cualitativa y cuantitativa, como es el caso de los puentes donde actúan el número de puentes para intervenir, que pueden ser evaluados en base a criterios relevantes como las fallas estructurales, hidráulicas, funcionamiento y seguridad vial y el tipo de consecuencias a valorar como económicas, sociales, ambientales; como resultado de este proceso matricial normalizado se obtiene de los pesos relativos de cada factor que definirán la ecuación lineal de priorización de los puentes a intervenir. Con esta metodología se pretende dar un aporte y viabilizar la toma de decisión desde el punto de vista técnico, político y socio-ambiental de la gestión del mantenimiento de puentes en Colombia.

Tabla 2 Resumen de puentes intervenidos por la ola invernal 2010 - 2011 en la red vial nacional.

Departamento	Nombre del Puente Intervenido	Inversión para su reparación	Carretera
ANTIOQUIA	Puente sobre el rio Mulato	\$ 2.145.155.630	Necocli – Arboletes
	Puente La Palestina	\$ 5.200.000.000	Barbosa – Cisneros
CASANARE	Puente Banadia	\$ 1.200.000.000	La Cabuya – Saravena
	Puente Caño Negro	\$ 320.320.000	La Lejía – Saravena
BOLIVAR	Puente Cicuco -Caño Negro	\$ 2.497.034.583	La Bodega – Mompos
BOYACA	Puente Chitucuy	\$ 2.000.000.000	Duitama - La Palmera
	Puente Cobaria	\$ 574.920.000	La Lejía – Saravena
	Puente Roto	\$ 163.389.000	Soata - La Palmera
	Batea Aguablanca	\$ 918.000.000	Dos y Medio – Otanche
CALDAS	Puente La libertad	\$ 3.711.207.100	Tres Puertas - Puente La Libertad
	Puente Marmato	\$ 2.100.000.000	La Guayana - Rio Bamba
	Puente Viterbo	\$ 280.000.000	Santa Cecilia - Asia
CAQUETA	Puente La Holanda	\$ 401.710.134	Florencia - Damas Arriba
	Puente La Temblona	\$ 298.331.000	Puerto - Bello San José del Fragua
	Puente EL Mochilero	\$ 3.000.000.000	San José del Fragua – Florencia
	Puente Perlas III	\$ 287.722.687	Santodomingo . Mina Blanca
CAUCA	Puente Aguas Gordas	\$ 205.000.000	La Lupa - Bolívar
CESAR	Puente Cuatrobocas y Tucuy	\$ 10.102.049.237	San Roque - Bosconia y San Roque - La Paz
	Puente Santa Inés	\$ 1.150.000.000	Agua Clara – Ocaña
CORDOBA	Puente Moñitos	\$ 159.700.000	Santa Lucia – Moñitos
CHOCO	Puente Chintadó	\$ 540.000.000	Las Animas – Quibdó
GUAVIARE	Calmar - San José del Guaviare	\$ 1.000.000.000	Calamar - San José del Guaviare

HUILA	Puente Paso del Colegio	\$ 3.200.000.000	Candelaria - La Plata - Laberinto
MAGDALENA	Puente Caño Aguas Negras	\$ 3.000.000.000	Salamina – Palermo
Departamento	Nombre del Puente Intervenido	Inversión para su reparación	Carretera
META			
	Puente El Limón	\$ 170.000.000	Uribe – Granada
	Puente La Cubillera	\$ 530.000.000	Uribe – Granada
	Puente Guatiquia	\$ 1.100.000.000	Villavicencio Barranca de Upia
	Puente Guamal	\$ 500.000.000	Ye de Granada - Villavicencio
NARIÑO	Puente Azufral	\$ 5.200.000.000	Cebadal - Sandona - Pasto
NORTE DE SANTANDER	Puente La Saladera	\$ 1.080.000.000	Cúcuta - san Faustino La China
	Puente Las Piedras	\$ 225.338.000	Cornejo - El Zulia
	Puente Patillales	\$ 1.500.000.000	Cúcuta - Puerto Santander
	Puente Dos estribos	\$ 215.000.000	Cúcuta - Puerto Santander
	Puente Las Micas	\$ 234.033.000	Ocaña – Sardinata
	Puente Playonero	\$ 274.254.000	Ocaña – Sardinata
RISARALDA	Puente Mocatan	\$ 190.000.000	Apia - La Virginia
SANTANDER	Puente La Leona	\$ 350.000.000	Barrancabermeja - La Lizama
	Puente La Paz río Sogamoso	\$ 550.000.000	La Fortuna – Lebrija
SUCRE	Puentes Guayepo - Majagual – Achi	\$ 2.488.310.608	Guayepo Majagual – Achi
	Puente Pechelin	\$ 5.126.413.933	Sincelejo – Tolviejo
TOLIMA	Puente Luis Ignacio Andrade	\$ 1.448.432.403	Fresno – Honda
	Puente Piragua	\$ 1.300.000.000	Fresno – Honda
	Puente Guali	\$ 1.000.000.000	Fresno – Honda
	Puente Guarínó	\$ 1.700.000.000	Honda Río Ermitaño
	Puente Peralonso	\$ 1.200.000.000	Chaparral – Ortega
VALLE DEL CAUCA	Puente Río Bolo	\$ 545.383.000	Santander de Quilichao - Florida – Palmira
	Puente Frayle	\$ 1.056.585.000	Santander de Quilichao - Florida – Palmira
	TOTAL INVERSION	\$ 72.438.289.315	

Fuente: Instituto Nacional de Vías - Oficina de Prevención y Atención de Emergencias - Marzo 2012(3).

Elaboración: Autores

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. Generales

Desarrollar una herramienta computacional, que permita priorizar la atención oportuna de los puentes en Colombia bajo el modelo de análisis de decisión multicriterio.

1.3.2. Específicos

- ✓ Revisar la información técnica (caracterización y descripción general) disponible de los puentes afectados por la ola invernal (2010-2011), con administradores viales, SIPUCOL.
- ✓ Implementar el modelo de análisis multicriterio como instrumento formal para la evaluación y selección de alternativas.
- ✓ Sistematizar la información relacionado con el inventario de daños consignado en los manuales y sistema SIPUCOL, y desarrollo del modelo de decisión multicriterio en un manejador de base de datos Oracle.

1.4. ALCANCES DEL PROYECTO

Se propone crear las bases fundamentales de un modelo de evaluación para que a través de un sistema computacional las entidades municipales, departamentales, nacionales y organismos no gubernamentales con una inspección visual, basada en un inventario del estado actual del puente, recolectado por los ingenieros especialista en el tema de puentes y una capacitación en inspección visual; sirva como fundamento en la toma de decisiones para realizar las inversiones iniciales, que de por si son escasos, en los proyectos de rehabilitación y recuperación de puentes a cargo de su jurisdicción, conservado o manteniendo o alargando la vida útil de diseño de la estructura del puente. Esta herramienta computacional se ejecutará con un manejador de base de datos Oracle, establece una serie de procesos de recolección de información y procesamiento fundamentada en los daños más frecuentes a las estructuras como la socavación en puentes, daños estructurales por la afectación de los fenómenos naturales como sismo o daños por el mismo funcionamiento de la estructura, será de

fácil y ágil manejo para los especialistas o las entidades encargadas del mantenimiento de puentes en Colombia.

1.5. METODOLOGÍA

El proyecto contempla la ejecución de las siguientes actividades:

- ✓ Revisión de los documentos del sistema de Administración de Mantenimiento de Puentes de Colombia y de informes de Administración Vial.
- ✓ Revisión de los documentos existentes referentes a los modelos de aplicación de análisis multicriterio y esquema de evaluación de criterios para vulnerabilidad en puentes.
- ✓ Revisión de los documentos relacionados Inspección Visual de puentes,
- ✓ Revisión bibliográfica existente sobre las bases de datos Oracle, programa Expert.choice. V11, sistemas de administración de puentes.
- ✓ Plantear y realizar la estructura y arquitectura computacional con un procedimiento guía para el manejo del software.
- ✓ Ejemplo de aplicación del software a un inventario de puentes, con análisis de resultados.
- ✓ Conclusiones y recomendaciones

2. MARCO CONCEPTUAL Y LEGAL

2.1. MARCO CONCEPTUAL

El presente trabajo se enmarca dentro de los alcances de los sistemas de administración de puentes, inventario captura de información y construcción de la herramienta formal de evaluación, selección de alternativas, con fundamentación matemática y el esquema de evaluación utilizando el modelo de decisión de variables discretas o jerarquización analítica, método de comparación binaria de alternativas desarrollando en la época de 1977, en la Universidad de Pennsylvania por el Dr. Thomas Saaty.

2.2. MARCO LEGAL

El marco legal para la atención de las emergencias en el país y para el cual éste no estaba preparado a raíz de las dificultades ocasionadas por la ola invernal que azotó al país a finales de 2010, el gobierno del Presidente Juan Manuel Santos puso en marcha el programa COLOMBIA HUMANITARIA con el fin de facilitar la asistencia acerca de dos millones de colombianos afectados. Adicionalmente el 7 de diciembre del 2010 se produjeron dos hechos importantes como son la declaratoria de desastre en el territorio

colombiano, a través del decreto 4579 de 2010 y el estado de emergencia económica, social y ecológica amparada en el decreto 4580 de 2010. Ley 1523 de 2012, “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. “Decreto 308 de 2016 Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres “Una Estrategia de Desarrollo” para el período 2015-2025.

Decreto 2157 del 20 de diciembre de 2017 establece el marco regulatorio para realizar el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas como mecanismo para la planeación de la gestión del riesgo de desastres.

Estas decisiones le permitieron al Gobierno expedir una serie de Decretos de Emergencia en virtud de los cuales ha sido posible un manejo de la emergencia ágil y eficiente. Precisamente, una de esas normas es la reforma al Fondo Nacional de Calamidades, una figura existente en el esquema del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres, permitiendo atender la reparación de los puentes que fueron afectados por la ola invernal 2010-2011, mediante una contratación ágil y oportuna.

Este esquema aportó al país aprendizaje en cuanto a la toma de decisiones inmediatas, teniendo en cuenta que las entidades del estado y las agremiaciones ingenieriles del país no estaban preparadas. Esta experiencia que ha tenido el estado solo han servido para salir del estado de emergencias, ejecutar inversiones sin ninguna árbol lógico de decisiones, por lo que la herramienta que se pretende realizar con este proyecto permitirá tener a la mano una base de datos con información básica de los puentes, dar aplicabilidad al modelo de decisiones multivariable que permite tener en cuenta no solo el grado de importancia del puente por decisión política sino por daños en la estructura misma del puente desde el punto de vista hidráulico, estructural, funcional comparándolo contra costos, variables ambientales y de tránsito.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL MODELO DE EVALUACIÓN

3.1. Análisis Jerárquico de Procesos.

“**AHP** (Analytic Hierarchy Process) El análisis jerárquico de procesos es una metodología de análisis multicriterio desarrollada a fines de la década del 70 por el doctor en matemáticas Thomas L. Saaty. Es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando estos componentes o variables en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente los sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad.

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), una de las metodologías multicriterio, con fundamentos matemáticos, más utilizadas, puede caracterizarse como un método de evaluación multicriterio, de variables discretas, con medición de preferencias por agregación de criterios y determinístico (no considera incertidumbre).” (5)

Fundamentado sobre una base teórica simple pero sólida, que propone de una manera ordenar el pensamiento analítico, guía el proceso de evaluación bajo tres principios que son:

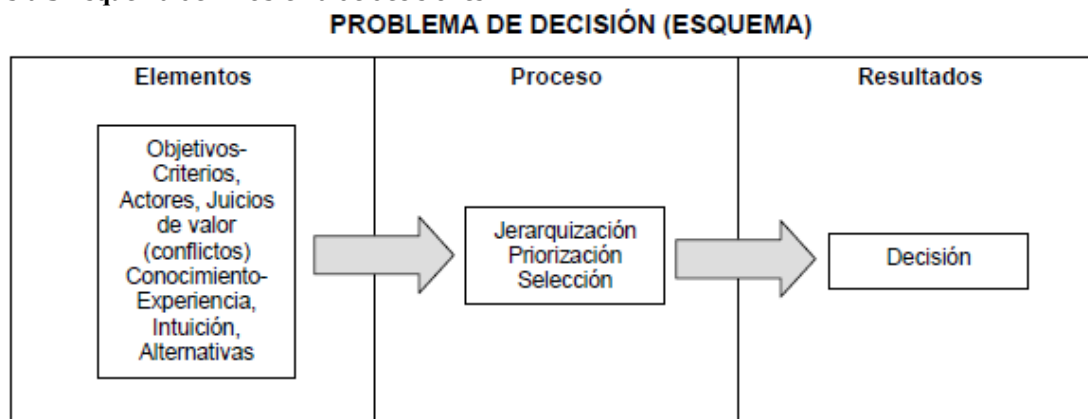
- ✓ Construcción de las jerarquías
- ✓ Establecimiento de prioridades
- ✓ Consistencia lógica

Este método se fundamenta a partir del proceso de toma de decisión con la comparación que apoya al tomador de decisiones siendo sus decisiones plenamente consistentes con algún marco de racionalidad adoptado (6).

3.2. El proceso de decisión

Consiste en “la comparación entre las alternativas sobre las que se puede optar frente a cierta disyuntiva presente, en primer lugar se hace necesario separar un problema de decisión en los elementos que lo componen, para la posterior comparación entre ellos, de esta manera la toma de decisión implica el hecho de comparar elementos que se traduce en la necesidad de realizar mediciones que permitan aplicar los criterios de comparación para establecer preferencias entre ellos, es decir, una jerarquía.(7)

Tabla 3 Esquema del Problema de decisiones



Fuente: Arancibia, Sara y Contreras, Eduardo, 2006. Evaluación Multicriterio, Aplicaciones al ámbito público. Presentación.

“La figura anterior, muestra cómo se constituye un problema de decisión y lo fundamental que puede ser contar con un proceso adecuado para el uso de los elementos, ya que si se desea tener una herramienta eficaz y eficiente que apoye las decisiones, es de importancia contar con la mayor cantidad de elementos de análisis y utilizar el proceso más adecuado para ello. Gráfica, además, tanto los elementos, el proceso y los resultados (decisión), el sistema indica unos inputs (elementos) y output del proceso (decisión) estos tres componentes tienen la siguiente descripción” (8):

3.2.1. Elementos:

Compuestos por los objetivos, criterios, actores involucrados, juicios de valor (conflictos), conocimiento, experiencia, intuición, alternativas. Los elementos que participan en un proceso de decisión por lo general se miden en escalas diferentes (peso, distancia ó tiempo, por ejemplo), por lo que se requiere transformar estas unidades en una unidad abstracta que sea válida para todas las escalas. (5)

3.2.2. Proceso:

“Está integrada por la jerarquización y priorización.

- ✓ Jerarquización: Relación de orden entre las alternativas, se requiere de un modelo de decisión.
- ✓ Priorización: Razón de proporcionalidad, en términos de cuánto mejor es una alternativa que otra; se requiere de un proceso de evaluación.

3.2.3. Resultado:

Es la decisión sobre selección de una alternativa, jerarquización o priorización de proyectos.” (5)

“Estas técnicas indican que se deben seguir algunos pasos para aplicar ordenadamente diferente instrumental, para ello se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Se deben definir los criterios (objetivos intermedios), y sus respectivas restricciones.
2. Definir tipos de variables: discretas o continuas.
3. Modelamiento de las preferencias. Existen básicamente dos alternativas: optimizar por separado para cada objetivo y luego agregar los subconjuntos de soluciones ó asignar pesos a los distintos objetivos y encontrar una sola solución.
4. Definir si se usan modelos determinísticos (sin incertidumbre) ó aleatorios. En el último caso se aplica la Teoría de preferencias sobre contingencias:

- ✓ programación dinámica.
- ✓ simulación.
- ✓ análisis probabilístico.

5. Si se opta por agregar objetivos se deben definir los métodos de agregación, tales como:

El Método de "juicio de expertos", funciones de utilidad multiatributadas, transforman los múltiples criterios en uno sólo, factor analysis, escalamiento multidimensional, Analytic Hierarchy Process (AHP), Otros.

En esencia, la Decisión Multicriterio es una optimización con varias funciones objetivo-simultáneas y un único agente decisor. Esto puede formularse matemáticamente de la siguiente manera:

máx. $F(\mathbf{x})$; $\mathbf{x} \in X$

Donde:

$\mathbf{x}$: Es el vector $[x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$ de las variables de decisión. El problema de decisión es el de asignar los “mejores”.

X : Es la denominada región factible del problema (el conjunto de posibles valores que pueden tomar las variables)

$F(\mathbf{x})$: Es el vector $[f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_p(\mathbf{x})]$ de las p funciones objetivo que recogen los criterios u objetivos simultáneos del problema.”(5)

Estos principios, en términos generales guían el proceso de evaluación. A continuación, se explican cada uno de ellos.

3.2.3.1. Principio de construcción de jerarquías

Son aquellas que conducen un sistema hacia un objetivo deseado como la solución de conflictos, un desempeño eficiente o la felicidad total. El esquema jerárquico está compuesto por:

- ✓ Objetivo o foco
- ✓ Criterios
- ✓ Subcriterios
- ✓ Alternativas.

“El objetivo o foco describe lo que el tomador de decisiones o grupo quiere alcanzar, al escoger entre una de las alternativas que se plantean. En la jerarquía el objetivo se sitúa en el nivel superior, independiente del resto de niveles. Los criterios o subcriterios se comparan entre sí, mediante comparaciones pareadas (dos a dos), para determinar cómo influyen en el elemento superior (criterio-objetivo). Cuando los subcriterios de un nivel se comparan entre sí, en función de todos los criterios del nivel superior se estructura una jerarquía completa, pero si no se comparan en función de todos los criterios del nivel superior, se puede decir que se estructura una jerarquía incompleta” (9).

3.2.3.2. Principio de establecimiento de prioridades

“El cálculo de la prioridad establece en función de comparaciones a pares con respecto a un criterio dado. Para comparar los elementos se forma una matriz y se pregunta: ¿Cuánto supera este elemento (o actividad) al elemento con el cual se está comparando- en la medida en que posee la propiedad, contribuye a ella, la domina, influye sobre ella, la satisface, o la beneficia?

Se propone una escala de prioridades como forma de independizarse de las diferentes escalas que existen entre sus componentes. Los seres humanos perciben relaciones

entre los elementos que describen una situación, pueden realizar comparaciones a pares entre ellos con respecto un cierto criterio y de esta manera expresar la preferencia de uno sobre otro. La síntesis del conjunto de estos juicios arroja la escala de intensidades de preferencias (prioridad) entre el total de elementos comparados. De esta forma es posible integrar el pensamiento lógico con los sentimientos, la intuición (que es reflejo de la experiencia), etc. Los juicios que son ingresados en las comparaciones a pares responden a estos factores.

Tabla 4 Escala de Saaty para la toma de decisiones

ESCALA DE SAATY

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual importancia	2 actividades contribuyen de igual forma al objetivo
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica
9	Extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes
Recíprocos	$a_{ij}=1/a_{ji}$	Hipótesis del método

Fuente: Thomas Saaty, 1997. Toma de decisiones para líderes.

Tipos de Comparaciones Pareadas:

- (1) Importancia: Apropiado cuando se comparan criterios entre sí.
- (2) Preferencia: Apropiado cuando se comparan alternativas.
- (3) Más probable: Usado cuando se compara la probabilidad de los resultados, ya sea con criterios o alternativas.

Crear una matriz para cada criterio o subcriterio de la jerarquía que permita determinar la prioridad P_{ij} , de los elementos de su nivel inmediatamente inferior. Comparar de a pares estos elementos del nivel inferior, usando una escala de proporciones. (Escala de Saaty) Es deseable que el establecimiento de prioridades, cuando hay más de un experto involucrado, se logre a través del consenso entre ellos. Sin embargo, en ocasiones no es posible sostener una serie de entrevistas junto con todos los involucrados. Saaty resolvió este inconveniente integrando los juicios a través de la media geométrica de la siguiente forma:

$$A_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}^n}$$

Donde:

A_{ij} : es el resultado de la integración de los juicios para el par de criterios i, j .

ij

a_{ij}^n : es el juicio del involucrado para el par de criterios.

$n = 1, n$. Corresponde al número de involucrados que expresan sus juicios sobre los criterios.

De acuerdo a lo establecido anteriormente sobre el proceso analítico jerárquico, una vez que se ha construido el modelo jerárquico, en donde se incorporen los diferentes criterios y alternativas relevantes para el proceso de decisión en cuestión y se han ingresado los juicios correspondientes a la comparaciones a pares entre los diferentes elementos del modelo, el problema se reduce al cálculo de valores y vectores propios los que representarán las prioridades y el índice de consistencia del proceso respectivamente. Una vez completada la Matriz, el problema se transforma en un problema de Vectores y Valores propios:

$$A \cdot w = \lambda \cdot w$$

Donde

A =Matriz recíproca de comparaciones a pares (Juicios de importancia/ preferencia de un criterio sobre otro)

w = Vector propio que representa el ranking u orden de prioridad

λ =Máximo valor propio que representa una medida de la consistencia de los juicios” (5)

3.2.3.3. Principio de consistencia lógica

“Los seres humanos tienen la capacidad de establecer relaciones entre los objetos o las ideas, de manera que sean consistentes – es decir, que se relacionen bien entre sí y sus relaciones muestren congruencia. En este sentido consistencia implica dos cosas: transitividad y proporcionalidad; la primera es que deben respetarse las relaciones de orden entre los elementos, es decir, si A es mayor que C y C es mayor que B entonces la lógica dice que A es mayor que B. La segunda es que las proporciones entre los órdenes de magnitud de estas preferencias también deben cumplirse con un rango de error permitido. Por ejemplo, si A es 3 veces mayor que C y C es dos mayores que B entonces A debe ser 6 veces mayor que B, este sería un juicio 100% consistente (se cumple la relación de transitividad y de proporcionalidad).

La escala a que se hace referencia existe en el inconsciente, no está explícita y sus valores no son números exactos, lo que existe en el cerebro es un ordenamiento jerárquico para los elementos. Dada la ausencia de valores exactos para esta escala la

mente humana no está preparada para emitir juicios 100% consistentes (que cumplan las relaciones de transitividad y proporcionalidad). Se espera que se viole la proporcionalidad de manera tal que no signifique violaciones a la transitividad.

La consistencia tiene relación con el grado de dispersión de los juicios del actor.

Los juicios consistentes imponen 2 propiedades en forma simultánea:

- 1) Transitividad de las preferencias: Si C1 es mejor que C2 y C2 es mejor que C3 entonces se espera que C1 sea mejor que C3.
- 2) Proporcionalidad de las preferencias: Si C1 es 3 veces mejor que C2 y C2 es 2 veces mejor que C3 entonces se espera que C1 sea 6 veces mejor que C3. Por supuesto, es necesario, cierto grado de consistencia en la fijación de prioridades para los elementos o actividades con respecto de algún criterio para obtener resultados válidos en el mundo real.

El AHP mide la inconsistencia global de los juicios mediante la Proporción de Consistencia, que es el resultado de la relación entre el Índice de Consistencia y el Índice Aleatorio. El Índice de Consistencia es una medida de la desviación de consistencia de la matriz de comparaciones a pares y el Índice Aleatorio es el índice de consistencia de una matriz recíproca aleatoria, con recíprocos forzados, del mismo rango de escala de 1 hasta 9.

El valor de esta proporción de consistencia no debe superar el 10%, para que sea evidencia de un juicio informado. Esto dependerá del tamaño de la matriz de comparación a pares.” (5)

3.3. Cálculo de la Relación de Consistencia (RC)

“En un principio habíamos definido el problema como: $A \cdot w = \lambda \cdot w$. Sin embargo, resolver la ecuación anterior es bastante complejo. Saaty definió una nueva relación que ofrece cálculos mucho más sencillos.

$$\lambda_{Max} = V \cdot B$$

Donde:

λ_{Max} : es el máximo valor propio de la matriz de comparaciones a pares.

V: es el vector de prioridades o vectores propios, que ya obtuvimos, de la matriz de comparaciones. B: es una matriz fila, correspondiente a la suma de los elementos de cada columna de la matriz de comparaciones a pares. Es una matriz de $m \times 1$, donde m es el número de columnas de la matriz de comparaciones.

Para finalmente obtener la Relación de Consistencia, necesitamos antes el Índice Aleatorio. Para este existe una tabla elaborada por Saaty que muestra los Índices de Consistencia para una serie de matrices aleatorias con recíprocos forzados:

Tabla 5 Índices aleatorios por tamaño de matriz
ÍNDICES ALEATORIOS POR TAMAÑO DE MATRIZ

Tamaño de la Matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: Thomas Saaty, 1997. Toma de decisiones para líderes.

Entonces se define y resuelve la Relación de Consistencia como:

$$RC = (CI/RI)$$

Donde:

RC es la relación de consistencia

CI es $(\lambda_{Max} - n)/(n - 1)$ y,

RI es el índice aleatorio por tamaño de matriz elaborado por Saaty.

Es evidencia de un juicio informado una Relación de Consistencia menor a 0.1, por lo tanto, no es necesario reevaluar los juicios expresados en la matriz de comparaciones. En caso contrario, si la Relación de Consistencia fuera mayor, se harían necesario reevaluar los juicios. Esto significaría que se vuelva a consultar a los expertos.” (5)

3.4. Procedimiento para el análisis jerárquico

“Para determinar la mejor decisión, el método AHP requiere:

1. Definición del problema: Se define con claridad y precisión el objetivo general del proceso de decisión junto con los actores involucrados en él. También se debe entregar una descripción del ambiente en que se desarrollará el estudio, sus características socioeconómicas, ambientales, culturales, etc. dependiendo de los parámetros afectados por los proyectos en cuestión.
2. Definición de actores: Selección cuidadosa de los participantes involucrados en el proceso de decisión, ya que de estos depende la representatividad del resultado del modelo.
3. Estructurar el problema de decisión en un modelo de jerarquía (Jerarquizar): En esta etapa se debe construir una estructura jerárquica que involucre todos los aspectos de interés, para la jerarquización de las alternativas.
4. Identificación de las alternativas factibles: Contado con todas las posibilidades de proyectos alternativos se seleccionan aquellos que son factibles de realizar bajo un punto de vista de análisis general, donde se consideran criterios tales como la factibilidad técnica o económica.
5. Construcción del modelo jerárquico: Se estructura el problema planteado en una jerarquía de criterios y alternativas. Se hace necesario establecer en una primera instancia los criterios estratégicos que participan en la decisión (Políticos, económicos, sociales, medioambientales, etc.). En general estos criterios son a nivel macro y

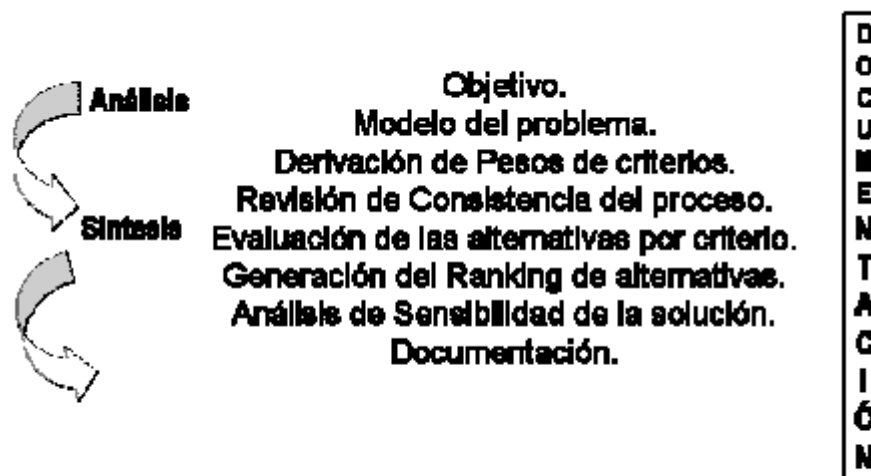
representan los objetivos perseguidos por el proyecto. Una vez hecho esto, se procede a desglosar cada uno de los criterios definidos en la etapa anterior hasta llegar a un nivel de especificación que permita un fácil análisis y la comparación de las alternativas.

6. Ingreso de los juicios: Con base a la información obtenida o a la percepción de los actores del proceso se ingresan los juicios para cada par de elementos. Se comienza del primer nivel, dónde se encuentran los criterios estratégicos, se compara su importancia relativa con respecto del logro del objetivo general, luego se desciende en los niveles jerárquicos, siempre realizando comparaciones de a pares referidos al nivel inmediatamente superior, hasta llegar al último nivel donde se encuentran las alternativas, las que son evaluadas en base a criterios técnicos más fáciles de tratar.

7. Síntesis de los resultados: Como se explicó en los párrafos anteriores, por medio de comparaciones entre pares de elementos con respecto a su nivel inmediatamente superior y, gracias a la propiedad de transitividad entre los elementos, es posible establecer un ranking de prioridades para las diferentes alternativas, ranking que, dependiendo de la problemática, enfrentada representa la decisión a adoptar.

8. Validación de la decisión: Para otorgar mayor confiabilidad a la decisión se debe establecer el rango de variación del peso relativo de los criterios estratégicos que soporta la decisión sin cambiar de alternativa propuesta, para esto se realiza un análisis de sensibilidad dónde se analizan diversos escenarios posibles, determinando los puntos de corte para el peso de cada uno de los criterios.

SINTESIS DEL MODELO.



Fuente: Arancibia, Sara y Contreras, Eduardo, 2006. Evaluación Multicriterio. Presentación

Ilustración 3 Síntesis del modelo

El Análisis Jerárquico de Procesos integra aspectos cualitativos y cuantitativos en un proceso único de decisión, en el que es posible incorporar simultáneamente valores personales y pensamiento lógico en una única estructura de análisis. De este modo se puede convertir el proceso que ocurre naturalmente en nuestra mente en uno explícito,

facilitando y promoviendo la toma de decisiones bajo escenarios multicriterios y con resultados más objetivos y confiables.

3.5. Ventajas de la Metodología

Esta metodología es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que permite:

- ✓ Definir el problema que se desea resolver.
- ✓ Identificar los criterios discriminantes en la toma de decisiones.
- ✓ Trabajar con un equipo multidisciplinario.
- ✓ Estructurar los criterios y subcriterios en una jerarquía.
- ✓ Determinar la importancia de cada criterio en términos de ponderadores y sintetizar toda esta información para tomar la mejor decisión.
- ✓ Llegar a un resultado en consenso.” (5)

4. MODELO DE EVALUACION PARA PUENTES CON METODOLOGIA MULTICRITERIO

En la estructuración del modelo de evaluación se realizó una revisión de las fortalezas y deficiencias del Sistema de SIPUCOL - Sistema de Administración de Mantenimiento de Puentes de Colombia del INVIAS, de la Calificación de la inspección visual de puentes del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU de Bogotá D.C que cuenta con una evaluación de puentes a través de una hoja de cálculo Excel programada; identificando variables relevantes y se estructuro una primera jerarquización del proceso de decisión, tomando criterios y subcriterios con características homogéneas. Para lo cual los expertos e ingenieros responsables de las decisiones antes de pasar al siguiente paso que es la valoración de preferencias, deberán estar de acuerdo con la estructura. (10)

Los indicadores relevantes para la jerarquización se tomaron los siguientes aspectos:

- ✓ Estado del puente (Estructural y funcional)
- ✓ Socavación del puente en pilas, estribos y aletas
- ✓ Grado de importancia dentro de la red vial
- ✓ Transito Promedio Diario - TPDS
- ✓ Importancia de la vía
- ✓ Impacto por cierre
- ✓ Dificultad de recuperación de la vía
- ✓ Pendiente del tramo
- ✓ Fecha de construcción del puente
- ✓ Configuración estructural del puente
- ✓ Vías alternas
- ✓ Sensibilidad ambiental

Clasificando los criterios anteriores dentro la disciplina de la ingeniería vial como riesgos estructurales, hidráulicos, geotécnicos y por los tipos de consecuencia como económicos, tránsito, vulnerabilidad de la red, valor estratégico del puente, lo cual se desprende las siguientes categorías. (11)

4.1. Primera categoría Factores de Riesgo por criterios de intervención:

- ✓ Riesgos Estructurales, asociados al estado del puente y llamado como indicador RE.
- ✓ Riesgo de falla hidráulica, cuando por causas hidráulicas por socavación o erosión o peligro natural como inundación o avalanchas la estructura sale del servicio; es llamado indicador RFH
- ✓ Riesgo Geotécnico, referente con el riesgo asociado a fallas geotécnicas en el área del puente; llamado indicador RG.

Esta categoría tiene el propósito de estimar el nivel de riesgo si se postergara la inversión para una anualidad más adelante.

4.2. Segunda categoría Factores de consecuencia por criterios de intervención:

- ✓ Nivel de tránsito, que hace referencia a la importancia económica del arco en la red vial, llamado indicador NT
- ✓ Vulnerabilidad de la red que hace referencia al perjuicio a los usuarios en caso de salida de servicio del puente, llamado indicador VR
- ✓ Valor estratégico del puente, que hace referencia la importancia social, geopolítica y ambiental del puente en la red analizada, llamado indicador VE

Esta categoría tiene el propósito de determinar la importancia del daño o perjuicio que se produce en caso de que la falla se produzca.

4.3. Tercera categoría Requerimientos de Inversión:

Esta categoría pretende determinar en la toma de decisión el requerimiento de la inversión del puente como consecuencia de los daños presentados, ya que es un factor de ordenamiento de prioridades por los costos de la reparación, en la selección de dos obras o para este caso de puentes, con igual riesgo y consecuencia, se seleccionaría la de menor inversión como la mejor ventaja comparativa. En el presente proyecto se analizará esta variable dando 10 (diez) como la mejor opción con menor valor de inversión y 1 (uno) como la opción más desfavorable por requerir de mayor inversión para la entidad a cargo del puente como orden de priorización.

4.4. FUNCIONES LINEALES DE UTILIDAD

Para integrar los diferentes indicadores se emplean funciones de utilidad (o “des utilidad”) lineal con factores ponderados de la importancia relativa de los indicadores.

$$Si = \sum wf * Sfi \quad (1)$$

donde Si es el índice ponderado del puente “ i ”, wf es el factor de ponderación del atributo “ f ”, Sfi es la calificación del indicador del atributo “ f ” en el puente “ i ”.

Según la estructura jerárquica planteada, se definen tres indicadores:

4.4.1. Indicador de riesgo ponderado del puente “ i ”

$$IRPi = w_{11}REi + w_{12}RFHi + w_{13}RGi \quad (2)$$

donde $IRPi$ es el indicador de riesgo ponderado del puente “ i ”, REi es la calificación del indicador de riesgo de falla estructural en el puente “ i ”, $RFHi$ es la calificación del indicador de riesgo de falla hidráulica en el puente “ i ”, RGi es la calificación del indicador de riesgo de Geotécnico “ i ”, w_{11} , w_{12} , w_{13} son factores de ponderación de la importancia relativa de RE, RFH, RG como indicadores de riesgo del puente.

4.4.2. Indicador de consecuencias por fallas del puente “ i ”

$$ICPi = w_{21}NTi + w_{22}VRi + w_{23}VEPi \quad (3)$$

donde $ICPi$ está definido como el indicador de consecuencias ponderado del puente “ i ”, NTi es el indicador de consecuencia por nivel del tránsito en el puente “ i ”, VRi es la calificación del indicador de consecuencia por vulnerabilidad de la red (perjuicio por desvíos) como resultado de la inhabilitación del puente “ i ”, $VEPi$ es el indicador de consecuencia por valor estratégico del puente “ i ”, w_{21} , w_{22} , w_{23} son factores de ponderación de la importancia relativa de NT, VR, VEP como indicadores de consecuencia del puente.

4.4.3. Indicador de costo de mantenimiento y rehabilitación del puente “ i ”

$$ICMRi = Ci \quad (4)$$

donde Ci es el monto del costo de mantenimiento y rehabilitación en pesos.

Teniendo en cuenta que el indicador de costos de mantenimiento y rehabilitación del puente está propuesto para combinar con otro, puede adoptarse como representativo directamente el monto de la inversión en la obra de reparación en pesos.

La utilidad del indicador está asociada a restricciones presupuestal de la entidad encargada del puente, por lo que en el presente proyecto de grado se tendrá en cuenta para su análisis con valor de diez (10) como menor valor de inversión y de uno(1) como mayor valor de inversión y se puede tomar valores intermedios de acuerdo con los requerimientos de inversión, esto complementado a que puede considerarse que para puentes de similares riesgos y consecuencias alcanzaría mayor prioridad aquella de menor inversión, por lo que se deja al administrador de puentes la toma de la decisión presupuestal en el mantenimiento y rehabilitación del mismo.

4.5. FACTORES DE PONDERACION

Los juicios de valores son la base del proceso para la metodología AHP y pueden estar definidos por información técnica, científica, la basada en la experiencia y conocimiento del grupo decisor o lo que se conoce como las opiniones de cada individuo y/o grupo de interés involucrado en la toma de decisión, esta es una característica que hace diferente este método a otros.

Para el caso de los factores de ponderación de la importancia relativa para los indicadores de riesgo ponderado (w_{11} , w_{12} , w_{13}) e indicadores de consecuencia de falla del puente (w_{21} , w_{22} , w_{23}) se definió tomar los primeros en base a los resultados de las tres inspecciones realizadas por el INVIAS y los segundos en base al porcentaje de participación de las variables, dado que es una de las ventajas del método (AHP) permite “(...)obtener un sistema de pesos que resulte consistente con las preferencias subjetivas mostradas por el centro decisor(...)” (12).

Para los riesgos de ponderación $w_{11}=0,28$, $w_{12}=0,40$ y $w_{13}=0,32$ se tomaron en base a estadísticas realizadas por diferentes universidades del país y en especial el libro “Ingeniería de puentes, colapso, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica y capacidad de carga”, Tomo II - Edgar Eduardo Muñoz Díaz, Pontificia Universidad Javeriana, pág. 35, se define en evaluaciones realizadas en diferentes épocas (inspecciones realizadas por el INVIAS en los periodos 1996-1997, 2001-2002 y 2008-2009)(13) han determinado que la gran mayoría de los fallos de los puentes se deben a causas de socavación, ver tabla.

Tabla 6 Factores de ponderación de la importancia relativa para los indicadores de riesgo ponderado.

Causas	Número de casos	%	Indicador de riesgo asociado	%	W_1
Deficiencia estructural y de diseño	13	18	Estructural	28	w_{11}
Sobrecarga e impacto	4	5	Estructural		
Deficiencia en construcción e interventoría	4	5	Estructural		

Avalancha, creciente, etc.	29	40	Hidráulica	40	W_{12}
Socavación, pérdida estribos, pilas, etc.	23	32	Geotecnia	32	W_{13}
Totalidad de casos	73	100		100	

Fuente: Elaboración propia en base a la información del Tomo II Ingeniería de puentes, colapso, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica y capacidad de carga”, pág. 35 Edgar Muñoz Díaz, UPJ 2012.

Para los subcriterios de los indicadores de riesgo estructural (w_{21} , w_{22} , w_{23}) como son elementos funcionales, elementos estructurales y elementos de la infraestructura se determinó teniendo en cuenta la información de daños en la evaluación de 2008 realizada por el INVIAS en componentes promedio calificados como “Malos” calificación 4 y 5 en Sipucol y “Regular” calificación de 3 en Sipucol, obteniendo que, $w_{21} = 0.29$, $w_{22} = 0.49$ y $w_{23} = 0.22$.

Tabla 6 Factores de ponderación de la importancia relativa para los indicadores de riesgo estructural.

Elemento del Puente	Malo	Regular	Promedio	% Participación	Indicador de riesgo asociado(Estructural)	% por Indicador	Wi
Superficie de rodadura	1	11	6	6.3	Elemento funcional	29.0	w_{21}
Juntas de dilatación	18	2	10	10.4	Elemento funcional		
Andenes y Bordillos	4	1	2.5	2.6	Elemento funcional		
Barandas	16	2	9	9.4	Elemento funcional		
Losa	9	1	5	5.2	Superestructura	49.0	w_{22}
Vigas	18	2	10	10.4	Superestructura		
Elementos del Arco	12	3	7.5	7.8	Superestructura		
Cables	18	2	10	10.4	Superestructura		
Elementos de armadura	25	5	15	15.6	Superestructura	22.0	w_{23}
Conos y Taludes	4	1	2.5	2.6	Infraestructura		
Aletas	3	1	2	2.1	Infraestructura		
Estribos	5	1	3	3.1	Infraestructura		
Pilas	6	1	3.5	3.6	Infraestructura		
Apoyos	5	1	3	3.1	Infraestructura		
Cauce	13	1	7	7.3	Infraestructura		
		Total	96	100.0		100.0	

Fuente: Elaboración propia en base a la información del Tomo I Ingeniería de Puentes-reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación, pág. 301 Edgar Muñoz Díaz, UPJ 2012.

Para los subcriterios de los indicadores de riesgo Hidráulico (w_{24} , w_{25} , w_{26}) como son socavación en pilas, socavación en estribo/aletas y socavación cauce se determinó teniendo en cuenta la información de daños en la evaluación de 2008 realizada por el INVIAS en componentes promedio calificados como “Malos” calificación 4 y 5 en Sipucol y “Regular” calificación de 3 en Sipucol, obteniendo que así: $w_{24} = 0.22$, $w_{25} = 0.26$ y $w_{26} = 0.52$.

Tabla 7 Factores de ponderación de la importancia relativa para los indicadores de riesgo Hidráulico.

Componente de la estructura	Malo	Regular	Promedio	% Participación	Indicador de riesgo asociado(Hidráulico)	% por Indicador	Wi
Pilas	6	1	3.5	26%	Socavación en Pilas	26%	W_{24}
Estribos	5	1	3	22%	Socavación en	22%	W_{25}

					Estribos/Aletas		
Cauce	13	1	7	52%	Socavación Cauce	52%	W26
		Total	13.5	100%		100	

Fuente: Elaboración propia en base a la información del Tomo I Ingeniería de Puentes-reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación, pág. 301 Edgar Muñoz Díaz, UPJ 2012.

Para los subcriterios de los indicadores de riesgo Geotécnico (w_{27} , w_{28} , w_{29}) como son Sismicidad, Lluvias y procesos de remoción en masa se tomarán porcentual a la participación por no contar con datos estadísticos, ósea que: $w_{27} = 0.34$ $w_{28} = 0,33$ y $w_{29} = 0,33$.

Tabla 8 Factores de ponderación para los Indicador de Riesgo Ponderado del puente

INDICADOR	CALIFICACION	CRITERIO	INDICADOR	w1	SUBCRITERIO A	INDICADOR	w2
Indicador de Riesgo Ponderado del Puente (IRP)		ESTRUCTURAL €		$w_{11} = 0.28$	Elementos funcionales Elementos superestructura Infraestructura		$w_{21} = 0.29$ $w_{22} = 0.49$ $w_{23} = 0.22$
		HIDRÁULICO(H)		$w_{12} = 0.40$	socavación en pilas socavación en estribos/Aletas socavación Cauce		$w_{24} = 0.26$ $w_{25} = 0.22$ $w_{26} = 0.52$
		GEOTECNICO(G)		$w_{13} = 0.32$	sismicidad (INGEOMINAS) As lluvias (IDEAM) Proceso remoción en masa		$w_{27} = 0.34$ $w_{28} = 0.33$ $w_{29} = 0.33$

Para los indicadores de consecuencia de falla del puente (w_{31} , w_{32} , w_{33}) se tomarán porcentual a la participación por no contar con datos estadísticos, ósea que, $w_{31} = 0.34$, $w_{32} = 0,33$ y $w_{33} = 0,33$

Para los criterios de los indicadores de consecuencia de falla del puente (w_{34} , w_{35} , w_{36}) como son los Niveles de Transito, Vulnerabilidad de la Red Vial y el Valor estratégico del Puente se tomarán porcentual a la participación por no contar con datos estadísticos, ósea que, $w_{34} = 0.34$, $w_{35} = 0,33$ y $w_{36} = 0,33$.

Para los subcriterios de los indicadores de consecuencia de falla del puente (w_{41} , w_{42} , w_{43} , w_{44} , w_{45} ,... w_{48}) para Niveles de Transito, vulnerabilidad de la red vial y valor estratégico que tienen como subcriterios el TPDS, la importancia de la vía e impacto por cierre, dificultad de la recuperación y pendiente del tramo, con la finalidad de conservar la unidad en la ecuación lineal se tomaran porcentual la participación por no contar con datos estadísticos, ósea que para el TPDS $w_{41} = 1$, por la importancia de la vía e impacto por cierre $w_{42} = 0.34$, $w_{43} = 0.33$ y $w_{44} = 0.33$. Por Valor estratégico se tomara para la fecha de construcción, configuración estructural del puente, vías alternas y sensibilidad ambiental $w_{45} = 0.25$, $w_{46} = 0.25$, $w_{47} = 0.25$ y $w_{48} = 0.25$.

Para que en la evaluación de como resultado 100% de la suma de los pesos es necesario evaluar la totalidad de los subcriterios.

Tabla 9 Factores de ponderación para los Indicador de consecuencia del puente.

INDICADOR	CALIFICACION	CRITERIO	INDICADOR	w_3	SUBCRITERIO A	INDICADOR	w_4
Indicador de Consecuencia del Puente (ICP)		NIVEL DE TRANSITO (NT)		$w_{31}=0.34$	TPDS		$w_{41} = 1$
		VULNERABILIDAD DE LA RED (VR)		$w_{32}=0.33$	Importancia de la vía e Impacto por cierre		$w_{42} = 0.34$
					Dificultad de recuperación		$w_{43} = 0.33$
					Pendiente del tramo		$w_{44} = 0.33$
		VALOR ESTRATEGICO DEL PUENTE (VEP)		$w_{33}=0.33$	Fecha de Construcción		$w_{45} = 0.25$
					Configuración estructural del puente		$w_{46} = 0.25$
					Vías alternas		$w_{47} = 0.25$
					Sensibilidad ambiental		$w_{48} = 0.25$

4.6. CALIFICACION DE INDICADORES

Con base en la fundamentación del método de Saaty, en primera medida para el indicador de riesgo ponderado e indicador de consecuencia del puente de dependen de la evaluación realizada para cada puente en particular, por expertos y responsables de las decisiones en el área de puentes, se definió la escala de calificación para cada indicador de la función de utilidad con la mayor objetividad posible dependiendo del tipo de daños y las características de la estructura y demás variables asociadas, para que sea homogéneo la base de comparación.

Tabla 10 Calificación de las condiciones del puente con el Modelo de decisión Multicriterio Discreto.

Calificación	Modelo de decisión Multicriterio Discreto	Estado del Puente
--------------	---	-------------------

1	Muy alta posibilidad de cierre o corte de accesos por razones estructurales, hidráulicas. Accidentes graves (víctimas fatales o heridos graves) registrados en el puente en los últimos tres años, debido a razones de falta de adecuación geométrica (reducción de sección transversal y de velocidad de circulación, falta de visibilidad).	Muy mal estado
2	Alta posibilidad de cierre o corte de accesos por razones estructurales, hidráulicas. Accidentes graves (víctimas fatales o heridos graves) registrados en el puente en los últimos cuatro años, debido a razones de falta de adecuación geométrica (reducción de sección transversal y de velocidad de circulación, falta de visibilidad).	Mal estado
3	Muy alta posibilidad de limitación de cargas por razones estructurales, hidráulicas. Ancho de la calzada del puente menor al de la calzada de los accesos (reducción del ancho de carril), o velocidad de circulación en el puente mucho menor a la velocidad de aproximación en los accesos (disminución de velocidad de 20 Km/h o más).	Mal estado
4	Alta la posibilidad de limitación de cargas por razones estructurales, hidráulicas. Ancho de la calzada del puente menor al de la calzada de los accesos (reducción del ancho de carril), o velocidad de circulación en el puente mucho menor a la velocidad de aproximación en los accesos (disminución de velocidad de 20 Km/h o más).	Mal estado
5	Altos sobrecostos en caso de tener que realizar las obras de rehabilitación de manera urgente por razones estructurales, hidráulicas. Causas que incrementan el costo en caso de reparación urgente: zonas alejadas de centros urbanos importantes; proyectos de alta complejidad técnica; dificultades administrativas para contratación. Ancho de la calzada del puente menor a 7,30 m, ó velocidad de circulación en el puente menor a la velocidad de aproximación en los accesos (disminución de velocidad de entre 10 Km/h y 20 Km/h).	Regular estado
6	Presenta sobrecostos en caso de tener que realizar las obras de rehabilitación de manera urgente por razones estructurales, hidráulicas. Causas que incrementan el costo en caso de reparación urgente: zonas intermedias de centros urbanos importantes; proyectos de complejidad técnica; dificultades administrativas para contratación. Ancho de la calzada del puente menor a 7,30 m, ó velocidad de circulación en el puente menor a la velocidad de aproximación en los accesos (disminución de velocidad de entre 10 Km/h y 20 Km/h).	Regular estado
7	Sin sobrecostos en caso de tener que realizar las obras de rehabilitación de manera urgente. Deficiencias en los elementos de guía y seguridad pasiva del puente. Barandas, defensas y barandas peatonales, señalización.	Buen estado
8	Costos dentro de la normalidad en caso de tener que realizar las obras de rehabilitación de manera no urgente. Daños menores en los elementos de guía y seguridad pasiva del puente. Barandas, defensas y barandas peatonales, señalización que deben ser reparados.	Buen estado
9	Daños insignificantes que no requieren reparación solamente obras de mantenimiento de rutina.	Buen estado
10	Sin daño, requiere solamente obras de mantenimiento de rutina.	Buen estado

Fuente: Ejecución propia con fundamento en la referencia (5)

4.6.1. Indicador de riesgo (14)

Con el estado estructural (E), el estado Hidráulico (H) y el estado geotécnico (G) que describen la calificación de los indicadores de riesgo y la probabilidad de eventos de distinta severidad para el puente. A mejor estado del puente mayor calificación, por lo que la calificación de uno (1) corresponde a máximo riesgo y la calificación de (10) corresponde a mínimo riesgo. Las calificaciones se asocian con las siguientes situaciones:

Uno (1) Muy alta posibilidad de cierre o corte de accesos por razones estructurales, hidráulicas o geotécnicos registrados en el puente en los últimos tres años, debido a

razones de falta de adecuación geométrica (reducción de sección transversal y de velocidad de circulación, falta de visibilidad).

Tres (3) Muy alta posibilidad de limitación de cargas por razones estructurales, hidráulicas. Ancho de la calzada del puente menor al de la calzada de los accesos (reducción del ancho de carril), o velocidad de circulación en el puente mucho menor a la velocidad de aproximación en los accesos (disminución de velocidad de 20 Km/h o más).

Cinco (5) Altos sobrecostos en caso de tener que realizar las obras de rehabilitación de manera urgente por razones estructurales, hidráulicas. Causas que incrementan el costo en caso de reparación urgente: zonas alejadas de centros urbanos importantes; proyectos de alta complejidad técnica; dificultades administrativas para contratación directa. Ancho de la calzada del puente menor a 7,30 m, ó velocidad de circulación en el puente menor a la velocidad de aproximación en los accesos (disminución de velocidad de entre 10 Km/h y 20 Km/h).

Siete (7) Sin sobrecostos en caso de tener que realizar las obras de rehabilitación de manera urgente. Deficiencias en los elementos de guía y seguridad pasiva del puente. Barandas de defensa y barandas peatonales, señalización.

Diez (10) Requiere solamente obras de mantenimiento de rutina.

En las calificaciones de riesgo por razones estructurales, hidráulicas y por geotécnica del puente se encuentran a cargo de ingenieros especialistas y como consecuencia de un proceso de inspección previo.

Con el proceso aplicado sobre los indicadores de riesgo (asumiendo una escala de 1 a 10 y que las calificaciones más bajas implican mayor riesgo) posibilita establecer umbrales de puntajes altos (bajo riesgo) para obras que solamente requieren mantenimiento de rutina y por lo tanto no es necesario evaluarlas con los indicadores de consecuencia, que exigen un mayor esfuerzo de recolección de datos.

Se definieron en cinco puntos en los umbrales para cualquiera de los indicadores individuales de riesgo (estructura, hidráulica, geotécnico) y en siete puntos para el indicador de riesgo ponderado. Así quedan en el rango de riesgo bajo los puentes que cumplan simultáneamente la condición de tener todos sus indicadores individuales con valores **mayores a cinco** (5) y el indicador de riesgo ponderado **mayor** a siete (7). Estos casos corresponden a obras de mantenimiento de rutina que no requieren priorización.

Los puentes que no cumplen la condición anterior quedan en el rango de riesgo alto y deben someterse al indicador de consecuencia para el proceso de ordenamiento de prioridades.

4.6.2. Indicadores de consecuencia por falla en el puente (ICP)

La calificación de los indicadores de consecuencia por falla en el puente muestra la situación resultante en la red vial y la afectación en la sociedad si ocurre el evento de riesgo. Cada indicador es calificado de manera independiente, las calificaciones deberán estar a cargo de ingenieros especialistas o personal idóneo. Se ha determinado para los indicadores de consecuencia los siguientes criterios de niveles de tránsito, vulnerabilidad de la red vial y valor estratégico del puente.

En la evaluación de la estructura del puente a mejor situación del estado de la estructura mayor calificación, por lo que el puntaje 1 corresponde a la peor consecuencia y se ha definido un puntaje de 10 a la menor consecuencia. Las calificaciones se asocian con las siguientes situaciones:

4.6.2.1. Indicador de consecuencia por Nivel de Tránsito (NT)

El nivel de tránsito es un primer indicador asociado a la importancia económica del perjuicio que generaría el cierre ó limitación de carga por falla estructural y/o hidráulica y también para el caso de riesgo por geotécnica.

El costo por cierre del tramo o ruta de la vía está directamente asociado al número de usuarios que se afectarían por la situación. Para la asignación de puntajes se han determinado umbrales de tránsito que permitan distribuir razonablemente el total de tramos de la red vial nacional. Se empleó como variable de clasificación al Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS) del tramo o sector de vía donde se ubica el puente.

Calificación: (Máxima consecuencia = 1; Mínima consecuencia = 10).

4.6.2.2. Indicador de consecuencia por vulnerabilidad de la red.

Define el impacto que produciría el cierre total ó por limitación de carga de un puente en la red vial. A mayor longitud del desvío, mayor vulnerabilidad, en tal sentido resulta importante considerar no solamente la longitud de la alternativa existente más conveniente, sino también la posibilidad de realizar o no obras especiales para rehabilitar el tránsito (construcción de variante, instalación de puente Bailey o provisional, etc.). Para lo cual se han evaluado los siguientes subcriterios (1) Importancia e impacto por cierre de la vía, (2) Dificultad de recuperación del puente y (3) Pendiente del tramo.

Calificación: (Máxima consecuencia = 1; Mínima consecuencia = 10).

4.6.2.2.1. Importancia e impacto de la vía:

Esta referido a la importancia de la vía desde el punto de vista de flujo vehicular asociado al impacto socio económico que produciría el cierre del puente y se define por el tipo de vía donde se ubica el puente dado que para calificación de máxima consecuencia obtendría una calificación de uno (1), para vías de un nivel primario con tráficos altos por lo que el impacto va a ser mayor y mínima consecuencia con calificación de diez (10), para vías clasificadas como terciarias con poco tráfico, lo que produciría un impacto muy pequeño si el puente se cierra.

4.6.2.2.2. Dificultad de recuperación del puente

Referida a la capacidad de respuesta luego de sucedido el evento como la facilidad de disponibilidad de recursos tanto humanos como físicos y de organización gubernamental para contrarrestar la emergencia, tomado como mínima consecuencia = 10 a la distancia de la maquinaria cerca de población urbana de 10 Km con fácil acceso y sin traumatismos de consecución y como máxima consecuencia de = 1 a la maquinaria dispuesta a una distancia mayor a los 100 Km que implicaría mayores demoras en la atención.

4.6.2.2.3. Pendiente transversal del terreno:

Hace alusión en el presente proyecto, a la pendiente transversal del eje longitudinal donde se ubica el puente ya que en conjunto con las características geológicas representan la estabilidad de los taludes del puente en evaluación. Dentro de la tipología de pendiente del tramo se presentan cuatro clases definidos en el Manual para el Diseño de Carreteras en Colombia vigente: plano, ondulado, montañoso y escarpado, lo que permite asociar donde se ubica el puente la pendiente predominante del mismo.

Calificación: (Máxima consecuencia = 1 para tipologías de pendientes en terreno escarpado; Mínima consecuencia = 10 para tipología de pendientes en terreno plano).

4.6.2.3. Indicador de consecuencia por valor estratégico.

Mide el grado de importancia de los valores socioeconómicos, ambientales y geopolíticos que tiene en la red el tramo dónde se ubica el puente. El valor estratégico establece ordenar prioridades de mantenimiento y rehabilitación de puentes, por lo que hace referencia al estado actual del tramo y no al estado potencial (planeación). Como define la amenaza al colapso y la vulnerabilidad de la estructura se definió lo siguientes criterios de evaluación 1) Fecha de construcción del puente, 2) La configuración estructural del puente, 3) Las vías alternas y 4) Sensibilidad ambiental.

4.6.2.3.1. Fecha de Construcción:

La evaluación se basa en los diferentes códigos de construcción de puentes para Colombia iniciando con el nuevo código CCP-14 hasta el más antiguo, se plantea que el puente presente amenazas dado el aumento de las cargas de transporte en las vías

colombianas, lo que se traduce que entre más antiguo sea el puente presenta mayor riesgo al colapso del mismo y representa la máxima consecuencia obteniendo una calificación de uno (1). Se espera que puentes que cumplan el código actual se encuentren en buenas condiciones lo que se traduce en mínima consecuencia con calificación de diez (10), valores entre ocho (8) y nueve (9) para puentes construidos entre 1995 y 2014 que comprende la transición con Código Colombiano de diseño y construcción de puentes de 1995 y el nuevo código CCP-14, valores intermedios entre cinco (5) y siete (7) con regular estado para los construidos desde 1970 al 1995 y en máxima consecuencia a los construidos con anterioridad a los años 70.

4.6.2.3.2. Configuración estructural del puente:

Teniendo en cuenta la configuración de la estructura longitudinal por su vulnerabilidad se cuantifico conservando la clasificación dada por SIPUCOL calificándose así:

Calificación: (Máxima consecuencia = 1 para tipologías de puentes complejos como los atirantados; Mínima consecuencia = 10 para tipología de puentes en concreto simplemente apoyados).

4.6.2.3.3. Vías alternas:

Este indicador define que en el momento que se produzca el evento y al existir vías alternas, permitan garantizar los desvíos del tráfico en vías que cumplan con la capacidad estructural y sin afectar de manera significativa la distancia de recorrido. El indicador se define así:

Mínima consecuencia = 10 para Vías alternas existentes que absorbe todo el tráfico sin traumatismos

Máxima consecuencia = 1 para Vías alternas por construir > a 5Km

4.6.2.3.4. Sensibilidad Ambiental:

Dado que en la ocurrencia del evento o en la evaluación de que se le haga a la estructura interviene el medio ambiente, por lo que se hace necesario definir el área de afectación de la estructura calificando el área de influencia ambiental de acuerdo con la recuperación del entorno de forma natural hasta la intervención con obras de mitigación sencillas o complejas de acuerdo con la afectación o sensibilidad así :

- ✓ “Sensibilidad Muy baja: se reconocen aquellos criterios cuyas condiciones originales toleran sin complicaciones las acciones del proyecto, donde la recuperación podría ocurrir en forma natural.
- ✓ Sensibilidad Baja: se reconocen aquellos criterios cuyas condiciones originales toleran sin problemas las acciones del Proyecto, donde la recuperación, si bien no podría ocurrir en forma natural, puede darse con la aplicación de alguna medida relativamente sencilla.

- ✓ Sensibilidad Media: se agrupan aquellos criterios donde existe un equilibrio ecológico o social frágil. Por lo que su recuperación y control exige, al momento de ejecutar un proyecto, la aplicación de medidas que involucren alguna complejidad.
- ✓ Sensibilidad Alta: se destacan aquellos criterios donde los procesos de intervención modifican significativamente sus condiciones originales y donde es necesaria la aplicación de medidas complejas de tipos mitigantes.
- ✓ Sensibilidad Muy alta: se destacan aquellos criterios donde los procesos de intervención modifican irreversiblemente sus condiciones originales y donde es necesaria la aplicación de medidas complejas de tipos compensatorias. " (15)

Mínima consecuencia = 10; Sensibilidad Muy baja, la recuperación ambiental del sector se hace en forma natural rápida.

Máxima consecuencia = 1 Sensibilidad Muy alta para Daño ambiental irreversible recuperación compleja de tipo compensatorio de alto costo.

4.7. MODELO DE SELECCIÓN DE PRIORIDADES

Para la gestión del riesgo en el sistema de evaluación de puentes se utiliza el método de jerarquías analíticas con funciones de utilidades multiatributo que refleja la comparación del riesgo de la red vial en un horizonte de un año que deberá ser ejecutado por expertos y evaluados con los indicadores de riesgo estructural (E), Hidráulico (H) y de Geotécnico (G), calculando el indicador de riesgo ponderado (IRP) como una calificación global de la estructura con la expresión siguiente:

$$IRP = 0,28 E + 0,40 H + 0,32 G \quad (5)$$

Para aquellos puentes que resulten con riesgo alto debido a calificaciones iguales ó menores a cinco (5) en *E*, *H*, o *G* o calificación igual o menor a siete (7) en *IRP*, se califica el puntaje de los indicadores de consecuencia por niveles de tránsito (*NT*), vulnerabilidad (*VR*) y valor estratégico (*VE*), calculando el indicador de consecuencia ponderado con la expresión:

$$ICP = 0,34 NT + 0,33VR + 0,33 VEP \quad (6)$$

Para el caso de que la obra califique con riesgo alto solamente por geotecnia vial, en el indicador de consecuencia ponderado no participa la vulnerabilidad de la red, calculando el *ICP* con la expresión:

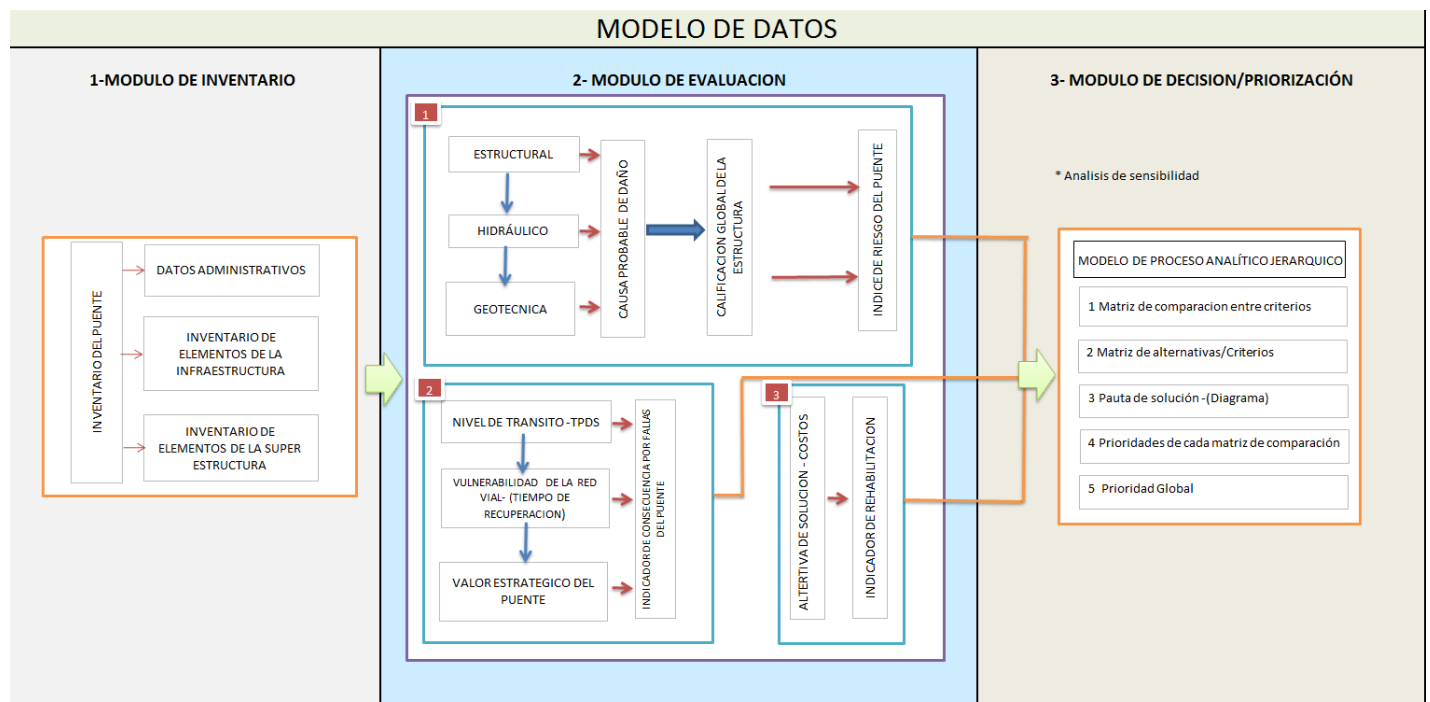
$$ICP = 0,55 T + 0,45 VEP \quad (7)$$

El ordenamiento de prioridades de inversión resulta de menor a mayor *ICP*; a menor puntaje, mayor prioridad.

4.8. PROPUESTA DEL ALCANCE DEL PROYECTO

El modelo de datos estos conformados por tres módulos; el módulo de inventario, módulo de evaluación y el módulo de decisión/priorización. Definidos los parámetros contenidos en la inspección visual, fundamentados en los formatos igualmente usados en el inventario con el Sipucol que se basa en tres pasos para el inventario de puentes los cuales son los datos administrativos, inventario de elementos de la infraestructura e inventario de elementos de la superestructura.

Tabla 11 Modelo de Datos



4.8.1. RECOPIACION DE DATOS DEL MODULO DE INVENTARIO

Hace parte de la información que se obtiene de la inspección del o de los puentes en evaluación que tienen como función permitir el paso de los vehículos y/o peatones salvando un obstáculo que puede ser natural o artificial como ríos, valles, depresión topográfica o inestabilidad geológica, vías férreas, vías existentes, etc.

Definición de Puesto: Es una estructura construida para cruzar una vía existente o salvar un obstáculo o depresión topográfica o inestabilidad geológica generando el tránsito de personas, animales, cosas o mercancías de un lugar a otro.

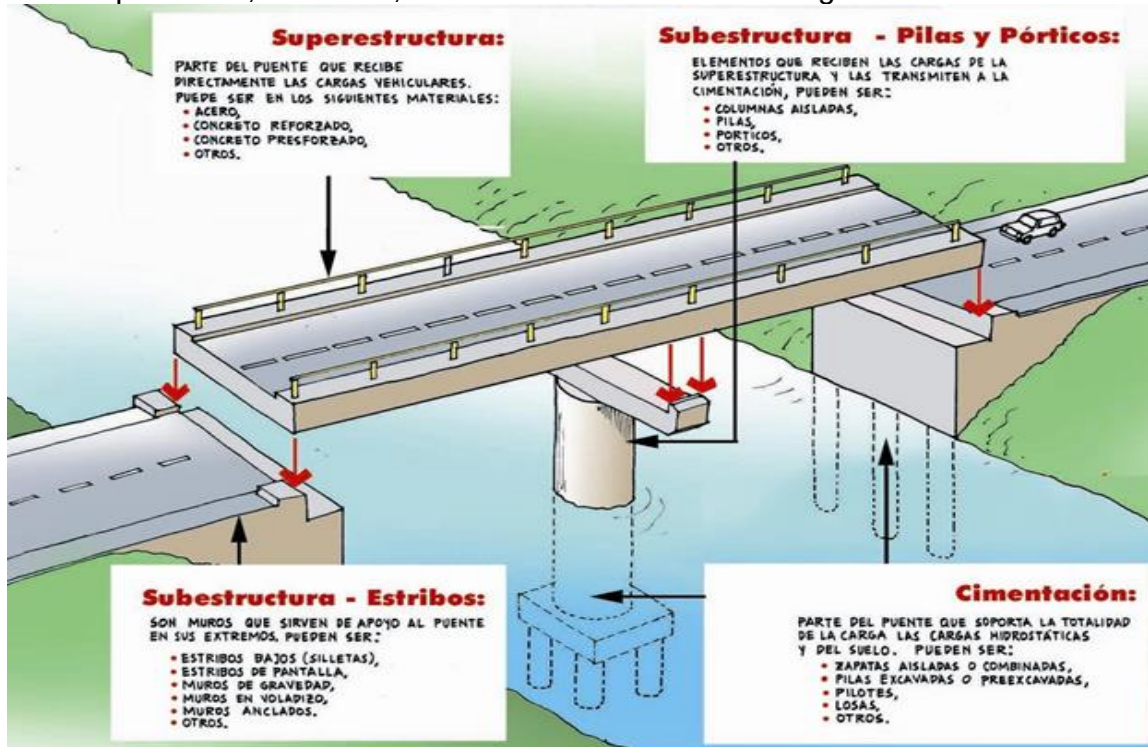


Ilustración 4 Partes de un puente en concreto simplemente apoyado

Fuente: Extraído de la referencia (14)

4.8.2. TIPOLOGIA GENERAL DE PUENTES:

Siguiendo la clasificación del SIPUCOL se presenta la clasificación por tipo de sección longitudinal así:

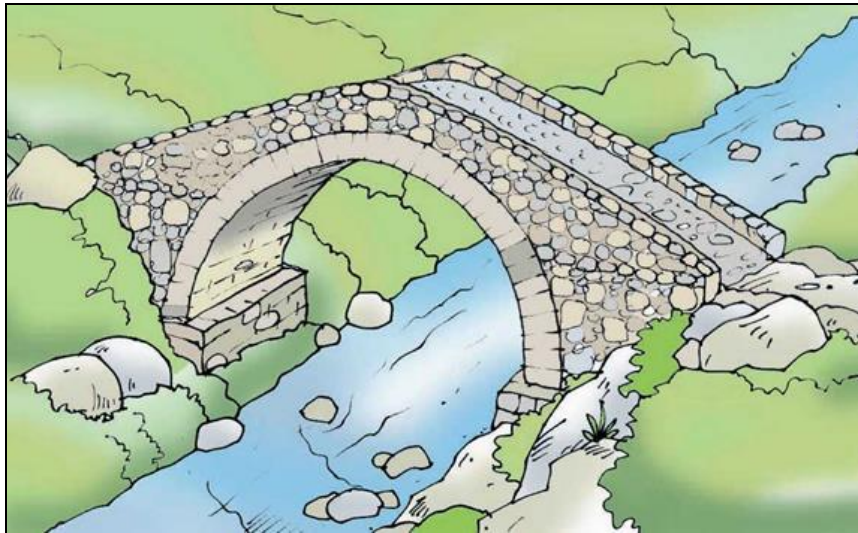
- ✓ Puentes en Mampostería
- ✓ Puentes en piedras
- ✓ Puentes de losa y Vigas
- ✓ Puentes vigas cajón
- ✓ Puentes de Placa
- ✓ Puentes en arco Concreto y Metálico
- ✓ Puentes de Armadura
- ✓ Puentes en viga metálica
- ✓ Puentes Colgantes
- ✓ Puentes Atirantados

PUENTE MAMPOSTERIA



Foto No. 1 Puente carretera El Zulia – Gramalote (14)

PUENTE EN PIEDRA



Fuente: Extraído de la referencia (14)

PUENTES DE LOSA/ VIGA



Foto No. 2 Puente Santa Inés PR9+000 carretera Agua Clara – Ocaña
Fuente: Propia
VIGA CAJÓN



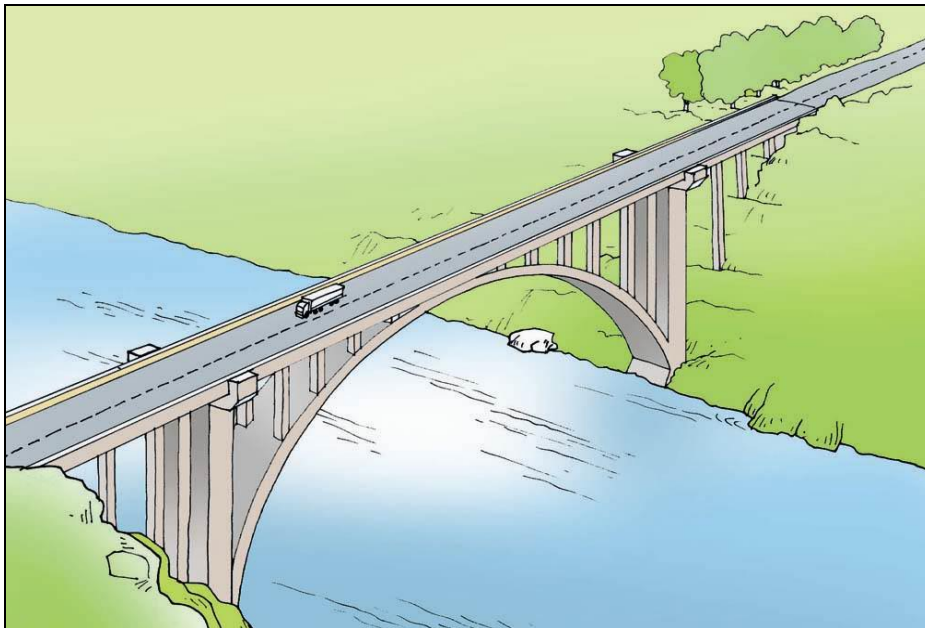
Foto No. 3 Puente Rio Negro carretera Bogotá – Villavicencio
Fuente: Propia

PUENTE DE PLACA



Foto No. 4 Caño Yuca – Sucre
Fuente: Propia

PUENTE EN ARCO



Fuente: Extraído de la referencia (14)
Fuente: Propia

PUENTE DE ARMADURA



Foto No. 5 Puente Cajamarca
Fuente: Propia

PUENTE EN ARCO METALICOS



Foto No. 6 Puente San José de Fragua – Caquetá
Fuente: Propia

PUENTE EN VIGA METALICA



Foto No. 7 Puente Casacara- Cesar
Fuente: Propia

PUENTE COLGANTE



Foto No. 8 Puente Juntas rio Páez Cauca
Fuente: Propia

PUENTE COLGANTE



Foto No. 9 Puente Cambao sobre el rio Magdalena
Fuente Propia

PUENTE ATIRANTADO



Foto No. 10 puente Alfonso López Pumarejo – Atlántico
Fuente: wikipedia

PUENTE ATIRANTADO



Foto No. 11 Viaducto Pereira – Dosquebradas

Fuente: <http://www.arquitecturamundial.com/wp-content/uploads/viaducto.jpg>. (16)

Vista de sección Transversal, Anchos, Rodadura, barandales

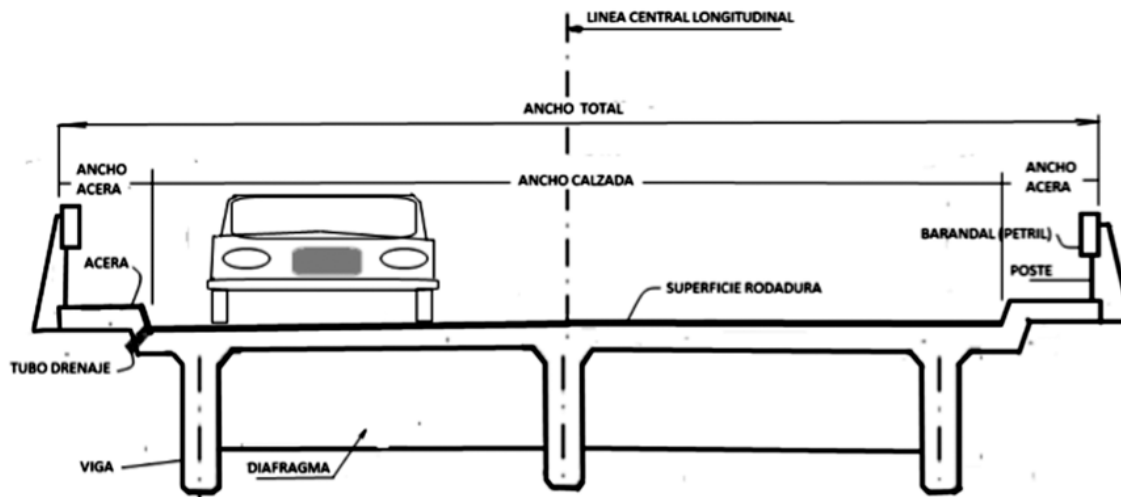


Ilustración 5 Sección transversal del puente

Fuente: Pág. 79 del Manual Centroamericano de Gestión del Riesgo en Puentes – Edición 2010

4.8.3. Componentes del puente:

Los puentes se componen generalmente de:

Superestructura: Hacen parte los elementos principales las vigas, cerchas, y arcos, elementos secundarios como diafragma, sistemas de arriostramiento, andenes, etc. y la losa o pisos.

Infraestructura: Se componen de los apoyos, estribos y pilas o columnas

Cimentación: Formada por la base de soporte de la estructura del puente y su función es transmitir las cargas de estas al suelo de sustentación. Puede ser de zarpa, pilotes, etc.

Accesorios: Elementos no estructurales que sirven para mejorar la funcionalidad y seguridad de los usuarios, tales como superficie de rodamiento, barandas y juntas de expansión.

Accesos al puente o de aproximación: Conforman los rellenos con sus respectivas protecciones y losa de aproximación y muros de acompañamiento.

4.8.3.1. Tablas de Entrada del inventario de puente:

Se fijó de acuerdo al SIPUCOL del INVIAS, (17) manteniendo la misma clase de estructura y tipología, clasificándola en superestructura e infraestructura considerando el puente como una sola estructura de concreto, metálico o combinado para el caso de puentes en Colombia así:

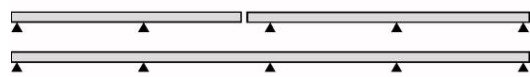
LA SUPESTRUCTURA: Todos los componentes que hacen parte del tablero como: losas, vigas, riostras, armadura, arco, cables tirantes, pendolones, catenaria, anclajes, bordillos, andenes, barandas, juntas de dilatación, apoyos, pavimento, drenes y separadores.

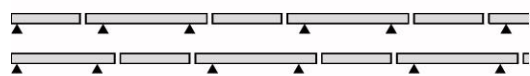
Tabla 12 Tipo de Superestructura:

Tipo Superestructura
Simplemente apoyada, sección transversal constante
Simplemente apoyada, sección transversal variable
Viga continua, sección transversal constante
Viga continua, sección transversal variable
Viga Gerber, sección transversal constante
Viga Gerber, sección transversal variable

Pórtico, sección transversal constante
Pórtico, sección transversal variable
Cajones box culvert
Puente colgante
Puente atirantado


Tipo 10 - 11, simplemente apoyado


Tipo 20 - 21, viga continua


Tipo 30 - 31, viga "Gerber"


Tipo 40 - 41, pórtico

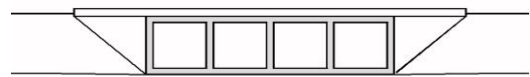

Tipo 50, box culvert

Ilustración 6 Diseño de la estructura longitudinal
- Fuente SIPUCOL – INVIAS

Tabla 13 Tipo de material de la Superestructura:

Material Superestructura
Concreto ciclópeo
Concreto simple
Concreto reforzado, in situ
Concreto reforzado, prefabricado
Concreto presforzado, in situ
Concreto presforzado, prefabricado
Concreto presforzado, secciones
Concreto presforzado, prefabricado y in situ
Concreto y acero
Acero
Mampostería

Tabla 14 Tipo de viga del puente:

Tipo viga
Viga Transversal
Viga Longitudinal
Vigas
Cajón Postensado
Cajón metálico
Sección en I Postensado
Sección en H perfil Concreto postensado
Sección en H perfil metálico
Celosía
Losa/Viga

Tabla 15 La geometría del puente:

Geometría de la Sección
Circular
Rectangular
Elipsoidal
Hexagonal
Tipo de estribos
Con aletas integradas
Con aletas separadas
Enterrado, sólido
Enterrado, columnas/pilotes con viga cabezal

Tabla 16 Para el tipo de estructura transversal de la superestructura:

Tipo de estructuración transversal (de la superestructura)
Losa
Losa/viga, 1 viga
Losa/viga, 2 vigas
Losa/viga, 3 vigas
Losa/viga, 4 o más vigas
Trabe cajón, 1 cajón
Trabe cajón, 2 ó más cajones
Armadura de paso inferior
Armadura de paso superior
Armadura de paso a través
Arco superior
Arco inferior, tipo abierto
Arco inferior, tipo cerrado
Provisional, tipo Bailey (Acrow, Mabey, etc)
Provisional, tipo Callender Hamilton

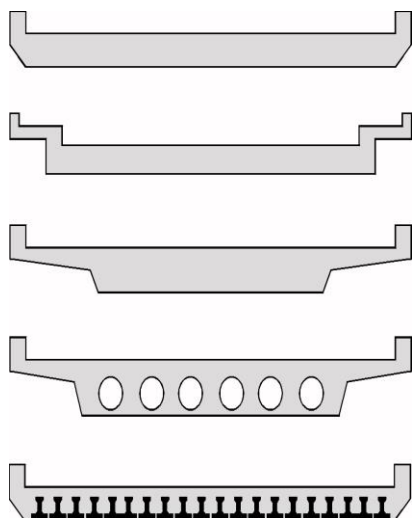


Ilustración 7 Estructura transversal tipo losa
Fuente SIPUCOL INVIAS

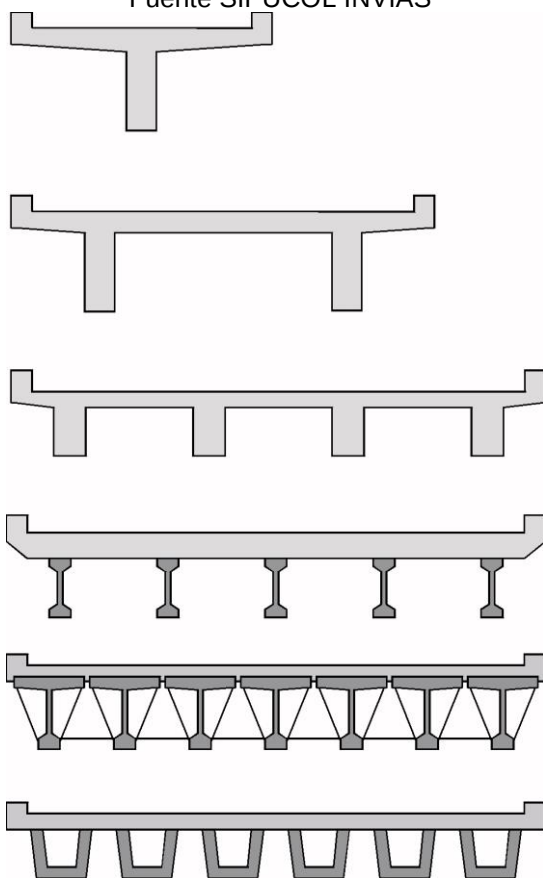


Ilustración 8 Estructura transversal tipo losa sobre vigas
Fuente SIPUCOL – INVIAS

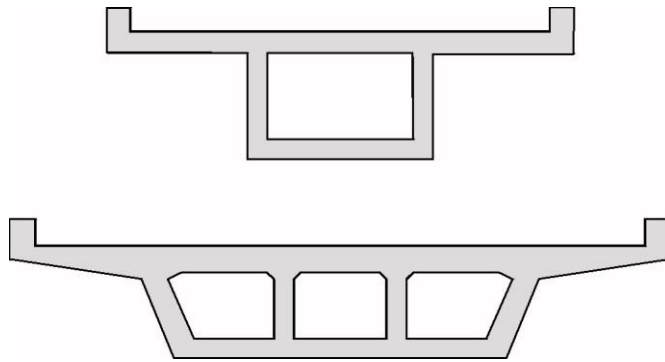
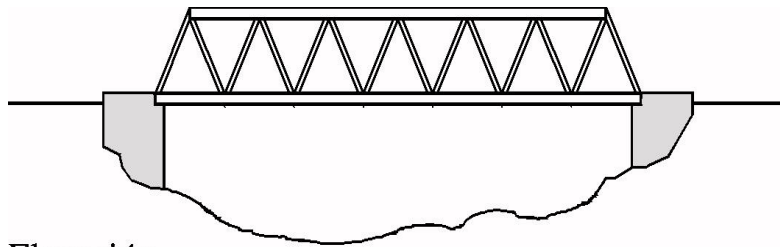
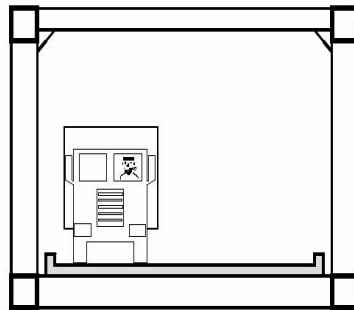


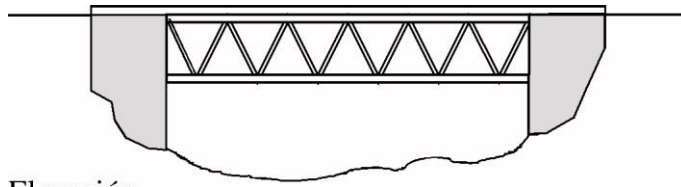
Ilustración 9 Estructura transversal tipo vigas cajón
Fuente SIPUCOL INVIAS



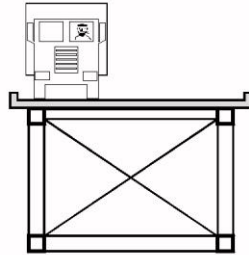
Elevación



Corte transversal
Ilustración 10 Estructura transversal tipo armadura de paso inferior
Fuente SIPUCOL – INVIAS

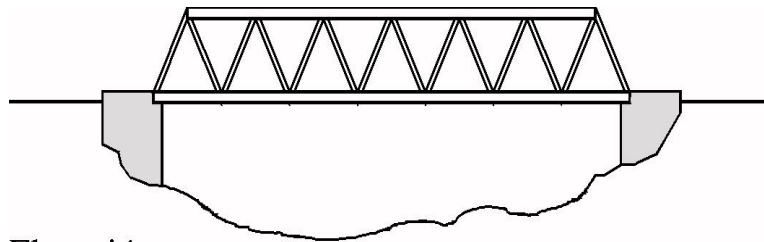


Elevación

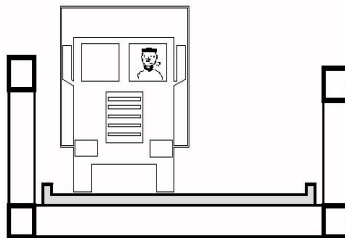


Corte transversal

Ilustración 11 Estructura transversal tipo armadura de paso superior
Fuente SIPUCOL- INVIAS

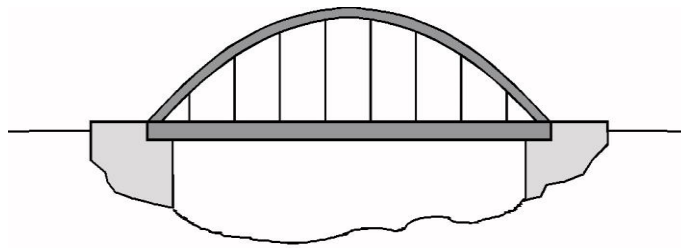


Elevación

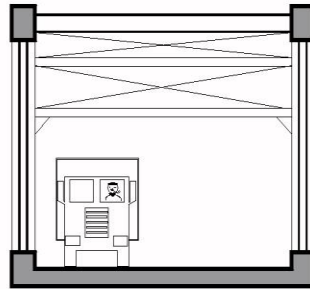


Corte transversal

Ilustración 12 Estructura transversal tipo armadura de paso a través.
Fuente SIPUCOL - INVIAS

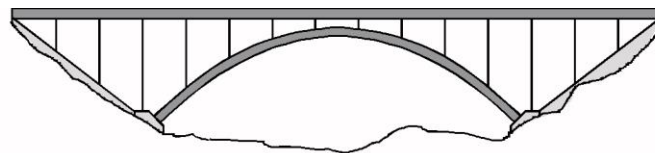


Elevación

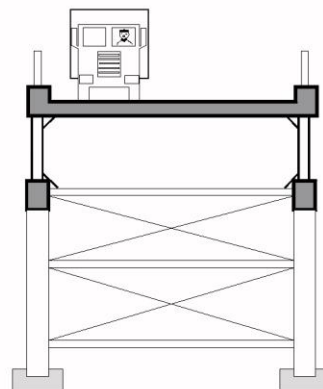


Corte transversal

Ilustración 13 Estructura transversal tipo arco superior
Fuente SIPUCOL - INVIAS

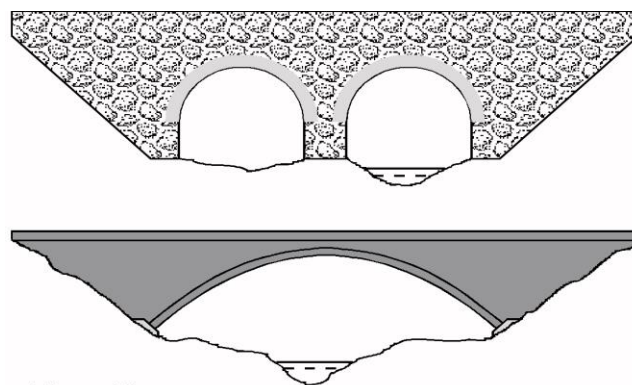


Elevación

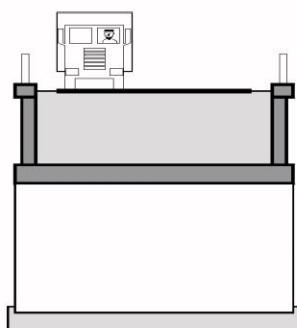


Corte transversal

Ilustración 14 Estructura transversal arco inferior tipo abierto.
Fuente SIPUCOL - INVIAS



Elevación



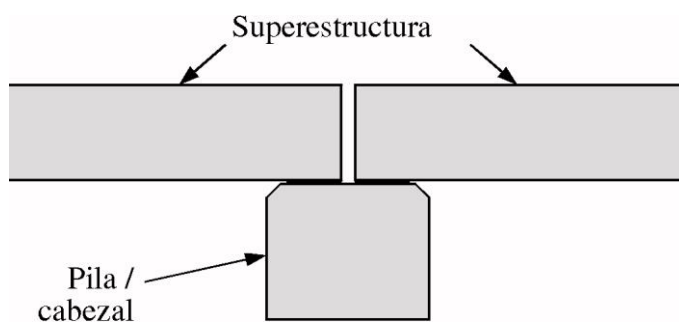
Corte transversal

Ilustración 15 Estructura transversal arco inferior tipo cerrado

Fuente SIPUCOL - INVIAS

Tabla 17 Tipo de Apoyos:

Tipo de apoyos
Junta de construcción (acaso con una capa de cartón asfaltado o de plomo)
balancín de concreto
Placas de neopreno
Apoyo fijo de acero
Apoyo de deslizamiento (acero)
balancín de acero
Apoyos de rodillos (acero)
Basculante



Fuente SIPUCOL - INVIAS

Ilustración 16 Tipo de apoyo junta de construcción (acaso con una capa de cartón asfaltado o de plomo)

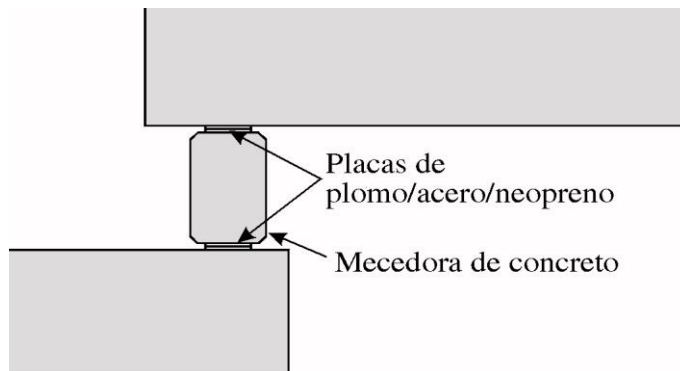


Ilustración 17 Tipo de apoyo balancín de concreto
Fuente SIPUCOL

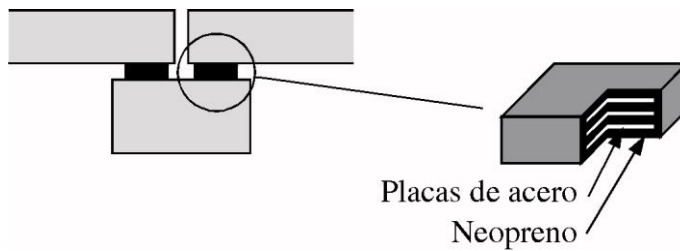


Ilustración 18 Tipo apoyo placa de neopreno
Fuente SIPUCOL

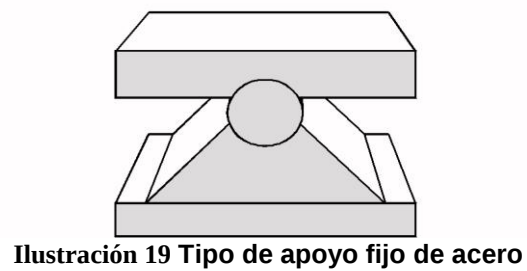
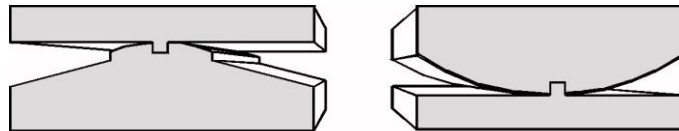


Ilustración 19 Tipo de apoyo fijo de acero
Fuente SIPUCOL

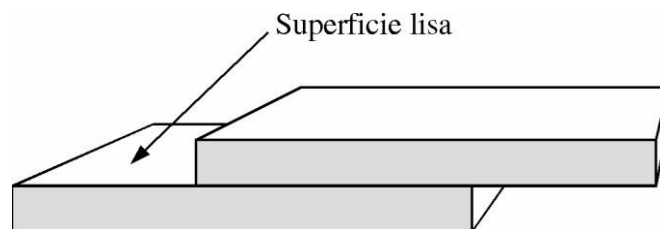


Ilustración 20 Tipo de apoyo de deslizamiento en acero
Fuente SIPUCOL - INVIAS

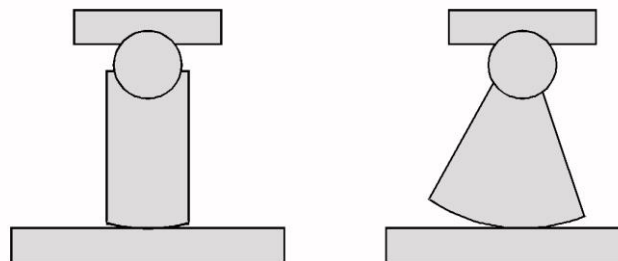


Ilustración 21 Tipo de apoyo balancín de acero
Fuente SIPUCOL - INVIAS

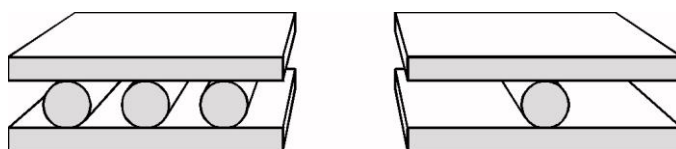


Ilustración 22 Tipo de apoyo de rodillos (acero)
Fuente SIPUCOL - INVIAS

Tabla 18 Juntas de Expansión:

Juntas de Expansión
Placa de acero
placa de acero cubierta de asfalto
ángulos o placas verticales de acero
junta dentada
acero con sello fijo de neopreno
acero con sello de neopreno comprimido
bloque de neopreno
Junta de goma asfáltica
No dispositivo de junta
Junta de cartón asfaltado
Junta de cartón asfaltado con sello

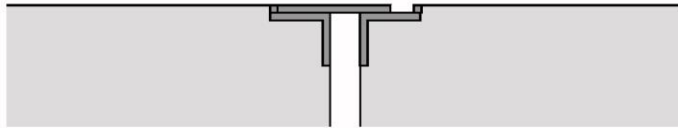


Ilustración 23 Tipo de junta de expansión placa de acero
Fuente SIPUCOL

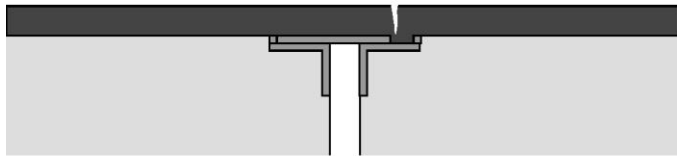


Ilustración 24 Tipo de junta de expansión placa de acero cubierta de asfalto
– Fuente SIPUCOL - INVIAS

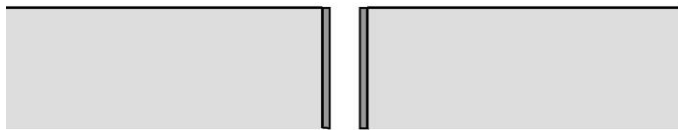
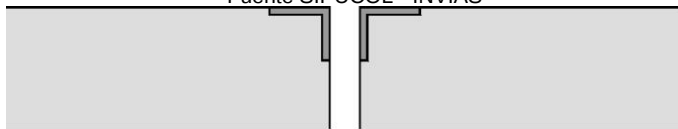
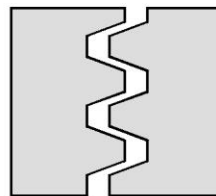
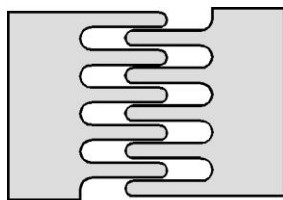
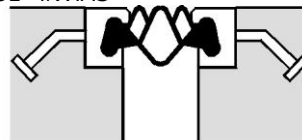
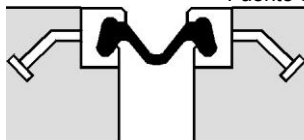


Ilustración 25 Junta de expansión tipo ángulos o placa vertical de acero
– Fuente SIPUCOL - INVIAS



Planta

Ilustración 26 Junta de expansión tipo junta dentada
– Fuente SIPUCOL - INVIAS



Corte transversal

Ilustración 27 Junta de expansión tipo acero con sello fijo en neopreno
– Fuente SIPUCOL - INVIAS

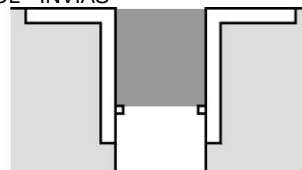
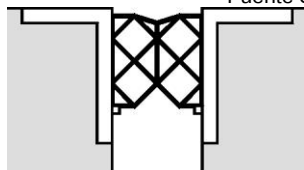


Ilustración 28 Junta de expansión tipo acero con sello de neopreno comprimido
Fuente SIPUCOL - INVIAS



Ilustración 29 Junta de expansión tipo bloque de neopreno

Fuente SIPUCOL - INVIAS

Capa de rodamiento

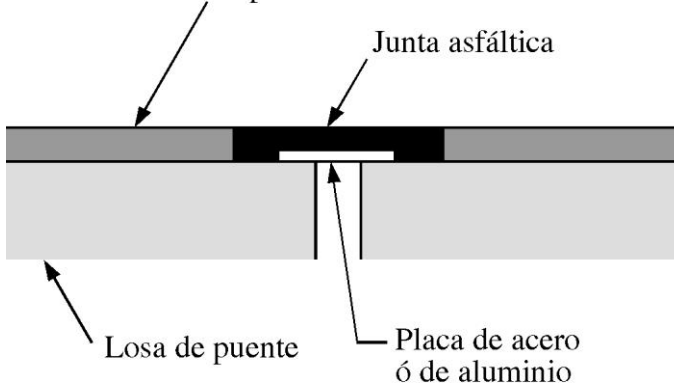


Ilustración 30 Junta de expansión tipo goma asfáltica

- Fuente SIPUCOL - INVIAS

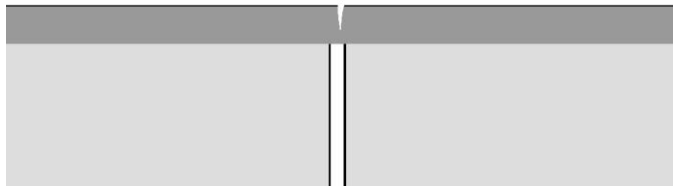


Ilustración 31 Junta de expansión tipo no dispositivo de junta

Fuente SIPUCOL - INVIAS

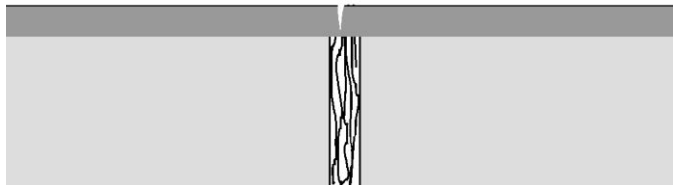


Ilustración 32 Junta de expansión tipo cartón asfaltado

- Fuente SIPUCOL - INVIAS

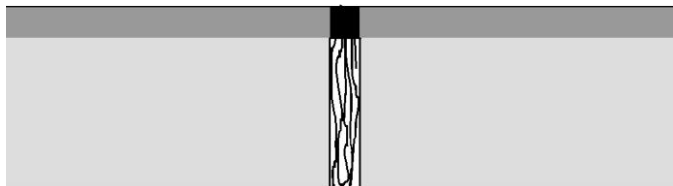


Ilustración 33 31Junta de expansión tipo cartón asfaltado con sello

- Fuente SIPUCOL - INVIAS

Tabla 19 Andenes:

Andén
sin Andén
Acero
Concreto

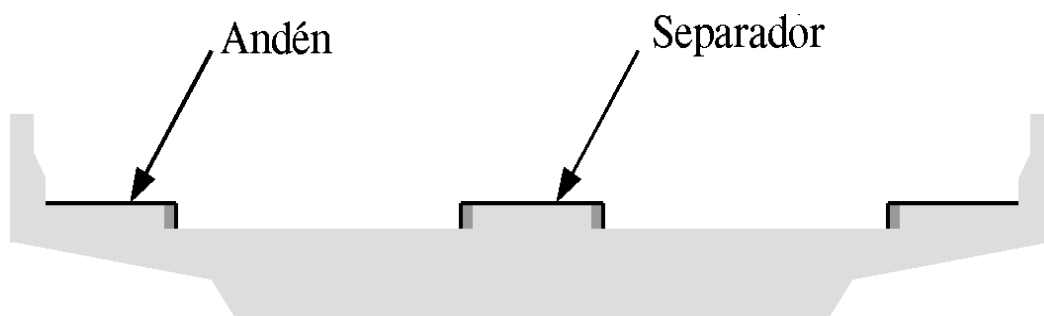


Ilustración 34 Andén y separador del puente

Fuente: SIPUCOL - INVIAS

LA INFRAESTRUCTURA: Comprende las pilas, pilones, estribos, cimentación, torres, aletas, elementos secundarios como losas de aproximación, terraplén de accesos, conos y taludes, etc.

Tabla 20 Tipo de pilas/pilones/columnas

Tipo Elemento Infraestructura
Pila sólida
Columna sólida
Estribo
2 o mas columnas sin cabezal
Columna sola con cabezal
2 o más columnas con cabezales separadas
2 o más columnas con cabezal común
2 o más columnas con cabezal común y diafragma (o vigas horizontales)
columnas con cabezal
pilotes con cabezal
pilotes con cabezal y diafragma (o vigas horizontales)
Mástil (pilón)
Torre metálica

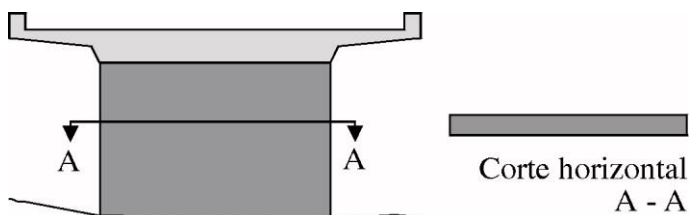


Ilustración 35 Pila sólida

Fuente SIPUCOL - INVIAS

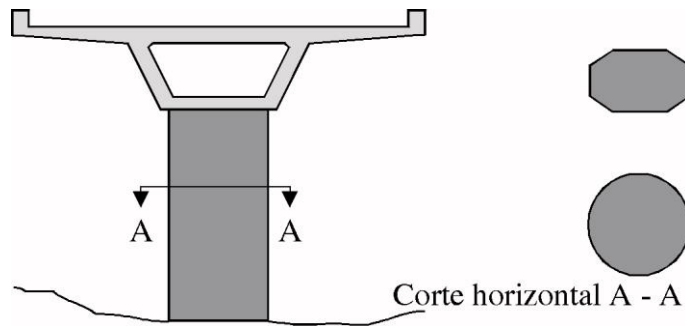


Ilustración 36 Columna sólida
Fuente SIPUCOL - INVIAS

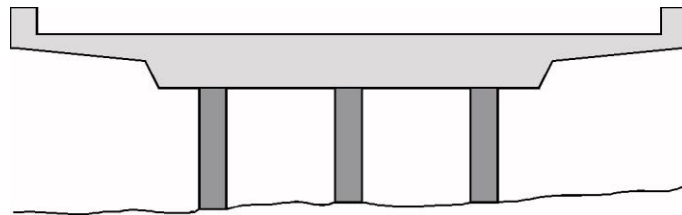


Ilustración 37 Pila de dos o más columnas sin cabezal
Fuente SIPUCOL - INVIAS

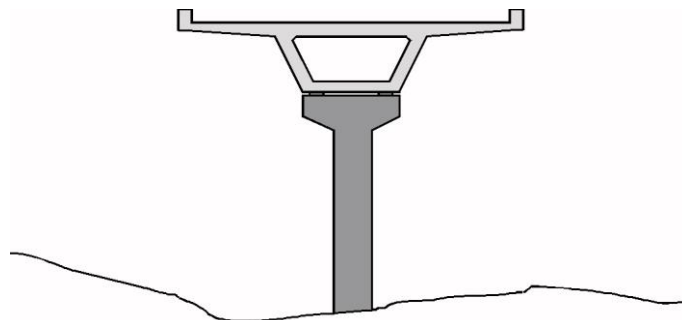


Ilustración 38 Tipo Pila, Columna sola con cabezal
Fuente SIPUCOL - INVIAS

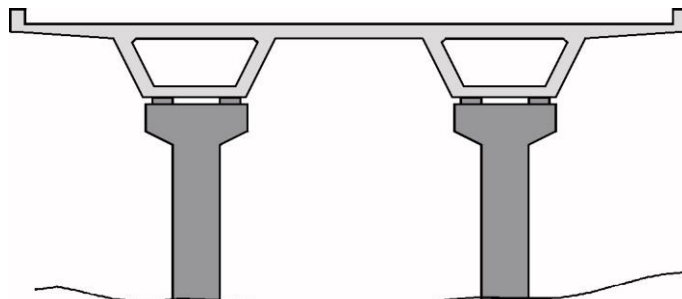


Ilustración 39 Tipo pilas con dos o más columnas con cabezal
Fuente SIPUCOL - INVIAS

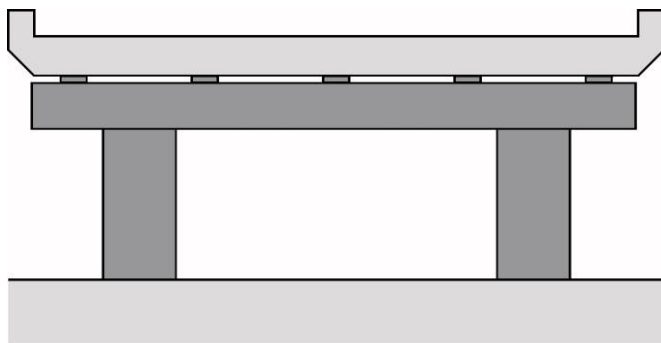
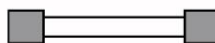
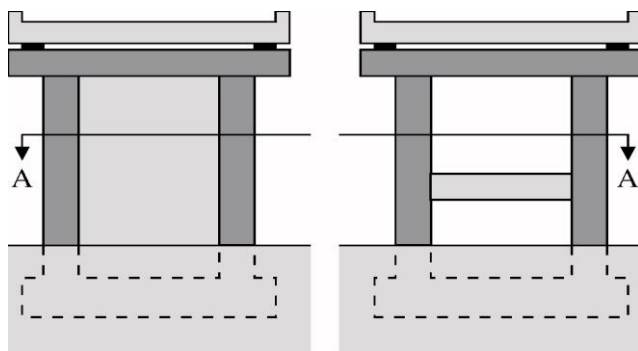


Ilustración 40 Tipo pilas con dos o más columnas con cabezal común

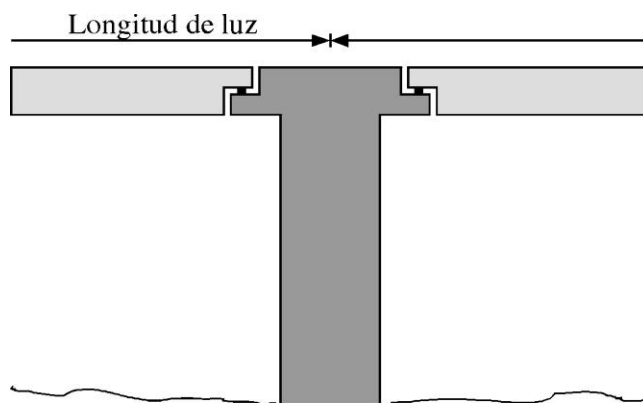
Fuente SIPUCOL – INVIAS



Corte horizontal A - A

Ilustración 41 Tipo pilas con dos o más columnas con cabezal común y diafragma (o vigas horizontales)

Fuente SIPUCOL - INVIAS



Elevación

Ilustración 42 Tipo pilas columnas con cabezal

Fuente SIPUCOL - INVIAS

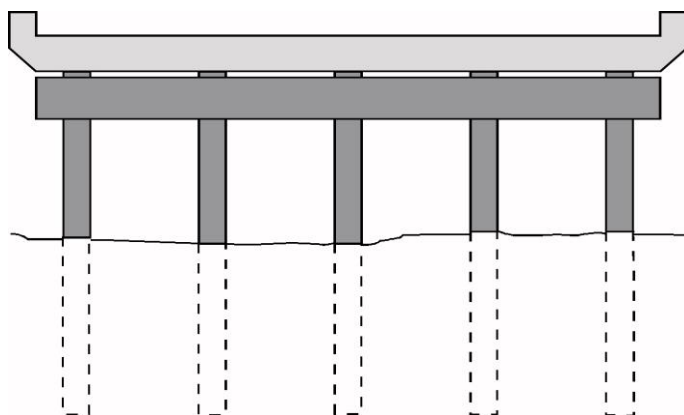


Ilustración 43 Tipo pilas con pilotes con cabezal

Fuente SIPUCOL - INVIAS

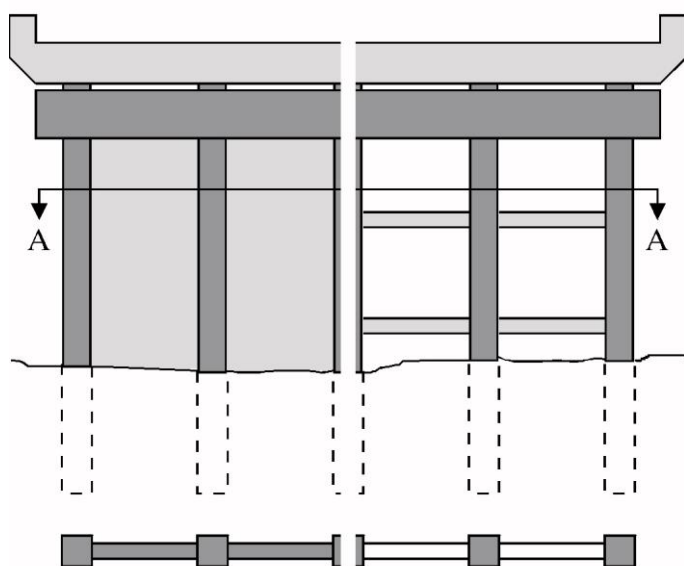


Ilustración 44 Tipo pilas con pilotes con cabezal y diafragma (o vigas horizontales)

Fuente SIPUCOL - INVIAS

Tabla 21 El tipo de estribos:

Tipo de estribos
Con aletas integradas
Con aletas separadas
Enterrado, sólido
Enterrado, columnas/pilotes con viga cabezal

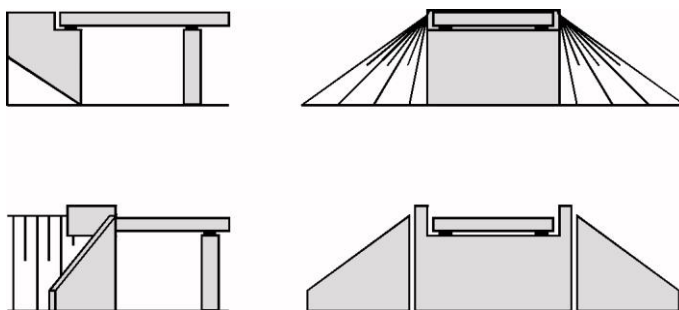


Ilustración 45 Estribos con aletas integradas/separadas

Fuente SIPUCOL - INVIAS

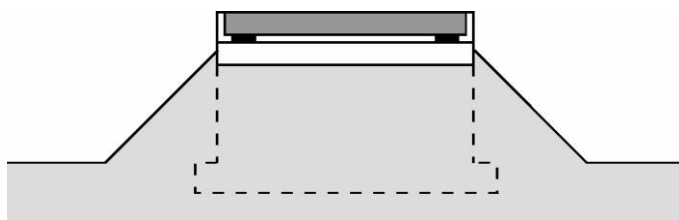


Ilustración 46 Estribos enterrados, sólido

Fuente SIPUCOL - INVIAS

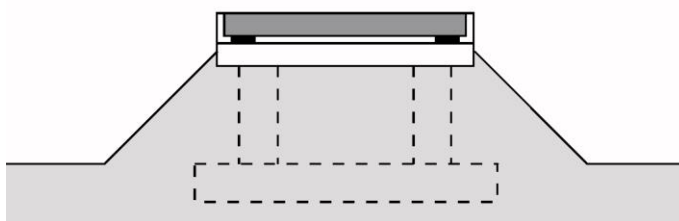
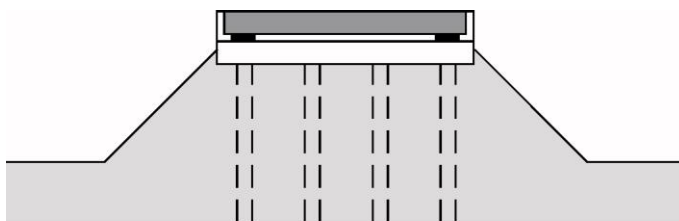


Ilustración 47 Estribos enterrados, columnas o pilotes con viga cabezal

Fuente SIPUCOL - INVIAS

Tabla 22 Material de los estribos/pilas:

Material de estribos/pilas
Mampostería
Concreto ciclópeo
Concreto reforzado
Acero
Acero y concreto
Tierra armada
Ladrillo

Tabla 23 Tipo de cimentación de estribos/pilas

Tipo de cimentación de estribos/pilas
Cimentación superficial
Pilotes de concreto
Pilotes de acero
Pilotes de madera
Caisson de concreto
Cajón autofundante
Caisson de concreto
Pilotes madera
Pilotes en Concreto
Micropilotes
Tubería metálica
Zarpa
Zapatas
Zapatas Ciclópeo

Tabla 24 El tipo de Columna:

tipo Columna
Estribos
Pila central
Aletas

5. ESQUEMAS DEL MODULO DE EVALUACION

El módulo de evaluación como se indicó en el capítulo anterior, contempla la determinación del Índice de riesgo del puente (IRP) y el índice de consecuencia de falla del puente (ICP); por lo que se iniciará el proceso de evaluación del IRP con los criterios de evaluación estructural, hidráulico y geotécnico del puente y se continuará con la determinación del ICP determinando los criterios de niveles de tránsito, Vulnerabilidad de la red y valor estratégico del puente.

Para iniciar con la evaluación y luego de definir los datos básicos del puente, el módulo de evaluación tiene en cuenta el tipo de estructura para puentes en concreto y puentes en acero, por lo que se analizará de manera independiente clasificándolo de acuerdo a sus elementos estructurales.

5.1. DAÑOS EN ELEMENTOS DE CONCRETO

En la evaluación de daños en puentes en concreto se realiza una inspección rigurosa e identifica las situaciones críticas que pueden colocar a la estructura del puente en riesgo tanto del colapso, como de su funcionamiento normal, revisando cada uno de los elementos estructurales que forman el puente e identificando y clasificando como estrategia de reparación posterior.

5.1.1. Daños estructurales en un puente de concreto:

- Descascaramiento: También llamado desconchamiento que consiste en la perdida continua del mortero y agregados superficial en el área de exposición del concreto. En la inspección se debe realizar una descripción del descascaramiento, determinando el área y posición o localización de la misma.
- Agrietamientos: consiste en una línea que muestra una fisura en el concreto, esta fisura se puede extender parcial o totalmente a lo largo del elemento analizado. En la inspección se debe anotar el tipo y localización, ancho (a), longitud (l), separación (d), dirección. Las grietas varían durante el día y la noche por factores como temperatura, humedad y cargas instantáneas aplicadas. (18)

5.1.2. Procedimiento de evaluación de daños estructurales en puentes de concreto

Definiendo los daños se deberá clasificar en orden de la afectación y de acuerdo con la clasificación de Saaty con el ajuste implementado en el presente proyecto hasta la calificación de 10 a 1 para aquellos elementos que no presentan daño con calificación

de 10, daños leves desde 9 hasta 6 y daños fuertes que necesitan su reconstrucción o llevar al colapso del elemento y por ende del puente, desde 5 hasta 1.

5.1.3. Evaluación de daños en la Superestructura

El inventario contempla la revisión de los elementos de la superestructura, definiendo el tipo de estructura longitudinal, tipo de estructura transversal y el material de la superestructura; para luego clasificar el daño en materiales de concreto de la superestructura calificando el estado de las vigas longitudinales y transversales, se revisan los siguientes acápite:

- ✓ Grietas localizadas en el centro de la luz de las vigas (por Flexión)
- ✓ Grietas localizadas en los extremos de las vigas (Por cortante)
- ✓ Grietas en pilas y columnas
- ✓ Deterioro en el concreto de elementos
- ✓ Deterioro en acero de refuerzo
- ✓ Impactos en vigas

5.1.3.1. Grietas localizadas en el centro de la luz de las vigas (por Flexión)(vigas longitudinales /transversales)

Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Si todas las fisuras tienen anchos menores de 0.3 mm se puede suponer que los esfuerzos no son muy altos y no deberá tomarse acción.	9	
Si todas las fisuras tienen anchos entre 0.3 mm y 0.4 mm se puede suponer que los esfuerzos no son muy altos y no deberá tomarse acción.	8	
Si el ancho de la fisura esta entre 0.4 y 0.5 mm el esfuerzo puede ser alto, pero se supone que no es peligroso.	7	

		
Si el ancho de la fisura esta entre 0.5 y 0.6 mm el esfuerzo puede ser alto pero se supone que no es peligroso.	6	
Un ancho de fisura entre 0.6 mm a 0.8 mm indica que los esfuerzos son altos y que allí puede haber un problema con respecto a la capacidad de carga	5	
Un ancho de fisura mayores a 1.0 mm indica que los esfuerzos son altos y que allí puede haber un problema con respecto a la capacidad de carga	4	
Se presentan agrietamientos en los diafragmas, estallamiento en las juntas de vigas, pero la viga se mantiene estable	3	
Se presentan agrietamientos en los diafragmas, estallamiento en las juntas de vigas y no han perdido su linealidad	2	
Se presentan agrietamientos en los diafragmas, estallamiento en las juntas de vigas ha perdido linealidad	1	

5.1.3.2. Grietas localizadas en los extremos de las vigas (Por cortante) (vigas longitudinales /transversales).

Grietas localizadas en los extremos de las vigas		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Fisuras inclinadas menores de 0.30 mm ubicadas cerca de los apoyos de las vigas o en las ménsulas de apoyo. Este tipo de fisuración evidencia sobreesfuerzos en los componentes involucrados	9	
Fisuras inclinadas entre 0.30 mm y 0.40 mm ubicadas cerca de los apoyos de las vigas o en las ménsulas de apoyo. Este tipo de fisuración evidencia sobreesfuerzos en los componentes involucrados.	8	
Fisuras inclinadas entre 0.40 mm y 0.60 mm cerca de los apoyos de las vigas o en ménsulas de apoyo. Esta condición presenta un riesgo medio, por lo cual es importante realizar una inspección especial	7	
Fisuras inclinadas entre 0.60 mm y 0.80 mm cerca de los apoyos de las vigas o en ménsulas de apoyo. Esta condición presenta un riesgo alto, por lo cual es importante realizar una inspección especial	6	
Fisuras inclinadas entre 0.80 mm y 1 mm cerca de los apoyos de las vigas o en ménsulas de apoyo. Esta condición presenta un riesgo alto, por lo cual es importante realizar una inspección especial	5	

Fisuras inclinadas mayor que 1 mm cerca de los apoyos de las vigas o en ménsulas de apoyo. Esta condición presenta un riesgo muy alto, por lo cual es importante realizar una inspección especial	4	 
Agrietamientos generalizados o fallas parciales o totales de los apoyos, pero estables	3	
Agrietamientos generalizados o fallas parciales o totales de los apoyos y no han perdido su linealidad	2	
Agrietamientos generalizados o fallas parciales o totales de los apoyos ha perdido la linealidad	1	

5.1.3.3. Deterioro en elementos de concreto (vigas longitudinales /transversales)

Deterioro en elementos de concreto		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	

Cambios de color generados por acción del medio ambiente o fisuras menores a 1 mm	9	
Cambios de color generados por acción del medio ambiente o fisuras menores a 3 mm	8	
Descascaramientos locales y acero de refuerzo expuesto. Grietas entre 3 y 5 mm	7	
Pérdida del material, concreto degradado, grietas mayores a 5 mm. Agrietamientos generalizados, sin acero de refuerzo expuesto y sin efectos de corrosión evidentes	6	
Pérdida del material, concreto degradado, grietas mayores a 5 mm. Agrietamientos generalizados, acero de refuerzo expuesto y sin efectos de corrosión evidentes	5	
Pérdida del material, concreto degradado, grietas mayores a 5 mm. Agrietamientos generalizados, acero de refuerzo expuesto y con efectos de corrosión evidentes	4	

Pérdida del material, sin rotura en el acero de refuerzo	3	
Pérdida del material, rotura en el acero de refuerzo	2	
Deterioro generalizado, pérdida del material, rotura en el acero de refuerzo.	1	

5.1.3.4. Deterioro en acero de refuerzo (vigas longitudinales /transversales)

Deterioro en acero de refuerzo		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Fisuras menores a 1 mm sin exposición del refuerzo.	9	
Fisuras menores a 1 mm sin exposición del refuerzo. Fisuras marcando la ubicación del refuerzo	8	
Acero de refuerzo expuesto con señales de corrosión sin descascaramiento o agrietamiento del concreto	7	

Acero de refuerzo expuesto con señales de corrosión debido al descascaramiento o agrietamiento del concreto	6	
Material expuesto debido a daños en el concreto. Sin pérdida de sección del acero	5	
Material expuesto debido a daños en el concreto. Pérdida de sección del acero	4	
Corrosión o rotura del refuerzo. Sin delaminación en la barras de refuerzo	3	
Corrosión o rotura del refuerzo. Delaminación evidente en la barras de refuerzo	2	
Deterioro generalizado , corrosión o rotura del refuerzo, con delaminación evidente en la barras de refuerzo	1	

5.1.3.5. Impactos en vigas

Impactos en vigas		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Golpes generados por vehículos u otro elementos, no se aprecian a simple vista ver por cambios de colores o falta de material superficial	9	
Golpes generados por vehículos o elementos, se pueden ver por cambios de colores o falta de material superficial	8	
Cuando los golpes ocasionan sin pérdidas de material superiores a 1cm de profundidad (no superficiales). Se puede observar el refuerzo oxidado. Se presentan agrietamientos localizados en el elemento impactado	7	
Cuando los golpes ocasionan pérdidas de material superiores a 1cm de profundidad (no superficiales). Se puede observar el refuerzo oxidado. Se presentan agrietamientos localizados en el elemento impactado	6	

Vigas o pilas dobladas, golpes que causan pérdida de material.	5	
Vigas o pilas dobladas, golpes que causan pérdida de material. Presencia de corrosión	4	
Agrietamiento localizados del elemento implicado, pérdida de concreto, ruptura de elementos de acero	3	
Agrietamiento general del elemento implicado, pérdida de concreto, ruptura de elementos de acero	2	

falla del elemento implicado, pérdida de concreto, ruptura de elementos de acero	1	
--	---	--

5.1.4. Evaluación de daños en la Infraestructura

El inventario contempla la revisión de los elementos de la infraestructura, definiendo la identificación de los estribos, el tipo de estribos, material de los estribos, identificación de las pilas, tipo de pilas, material de las pilas, tipo de cimentación estribos/pilas, tipo de aletas, tipo de apoyo estribos/pilas; para luego clasificar el daño en los estribos/pilas/columnas/aletas de concreto de la infraestructura calificando su estado, se revisan los siguientes acápite:

- ✓ Grietas en Estribos/pilas y columnas/aletas
- ✓ Falla en apoyos
- ✓ Deterioro en los elementos de concreto
- ✓ Deterioro en acero de refuerzo
- ✓ Erosión producida por agua en estribos/pilas y columnas/aletas
- ✓ Impacto en pilas

5.1.4.1. Grietas en Estribos/pilas y columnas/aletas

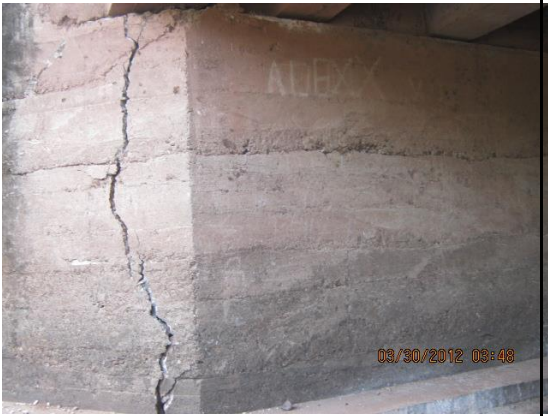
Grietas en estribos/pilas y columnas		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Fisuras verticales u horizontales entre 0.20 mm y 1 mm y de longitud menor a 10 cm.	9	

		
Fisuras verticales u horizontales menores a 1 mm y de longitud menor a 20 cm.	8	
Grietas entre 1 mm y 5 mm de espesor y longitud mayor a 20 cm	7	
Grietas entre 5 mm y 10 mm de espesor y longitud mayor a 20 cm	6	
Grietas con espesores mayores a 10 mm y largos mayores a 1 m. Zonas generalizadas de agrietamientos	5	
Grietas con espesores mayores a 10 mm y a lo largos de la pila. Zonas generalizadas de agrietamientos	4	

Fisuras gruesas e inclinadas que cruzan la sección transversal de la Pila o columna, sin pérdida parcial de material	3	
Fisuras gruesas e inclinadas que cruzan la sección transversal de la Pila o columna, pérdida parcial de material	2	
Fisuras gruesas e inclinadas que cruzan la sección transversal de la Pila o columna, pérdida parcial de material y de verticalidad del elemento	1	

5.1.4.2. Fallas en apoyos

Falla en apoyos		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Hundimientos generados por asentamiento del apoyo inferiores a 1 cm. Fisuras inferiores a 1 mm en los elementos de apoyo	9	
Hundimientos generados por asentamiento del apoyo inferiores a 2 cm. Fisuras inferiores a 1 mm en los elementos de apoyo	8	

Descripción	Calificación	Esquema
Hundimientos que generan diferencias de nivel en la losa superior a 2 cm. Descascaramientos en los elementos de apoyo. Sin Pérdida de material	7	
Hundimientos que generan diferencias de nivel en la losa superior a 2 cm. Descascaramientos en los elementos de apoyo. Con Pérdida de material	6	
Apoyo semidestruidos o en mal estado. Diferencias de nivel de más de 5 cm. o losas no desencajadas	5	
Apoyo totalmente destruido o en mal estado. Diferencias de nivel de más de 5 cm o losas desencajadas	4	
Agrietamientos generalizados o fallas parciales de los apoyos	3	
Agrietamientos generalizados o fallas parciales o totales de los apoyos	2	
Agrietamientos generalizados o totales de los apoyos	1	

5.1.4.3. Deterioro en elementos de concreto (Estribos/pilas y/o columnas/aletas)

Deterioro en elementos de concreto (Estribos/pilas y/o columnas/aletas)		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Cambios de color generados por acción del medio ambiente o fisuras menores a 1 mm	9	
Cambios de color generados por acción del medio ambiente o fisuras menores a 3 mm	8	
Descascaramientos locales y acero de refuerzo expuesto. Grietas entre 3 y 5 mm	7	
Pérdida del material, concreto degradado, grietas mayores a 5 mm. Agrietamientos generalizados, sin acero de refuerzo expuesto y sin efectos de corrosión evidentes	6	
Pérdida del material, concreto degradado, grietas mayores a 5 mm. Agrietamientos generalizados, acero de refuerzo expuesto y sin efectos de corrosión evidentes	5	

Pérdida del material, concreto degradado, grietas mayores a 5 mm. Agrietamientos generalizados, acero de refuerzo expuesto y con efectos de corrosión evidentes	4	 A photograph showing a concrete bridge pier with extensive vertical and diagonal cracking. The concrete surface is weathered and discolored. A tree trunk is visible on the left side of the pier. A timestamp "01/25/2011 23:58" is visible in the bottom right corner of the image.
Pérdida del material, sin rotura en el acero de refuerzo	3	
Pérdida del material, rotura en el acero de refuerzo	2	 A photograph of a large, irregular pothole in an asphalt road. The edges of the pothole are crumbling, and the interior shows exposed aggregate. A person wearing blue jeans and dark shoes is walking on the road to the left of the pothole. A yellow caution tape is stretched across the road. A timestamp "12/05/2010 23:12" is visible in the bottom right corner of the image.
Deterioro generalizado, pérdida del material, rotura en el acero de refuerzo.	1	 A photograph of a bridge over a river. The bridge has a concrete deck and metal railings. The water level is high, and there is visible flooding around the bridge piers. The surrounding area is lush with green trees. A timestamp "11/17/2010 19:29" is visible in the bottom right corner of the image.

5.1.4.4. Deterioro en acero de refuerzo (Estribos/Pilas y/o columnas/aletas)

Deterioro en acero de refuerzo		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Fisuras menores a 1 mm sin exposición del refuerzo.	9	
Fisuras menores a 1 mm sin exposición del refuerzo. Fisuras marcando la ubicación del refuerzo	8	
Acero de refuerzo expuesto con señales de corrosión sin descascaramiento o agrietamiento del concreto	7	
Acero de refuerzo expuesto con señales de corrosión debido al descascaramiento o agrietamiento del concreto	6	

Material expuesto debido a daños en el concreto. Sin pérdida de sección del acero	5	
Material expuesto debido a daños en el concreto. Pérdida de sección del acero	4	
Corrosión o rotura del refuerzo. Sin delaminación en la barras de refuerzo	3	
Corrosión o rotura del refuerzo. Delaminación evidente en la barras de refuerzo	2	
Deterioro generalizado , corrosión o rotura del refuerzo, con delaminación evidente en la barras de refuerzo	1	

5.1.4.5. Erosión producida por el agua (Estribos/pilas y/columnas/aletas)

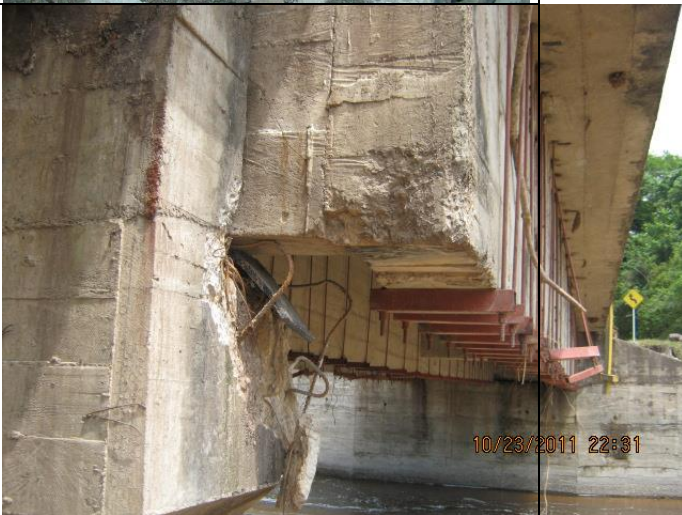
Erosión producida por agua		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Cambios de color en el concreto y sin pérdida superficial del material en capas menores de 1 cm	9	
Cambios de color en el concreto y pérdida superficial del material en capas menores de 1 cm	8	
Pérdidas de capas de material entre 1 y 2 cm. Sin exposición del acero de refuerzo	7	

Pérdidas de capas de material entre 1 y 2 cm. Exposición parcial del acero de refuerzo	6	
Pérdida de capas de material mayores a 2 cm, sin acero de refuerzo expuesto	5	
Pérdida de capas de material mayores a 2 cm, con acero de refuerzo expuesto	4	
Refuerzos doblados, perdida y exposición del refuerzo.	3	
Refuerzos doblados, perdida y exposición del refuerzo, pilas dobladas	2	

Erosión total de la pila, refuerzos doblados, pérdida y exposición del refuerzo.	1	
--	---	--

5.1.4.6. Impactos en pilas y/o columnas/aletas/vigas

Impactos en pilas y/o columnas/aletas		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Golpes generados por carros u otros elementos, no se aprecian a simple vista ver por cambios de colores o falta de material superficial	9	
Golpes generados por carros u otros elementos, se pueden ver por cambios de colores o falta de material superficial	8	
Cuando los golpes ocasionan sin pérdidas de material superiores a 1cm de profundidad (no superficiales). Se puede observar el refuerzo oxidado. Se presentan agrietamientos localizados en el elemento impactado	7	

Cuando los golpes ocasionan pérdidas de material superiores a 1cm de profundidad (no superficiales). Se puede observar el refuerzo oxidado. Se presentan agrietamientos localizados en el elemento impactado	6	
Pilas dobladas, golpes que causan perdida de material.	5	
Vigas o pilas dobladas, golpes que causan perdida de material. Presencia de corrosión	4	
Agrietamiento localizados del elemento implicado, perdida de concreto, ruptura de elementos de acero	3	
Agrietamiento general del elemento implicado, perdida de concreto, ruptura de elementos de acero	2	

falla del elemento implicado, pérdida de concreto, ruptura de elementos de acero	1	
--	---	--

5.1.5. Evaluación de daños en elementos funcionales

El inventario contempla la revisión de los elementos funcionales clasificándolos por andenes (derechos/izquierdo/sin andenes), barandas, superficie (calzada/losa/piso), junta de expansión y/o dilatación, apoyo, bordillos, cauce, obstáculos y otros elementos; características de los tipos de barandas, tipo de superficie, tipo de juntas de expansión y/o dilatación calificando su estado, se revisan los siguientes acápite:

- ✓ Deterioro en los elementos de concreto (andenes/barandas/bordillos)
- ✓ Daños en las Juntas
- ✓ Hundimiento en la calzada y accesos al puente
- ✓ Daños en la superficie (calzada/losa/piso)
- ✓ Impacto y daños en barandas en concreto y/o mixta (pintura/postes y pasamanos)

5.1.5.1. Deterioro en elementos de concreto (andenes/barandas/bordillos)

Deterioro en elementos de concreto		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Cambios de color generados por acción del medio ambiente o fisuras menores a 1 mm	9	

Cambios de color generados por acción del medio ambiente o fisuras menores a 3 mm	8	
Descascaramientos locales y acero de refuerzo expuesto. Grietas entre 3 y 5 mm	7	
Pérdida del material, concreto degradado, grietas mayores a 5 mm. Agrietamientos generalizados, sin acero de refuerzo expuesto y sin efectos de corrosión evidentes	6	
Pérdida del material, concreto degradado, grietas mayores a 5 mm. Agrietamientos generalizados, acero de refuerzo expuesto y sin efectos de corrosión evidentes	5	
Pérdida del material, concreto degradado, grietas mayores a 5 mm. Agrietamientos generalizados, acero de refuerzo expuesto y con efectos de corrosión evidentes	4	
Pérdida del material, sin rotura en el acero de refuerzo	3	
		



Pérdida del material, rotura en el acero de refuerzo	2	
Deterioro generalizado, pérdida del material, rotura en el acero de refuerzo.	1	

5.1.5.2. Daños en las Juntas

Daños en las Juntas		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	 
Anclajes sueltos, agrietamiento o ruptura de soldadura, detalles defectuosos, sin presencia de escombros que impiden el movimiento	9	
Anclajes sueltos, agrietamiento o ruptura de soldadura, detalles defectuosos, con presencia de escombros que impiden el movimiento	8	
Presencia de daños importantes en las juntas. Pérdida de material. Tramos del puente con elementos de la junta sueltos. Sin descascaramientos en el concreto. Sin emisión de ruido al paso de vehículos.	7	
Presencia de daños importantes en las juntas. Pérdida de material. Tramos del puente con elementos de la junta sueltos. Descascaramientos en el concreto. Emisión de ruido al paso de vehículos. Saltos e impactos al paso de las juntas	6	

Junta de dilatación sin protección. Elementos de la junta sueltos. Grietas y pérdida de material. Separación superior a 5cm. Emisión de altos niveles de ruido, saltos e impactos al paso de los vehículos	5	
Junta de dilatación sin protección. Elementos de la junta sueltos. Grietas y pérdida de material. Separación superior a 10cm. Emisión de bajos los niveles de ruido.	4	
Junta de dilatación sin protección. Elementos de la junta sueltos. Grietas y pérdida de material. Separación superior a 10cm. Emisión de altos niveles de ruido, saltos e impactos al paso de los vehículos	3	
Junta parcialmente destruida	2	
Junta totalmente destruida	1	

		
--	--	--

5.1.5.3. Hundimiento en la calzada y accesos al puente

Hundimientos en la calzada y accesos al puente		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Fisuras o pequeños desniveles en la losa Imperceptible al transitar en vehículo.	9	
Asentamientos del terraplén superiores a 3 cm. Imperceptible al transitar en un vehículo sin disminución importante en la velocidad	8	
Asentamientos del terraplén entre 3 a 5 cm. Perceptible al transitar en un vehículo sin disminución importante en la velocidad	7	
Asentamientos del terraplén entre 5 a 10 cm. Perceptible al transitar en un vehículo sin disminución importante en la velocidad	6	

Al transitar en vehículo se debe bajar la velocidad para superar el hundimiento. Asentamientos del terraplén entre 10 a 15 cm.	5	  
Al transitar en vehículo se debe bajar la velocidad para superar el hundimiento. Asentamientos del terraplén superiores a 10 cm.	4	
Al transitar se debe detener el vehículo para poder superar el hundimiento sin apreciarse golpeteo del vehículo	3	
Al transitar se debe detener el vehículo para poder superar el hundimiento con apreciación de golpeteo del vehículo	2	
Al transitar se debe detener el vehículo para poder superar el hundimiento con apreciación de golpeteo del vehículo y dificultad la maniobrabilidad del vehículo	1	

		
--	--	--

5.1.5.4. Daños en la superficie (calzada/losa/piso)

Daños en la superficie(calzada/losa/piso)		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Pequeños Fisuras inferiores a 1 mm en toda el area de la superficie	9	

Fisuras superiores a 1 mm en toda el área de la superficie	8	
Descascaramientos en los elementos de la superficie. Sin Pérdida de material	7	
Hundimientos que generan diferencias de nivel en la losa superior a 2 cm y Descascaramientos con Pérdida de material	6	

Descascaramientos con pérdida de material con acero expuesto	5	
Superficie irregular o en mal estado. Diferencias de nivel de más de 2 cm o losas desenchajadas	4	
Agrietamientos generalizados o fallas parciales de la calzada	3	
Agrietamientos generalizados o fallas parciales o totales de la superficie	2	

Falla en la Superficie	1	
------------------------	---	--

5.1.5.5. Impacto y daños en barandas de Concreto (pintura/postes y pasamanos)

Impactos y daños en barandas (pintura/postes/pasamanos)		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Barandas desgastadas.	9	
Barandas desgastadas, con presencia de pequeñas fisuras, o cambios de color	8	
Barandas con fisuras hasta 2 cm, sin pérdida de material o elementos de la baranda	7	
Barandas con fisuras superiores a 2 cm, y/o pérdida de material o elementos de la baranda	6	

Barandas con deformaciones en sus elementos y fisuras superiores a 2 cm, y/o pérdida de material o elementos de la baranda	5	
Barandas con deformaciones y desprendimientos en sus elementos y pérdida de material o elementos de la baranda	4	
Barandas parcialmente colapsada	3	
Barandas colapsadas totalmente	2	

Sin Barandas	1	
--------------	---	--

5.2. DAÑOS ESTRUCTURALES EN ELEMENTOS METALICOS

En la inspección de los puentes se deberá identificar inicialmente el tipo de puente, puede existir el caso que sean puentes combinados de losa en concreto y vigas metálicas, por lo que se utilizara este procedimiento en daños para vigas en acero, el tipo de conexión específica definiendo la evaluación por fatiga, se debe realizar en puntos específicos del mismo, lo que hace que cada punto se evalúe independientemente definiéndose su vulnerabilidad. El fenómeno de fatiga se dificulta en algunos casos evidenciar el daño, por lo que es necesario realizar la evaluación de tipo avanzado como ultrasonido, tinta penetrante, graficas térmicas, rayos x, etc. que definan las zonas críticas del puente, obedeciendo a una evaluación especial del puente. De acuerdo con la clasificación de Saaty para aquellos elementos que no presentan daño obtienen la calificación de 10, daños leves desde 9 hasta 6 y daños fuertes que necesitan su reconstrucción o llevar al colapso del elemento y por ende al puente desde 5 hasta 1 o 0.

De acuerdo con lo establecido con el manual para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad de puentes en la red vial principal de Colombia de la Universidad de los Andes, los sitios donde se presentan grietas por fatiga son los bordes y raíces de soldadura, esquinas acabadas a máquina y agujeros taladros, superficies bajo alta presión de contacto, raíces de roscas de conectores. **(18)**

Para un puente en arco los puntos vulnerables son las diagonales, las conexiones, unión pernadas, uniones soldadas, conexión con pernos, diagonales del tablero, apoyos, perfiles a tensión.

Para un puente en armadura los puntos vulnerables son las diagonales, conexiones con pernos, conexiones soldadas, elementos a tensión, conexión con vigas transversal, diagonales a tensión.

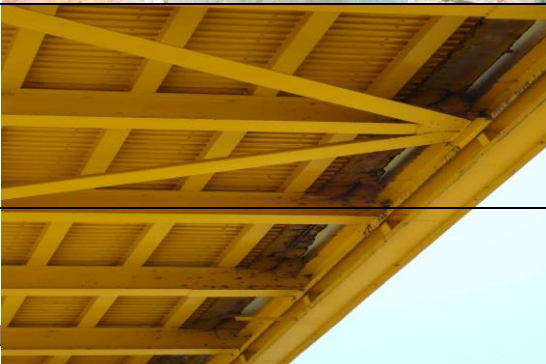
Para un puente de vigas en acero los puntos vulnerables son la soldadura rigidizadores, zona del apoyo, patín interior, uniones soldadas, diagonales de arriostramiento.

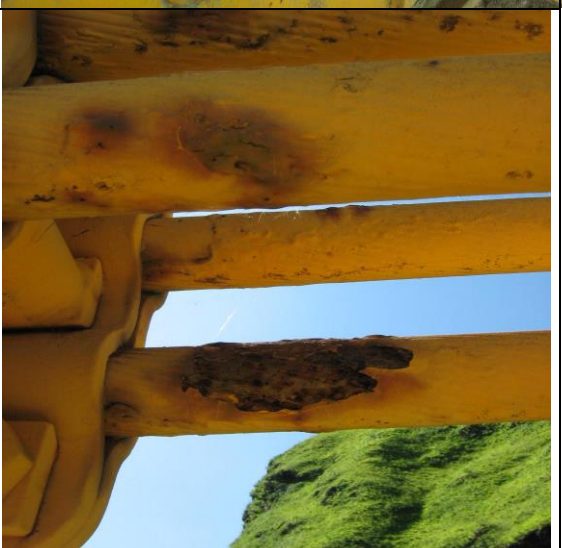
Para un puente atirantado los puntos críticos por fatiga son las conexiones con viga transversal, diagonales, torres principales, unión cables, uniones pernadas, empotramientos de cables, uniones soldadas y diagonales tablero. (18)

En el proceso de evaluación y verificación de daños en puentes en acero se revisan las vigas transversales, vigas longitudinales, larguero, diafragmas, elementos del arco, cables pendolones, torres, macizos, elementos de la armadura; de los cuales se definen los siguientes daños:

- ✓ Oxidación, corrosión y herrumbre
- ✓ Deformación y pandeo
- ✓ Desprendimientos de remaches y pernos
- ✓ Fracturas por soldaduras insuficientes
- ✓ Daños por colisión y concentración de esfuerzos
- ✓ Daños por fatigas
- ✓ Problemas de fatiga en conexiones soldadas
- ✓ Problemas de fatiga en conexiones pernadas
- ✓ Problemas de fatiga en diagonales
- ✓ Problemas de fatiga en apoyos
- ✓ Problemas de fatiga en las uniones de los cables
- ✓ Problemas de fatiga en los empotramientos de los cables
- ✓ Impacto y daños en barandas metálica (pintura/postes y pasamanos)

5.2.1. Oxidación, corrosión y herrumbre

Oxidación, corrosión y herrumbre	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
La superficie del metal se oxida en una forma casi uniforme sin presentar herrumbre.	9	

La superficie del metal se oxida en una forma uniforme sin presentar herrumbre. Esta corrosión es de tipo "superficial". Es la forma de corrosión más benigna o menos peligrosa pues el material se va gastando gradualmente extendiéndose en forma homogénea sobre toda la superficie metálica y su penetración media es igual en todos los puntos.	8	
Presencia de herrumbre y zonas con cambio de color concentrado con carácter de ataque general, constituyendo un caso intermedio entre corrosión uniforme y corrosión localizada. Este caso se conoce como corrosión "en placas"	7	
Presencia de herrumbre intermedio y zonas con cambio de color concentrado con carácter de ataque general, constituyendo un caso intermedio entre corrosión uniforme y corrosión localizada. Este caso se conoce como corrosión "en placas"	6	
Se presenta corrosión generalizada y resulta muy frecuente la aparición de corrosión por picadura. Durante el picado, el ataque se localiza en puntos aislados de superficies metálicas pasivas y se propaga hacia el interior del metal formando en ocasiones túneles microscópicos en menos de la mitad del elemento.	5	

Se presenta corrosión generalizada y resulta muy frecuente la aparición de corrosión por picadura. Durante el picado, el ataque se localiza en puntos aislados de superficies metálicas pasivas y se propaga hacia el interior del metal formando en ocasiones túneles microscópicos en más de la mitad del elemento.	4	 A close-up photograph of a metal structure, possibly a bridge or industrial component, showing extensive corrosion. The surface is covered in numerous small, dark, irregular pits and larger areas of rust. A date stamp '11/06/2010 23:13' is visible in the bottom right corner.
Se observan agujeros de material, al igual que desprendimiento de partes de la sección en menos de la mitad del elemento.	3	 A close-up photograph of a yellow-painted metal structure, likely a bridge or industrial component. The surface shows significant corrosion, with large areas of rust and material loss. A large, threaded bolt is visible, and the surrounding metal is heavily corroded.
Se observan agujeros de material, al igual que desprendimiento de partes de la sección en más de la mitad del elemento.	2	 A photograph showing a bridge structure over water. The bridge has a yellow-painted metal truss structure and a concrete deck. The structure shows significant corrosion and material loss, particularly in the lower sections. People are visible walking on the bridge deck.
Elemento colapsado por oxidación, corrosión y herrumbre total	1	 A close-up photograph of a yellow-painted metal structure, likely a bridge or industrial component. The surface shows severe corrosion, with large areas of rust and material loss. The structure appears to be in a state of collapse or severe degradation.

5.2.2. Deformaciones y pandeo

Deformaciones y pandeos	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Dobleces en algunos elementos que no son reconocibles a simple vista. Se requiere medir con regla para poder identificar las deformaciones.	9	
Dobleces en todo el elemento que no son reconocibles a simple vista. Se requiere medir con regla para poder identificar las deformaciones.	8	
Deformaciones que se pueden observar con facilidad en algunas partes del elemento, pero no tienen magnitudes que perjudican la estabilidad de la estructura (no cambian de forma original).	7	
Deformaciones que se pueden observar con facilidad en todo el elemento, pero no tienen magnitudes que perjudican la estabilidad de la estructura (no cambian de forma original).	6	
Deformaciones intermedias que perjudican la estabilidad de la estructura (cambian de forma original). Generalmente asociados a zonas de pandeos características para vigas y columnas.	5	

Deformaciones en varias partes del elemento que perjudican la estabilidad de la estructura (cambian de forma original).	4	
Deformaciones en todo el elemento que perjudican la estabilidad de la estructura (cambian de forma original).	3	
Falla parcial del miembro.	2	
Falla total del miembro.	1	

5.2.3. Desprendimiento de remaches y pernos

Desprendimiento de remaches y pernos	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Remaches o pernos con posibilidades mínimas de movimiento, pero en buen estado, todavía generan resistencia y unión entre las secciones metálicas	9	

Remaches o pernos con pocos movimientos, pero en buen estado, todavía generan resistencia y unión entre las secciones metálicas	8	
Algunos remaches están más sueltos. Aunque generan resistencia son propensos a caer, pueden presentar fisuras	7	
Más de la mitad de los remaches están más sueltos. Aunque generan resistencia son propensos a caer, pueden presentar fisuras	6	
Algunos pernos sueltos o perdidos. Desgaste importante de pernos. Contactos con platinas con aplastamiento	5	
Varios pernos sueltos o perdidos. Desgaste importante de pernos. Contactos con platinas con aplastamiento	4	

Algunos remaches están completamente averiados y en algunos casos han desaparecido. Los elementos restantes no tienen la capacidad para resistir las máximas demandas	3	
Más de la mitad de los remaches están completamente averiados y en algunos casos han desaparecido. Los elementos restantes no tienen la capacidad para resistir las máximas demandas	2	
Falla total en remaches y/o perno pernos	1	

5.2.4. Fracturas por soldadura insuficiente

Fracturas por soldadura insuficiente	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
No existe fractura pero se ve soldadura insuficiente para seguir uniendo las secciones	9	
No existe fractura pero se ve soldadura insuficiente para seguir uniendo las secciones	8	

Se ven fracturas de longitud inferior a 1/10 de la longitud del condón, las secciones no están separadas	7	
Se ven fracturas de longitud inferior a 1/10 de la longitud del condón, las secciones no están separadas	6	
Se ven fracturas de longitud superiores a 1/10 de la longitud del condón, existe paso de luz a través de la soldadura	5	
Se ven fracturas de longitud superiores a 1/10 de la longitud del condón, existe paso de luz a través de la soldadura	4	
La soldadura está completamente fracturada y las secciones están separadas	3	
La soldadura está completamente fracturada y las secciones están separadas	2	

Falla fractura de la soldadura	1	
--------------------------------	---	--

5.2.5. Daños por colisión o concentración de esfuerzos

Daños por colisiones o concentración de esfuerzos	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Cambios de color por el impacto, sin desprendimiento de pintura o del recubrimiento.	9	
Cambios de color por el impacto, desprendimiento de pintura o del recubrimiento.	8	
Cambios de color por el impacto, desprendimiento de pintura o del recubrimiento, no se perciben las deformaciones, pero no tienen magnitudes que perjudican la estabilidad de la estructura	7	
Cambios de color por el impacto, desprendimiento de pintura o del recubrimiento, se perciben las deformaciones, pero no tienen magnitudes que perjudican la estabilidad de la estructura	6	

Cambios de color por el impacto, desprendimiento de pintura o del recubrimiento, se perciben las deformaciones con desviación del alineamiento inferior a 1 cm en 2 mt.	5	
Cambios de color por el impacto, desprendimiento de pintura o del recubrimiento, se perciben las deformaciones con desviación del alineamiento superior a 1 cm en 2 mt	4	
Impactos que generan deformaciones pequeñas que no perjudican la estabilidad de la estructura (cambian de forma original)	3	
Impactos que generan deformaciones que perjudican la estabilidad de la estructura (cambian de forma original)	2	

Fallo por impacto que perjudican la estabilidad (cambian de forma original)	1	
---	---	--

5.2.6. Daños por fatiga

Daños por fatiga	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Fisuras o rompimiento en parte de la soldadura y sin cambio de color o presencia de corrosión	9	
Fisuras o rompimiento en parte de la soldadura y cambio de color o presencia de corrosión	8	

Levantamiento de pintura en forma de ramificaciones y cambio de color en la zona afectada, sin contactos con platinas con indicios de aplastamiento	7	
Levantamiento de pintura en forma de ramificaciones y cambio de color en la zona afectada, contactos con platinas con indicios de aplastamiento	6	
Levantamiento de pintura y cambio de color en varios puntos del elemento, desprendimiento parcial de elementos, doblamientos o deformaciones visibles, desprendimiento parcial de la soldadura en varios elementos del miembro	5	
Levantamiento de pintura y cambio de color en varios puntos del elemento, desprendimiento parcial de elementos, doblamientos o deformaciones visibles, desprendimiento total de la soldadura en varios elementos del miembro	4	

Desprendimiento total de la soldadura, pérdida parcial de pernos, doblamientos o deformaciones visible, fisuras en varios elementos del miembro	3	
Desprendimiento total de la soldadura, pérdida total de pernos, doblamientos o deformaciones visible, fisuras en varios elementos del miembro	2	
Falla por daños por fatiga	1	

5.2.7. Problemas de fatiga en conexiones soldadas

Problemas de fatiga en conexiones soldadas	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Fisuras o rompimiento en parte de la soldadura	9	
Fisuras o rompimiento en parte de la soldadura y cambio de color o presencia de corrosión	8	

Desprendimiento localizado de la soldadura en varios elementos del miembro y corrosión parcial	7	
Desprendimiento parcial de la soldadura en varios elementos del miembro y corrosión parcial	6	
Desprendimiento total de la soldadura en varios elementos del miembro y corrosión parcial	5	
Desprendimiento total de la soldadura en varios elementos del miembro y corrosión en más de la mitad del miembro.	4	
Desaparición de la soldadura en parte del elemento y corrosión generalizada.	3	
Desaparición total de la soldadura en parte del elemento y corrosión generalizada.	2	

Falla del elemento por problemas de fatiga en conexiones soldadas.	1	
--	---	--

5.2.8. Problemas de fatiga en conexiones pernadas

Problemas de fatiga en conexiones pernadas	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Pernos sueltos o desgastados.	9	
Pernos sueltos o desgastados. Contactos con platinas con indicios de aplastamiento.	8	
Pernos sueltos o desgastados. Contactos con platinas con indicios de aplastamiento, corrosión o levantamiento de pintura	7	

Total, de Pernos sueltos o desgastados. Contactos con platinas con indicios de aplastamiento, corrosión o levantamiento de pintura	6	
Varios pernos perdidos. Desgaste importante de pernos. Contactos con platinas con aplastamiento, corrosión o levantamiento de pintura evidente	5	
Más de la mitad de pernos perdidos. Desgaste importante de pernos. Contactos con platinas con aplastamiento, corrosión o levantamiento de pintura evidente	4	
Más de la mitad de pernos perdidos y sueltos. Desgaste importante de pernos. Contactos con platinas con aplastamiento, corrosión o levantamiento de pintura evidente	3	
La gran mayoría de pernos sueltos o perdidos, corrosión generalizada.	2	
Falla del elemento por problemas de fatiga en conexiones pernaadas.	1	

5.2.9. Problemas de fatiga en diagonales

Problemas de fatiga en diagonales	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Levantamiento leve de pintura en forma de ramificaciones y cambio de color en la zona afectada.	9	
Levantamiento de pintura en más de la mitad del elemento forma de ramificaciones y cambio de color en la zona afectada.	8	
Doblamiento del elemento.	7	
Doblamiento en varias secciones del elemento.	6	
Levantamiento de pintura y cambio de color en varios puntos del elemento, desprendimiento parcial de elementos.	5	
Levantamiento de pintura y cambio de color en varios puntos del elemento, desprendimiento parcial de elementos, doblamientos o deformaciones visibles.	4	

Levantamiento de pintura y cambio de color en todo el elemento, desprendimiento parcial de elementos, doblamientos o deformaciones visibles.	3	
Levantamiento de pintura y cambio de color en todo el elemento, desprendimiento total de elementos, doblamientos o deformaciones visibles.	2	
Falla del elemento por problemas de fatiga en diagonales.	1	

5.2.10. Problemas de fatiga en apoyos

Problemas de fatiga en apoyos	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Fisuras o rompimiento en parte de la soldadura , pernos sueltos en el apoyo	9	
Fisuras o rompimiento en parte de la soldadura y cambio de color o presencia de corrosión del apoyo	8	

Desprendimiento localizado de la soldadura en varios elementos del miembro y corrosión parcial	7	
Desprendimiento parcial de la soldadura en varios elementos del miembro o corrosión parcial	6	
Desprendimiento total de la soldadura o pérdida de pernos o remaches, doblamiento de láminas, corrosión parcial	5	
Desprendimiento total de la soldadura o pérdida de pernos, doblamiento de láminas, corrosión generalizada.	4	
Desgaste en el apoyo, corrosión generalizada	3	

Falla del miembro por problemas de fatiga en el apoyo	2	
Falla del miembro por problemas de fatiga en el apoyo	1	

5.2.11. Problemas de fatiga en las uniones de los cables

Problemas de fatiga en las uniones de los cables	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Presencia de corrosión en la unión o soldaduras con fisuras y rompimiento parcial.	9	
Presencia de corrosión en la unión o soldaduras con fisuras y rompimiento parcial, indicios de alabeos, desalineamientos del elemento.	8	

Presencia de corrosión en la unión o soldaduras con fisuras y rompimiento parcial, indicios de alabeos, desalineamientos o corrosión en algunas de las uniones	7	
Presencia de corrosión en la unión o soldaduras con fisuras y rompimiento parcial, indicios de alabeos, desalineamientos o corrosión en las uniones	6	
Corrosión generalizada o soldaduras rotas, hilos de cable sueltos, desalineamientos visibles, alabeo de laminas o pasadores, holgura excesiva en pasadores o pasadores con problemas de corrosión o similares	5	
Corrosión generalizada o soldaduras rotas, hilos de cable sueltos, desalineamientos visibles, alabeo de láminas o pasadores, holgura excesiva en pasadores o pasadores con problemas de corrosión o similares	4	
Corrosión generalizada o soldaduras rotas, hilos de cable sueltos, desalineamientos visibles, alabeo de láminas o pasadores.	3	
Corrosión generalizada o soldaduras rotas, hilos de cable sueltos, desalineamientos visibles, alabeo de láminas o pasadores en la totalidad del elemento.	2	
Falla del elemento	1	

5.2.12. Problemas de fatiga en los empotramientos de los cables

Problemas de fatiga en los empotramiento de los cables	Calificación	Esquema
--	--------------	---------

No hay evidencia.	10	
Pequeñas indicaciones de corrosión en el anclaje.	9	
Corrosión generalizada en el anclaje.	8	
Corrosión generalizada en el anclaje, desprendimiento de hilos del cable.	7	
Corrosión generalizada en el anclaje, desprendimiento de hilos del cable, fisuras visibles en zona de anclaje.	6	
Presencia de corrosión en la zona de aproximación de los cables.	5	
Presencia de corrosión en la zona de aproximación de los cables. Rompimiento de hilos de los cables.	4	
Presencia de corrosión en la zona de aproximación de los cables.	3	
Corrosión generalizada en el anclaje, desprendimiento de más de la mitad de hilos del cable en el anclaje, fisuras visibles en zona de anclaje.	2	
Falla del elemento	1	

5.2.13. Impacto y daños en barandas metálica (pintura/postes y pasamanos)

Impactos y daños en barandas (pintura/postes/pasamanos)		
Descripción	Calificación	Esquema
No hay evidencia.	10	
Barandas desgastadas.	9	
Barandas desgastadas, con presencia de pequeñas fisuras, o cambios de color	8	
Barandas con fisuras hasta 2 cm, sin pérdida de material o elementos de la baranda	7	
Barandas con fisuras superiores a 2 cm, y/o pérdida de material o elementos de la baranda	6	

Barandas con deformaciones en sus elementos y fisuras superiores a 2 cm, y/o pérdida de material o elementos de la baranda	5	
Barandas con deformaciones y desprendimientos en sus elementos y pérdida de material o elementos de la baranda	4	
Barandas parcialmente colapsada	3	
Barandas colapsadas totalmente	2	
Sin Barandas	1	

5.3. Evaluación hidráulica

Debido al cambio climático la gran mayoría de los puentes colapsan por fallas atribuibles a problemas hidráulicos, en especial al problema de socavación. Se define como Socavación a la excavación profunda o erosión presentada por la caída de la cota del lecho del río y/o márgenes u orillas del río, se produce por la remoción de sedimentos cuando aumenta la capacidad de arrastre de la corriente al aumentar la velocidad, ósea si la tasa de sedimentos que se remueven es mayor que la de sedimentos aportados se presenta socavación.” Las componentes de la erosión específica en el caso de un puente son dos:

- La erosión en la sección del puente y sus inmediaciones, debida al estrechamiento causado por el puente con respecto a la anchura ocupada por la avenida antes de existir éste (puede llamarse erosión localizada o por estrechamiento)
- La erosión local en pilas, estribos y otros elementos mojados o redondeados por la corriente.

La erosión localizada y local se calcula mediante expresiones de la erosión máxima que se desarrollaría si la acción hidráulica (el caudal de avenida) durara indefinidamente. Ya que esto es irreal, las estimaciones se consideran del lado de la seguridad. Por otro lado, estas erosiones localizadas y locales en el principio se suman a la erosión general del río para obtener la erosión potencial total, la cual mantiene el periodo de retorno del caudal de cálculo.”(19).

De lo anterior se definen los tipos de socavación que se conocen como Socavación general, local y especial.

Socavación General: Fenómeno de largo plazo que sucede cuando el aumento del caudal en el cauce del río (creciente del mismo) que hace que aumente la velocidad de flujo aumentando la capacidad de transporte de sedimentos produciendo la erosión del material de todo el ancho del cauce.

Socavación local: Sucede cuando en un obstáculo que puede ser estribo, pilas o pilotes se produce turbulencia y aceleración de la corriente que es ocasionado por el cambio de la trayectoria por del flujo del agua disminuyendo bruscamente nivel del lecho alrededor de dicho elemento. En ocasiones la socavación local produce perdida del área de soporte o confinamiento del elemento lo puede generar asentamientos de la estructura y hasta el colapso de la misma.

Socavación especial: Llamase a esta la producida en el elemento pila, pilotes o estribo con la caída directa del flujo de agua produciendo efectos erosivos, generalmente por aguas de escorrentía o desembocaduras cercanas a la estructura aguas arriba.

5.3.1. Procedimiento de identificación para inspección por evaluación hidráulica en puentes.

Al realizar la inspección visual en la que se identifican los problemas de socavación y se califican de acuerdo al estado del elemento como socavación general, local o especial y con el siguiente criterio revisando los estribos, aletas y pilas por el grado de daño de acuerdo con la clasificación de Saaty para aquellos elementos que no presentan daño obtienen la calificación de 10, daños leves desde 9 hasta 6 y daños fuertes que necesitan su reconstrucción o llevar al colapso del elemento y por ende al puente desde 5 hasta 1; de los cuales se definen los siguientes daños hidráulicos:

- ✓ Socavación estribos/aletas
- ✓ Socavación en pilas
- ✓ Socavación cauce

5.3.1.1. Socavación en estribos/aletas

Socavación en pilas/columnas		Diagrama
Características del daño	Calificación	
Sin daño, o no hay afectación	10	
Daño insignificante.	9	
Se presentan inicios de socavación, que con un mantenimiento rutinario se supera.	8	
Se presentan inicios de socavación, debe realizarse un mantenimiento rutinario o una reparación necesaria cuando se presente la ocasión. El componente funciona como fue diseñado.	7	

Se presentan inicios de socavación, el componente no funciona como fue diseñado y deberá ser reparado.	6	
Se observan algún daños significativo que se hace necesario la protección o reparación muy pronto.	5	
Se observan daños leve, que hacen que el componente no funcione como fue diseñado y requiere la protección de lo más pronto posible.	4	
Se observan daños grave, que hacen que el componente no funcione como fue diseñado y requiere la protección de urgencia.	3	

Se observa daño extremo en pilas o estribos poco funcionales y su reparación es inminente con pérdida de otros componentes adicionales.	2	
Se observa inclinación o pérdida de pilas o estribos o aletas.	1	

5.3.1.2. Socavación en pilas/columnas

Socavación ESTRIBOS/ALETAS		
Características del daño	Calificación	Diagrama
Sin daño, o no hay afectación	10	
Daño insignificante.	9	
Se presentan inicios de socavación, que con un mantenimiento rutinario se supera.	8	

Se presentan inicios de socavación, debe realizarse un mantenimiento rutinario o una reparación necesaria cuando se presente la ocasión. El componente funciona como fue diseñado.	7	
Se presentan inicios de socavación, el componente no funciona como fue diseñado y deberá ser reparado.	6	
Se observan algún daños significativo que se hace necesario la protección o reparación muy pronto.	5	
Se observan daños leve, que hacen que el componente no funcione como fue diseñado y requiere la protección de lo más pronto posible.	4	

Se observan daños grave, que hacen que el componente no funcione como fue diseñado y requiere la protección de urgencia.	3	
Se observa daño extremo en pilas o estribos poco funcionales y su reparación es inminente con pérdida de otros componentes adicionales.	2	
Se observa inclinación o pérdida de pilas o estribos o aletas.	1	

5.3.1.3. Daño hidráulico por socavación del Cauce

Socavación cauce		
Características del daño	Calificación	Diagrama
Sin daño, o no hay afectación	10	
Daño insignificante.	9	
Se presentan inicios de socavación, que con un mantenimiento rutinario se supera.	8	

Se presentan inicios de socavación, debe realizarse un mantenimiento rutinario o una reparación necesaria cuando se presente la ocasión. El componente funciona como fue diseñado.	7	
Se presentan inicios de socavación, el componente no funciona como fue diseñado y deberá ser reparado.	6	
Se observan algún daños significativo que se hace necesario la protección o reparación muy pronto.	5	
Se observan daños leve, que hacen que el componente no funcione como fue diseñado y requiere la protección de lo más pronto posible.	4	

Se observan daños grave, que hacen que el componente no funcione como fue diseñado y requiere la protección de urgencia.	3	
Se observa daño extremo en pilas o estribos o cauce poco funcionales y su reparación es inminente con pérdida de otros componentes adicionales.	2	
Se observa inclinación o pérdida de pilas o estribos o aletas o daño extremo cauce.	1	

5.4. EVALUACION GEOTECNICA

Como la evaluación geotécnica vial requiere de la caracterización de estratos que conforman los taludes y el suelo de soporte de la estructura vial a través de ensayos de suelos y determinación de capacidad portante. La evaluación del estado del puente por geotécnica de manera global y que incluye la caracterización estructural del suelo ya que la capacidad de soporte está ligada a la sismicidad, lluvias y movimiento en masa del área de influencia se definió caracterizarlo así:

- ✓ Sismicidad
- ✓ Lluvias
- ✓ Proceso de remoción en masa

5.4.1. Sismicidad:

La localización geográfica del puente es función de los movimientos sísmicos del terreno definiendo la amenaza alta, intermedia o baja. El título A.2.2.1 de la norma NSR-10 indica que “los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro A_a , y de la velocidad pico

efectiva, representada por el parámetro A_v , para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años.”

Tabla 7 Tipo de amenazas sísmica para Colombia de acuerdo al IDEAM (Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales).

Región	As	Amenaza sísmica
1	0,05	Baja
2	0,10	Baja
3	0,15	Intermedia
4	0,20	Intermedia
5	0,25	Alta
6	0,30	Alta
7	0,35	Alta
8	0,40	Alta
9	0,45	Alta
10	0,50	Alta

Fuente: IDEAM- NSR-10

Mapa de amenazas sísmicas en Colombia (NSR-10 — Capítulo A.2 — Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño pág. A-17)

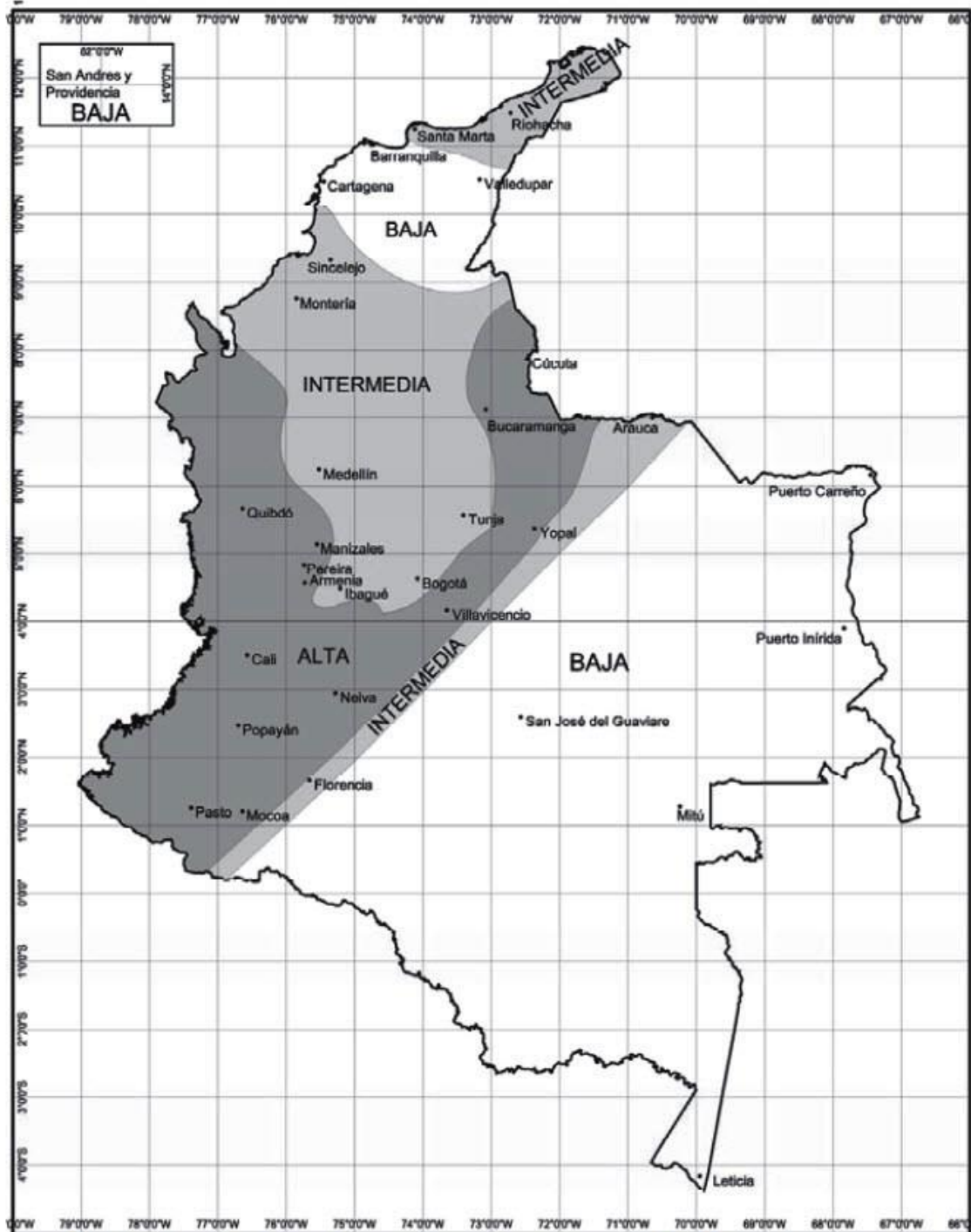


Figura A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de A_a y A_v

Los movimientos sísmicos de diseño se definen como aquellos movimientos causados por un sismo para una probabilidad de ser excedido del 10% en un lapso de cincuenta años lo cual corresponde a un periodo de retornó de 475 años, El coeficiente de aceleración máxima del terreno A_s , correspondiente a un periodo de retornó de 475 años se puede obtener a partir del mapa editado por el IDEAM para sitios ubicados entre las líneas de contorno se puede utilizar la interpolación lineal.

Mapa NSR-10 — Capítulo A.2 — Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño-
pág. A-19

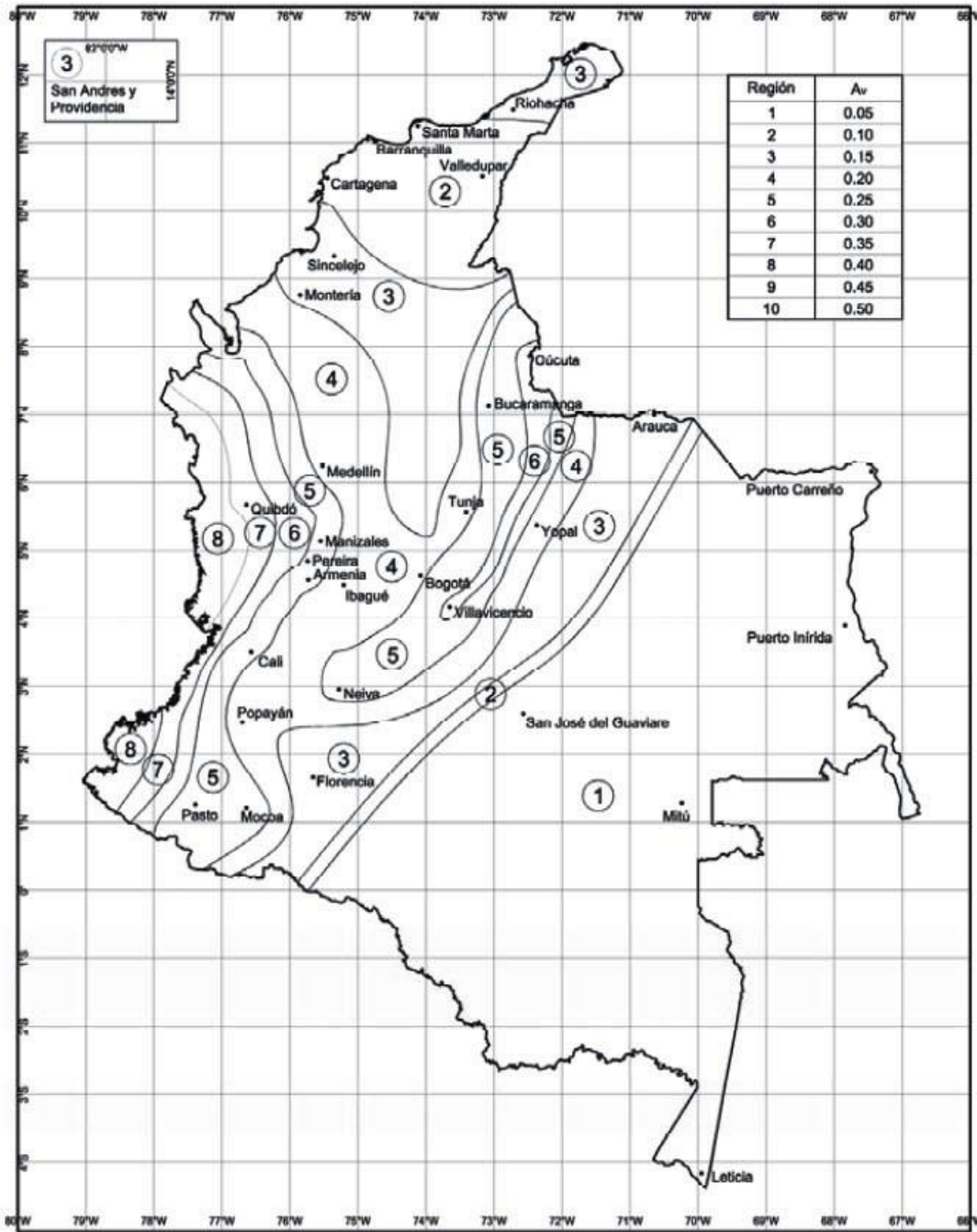
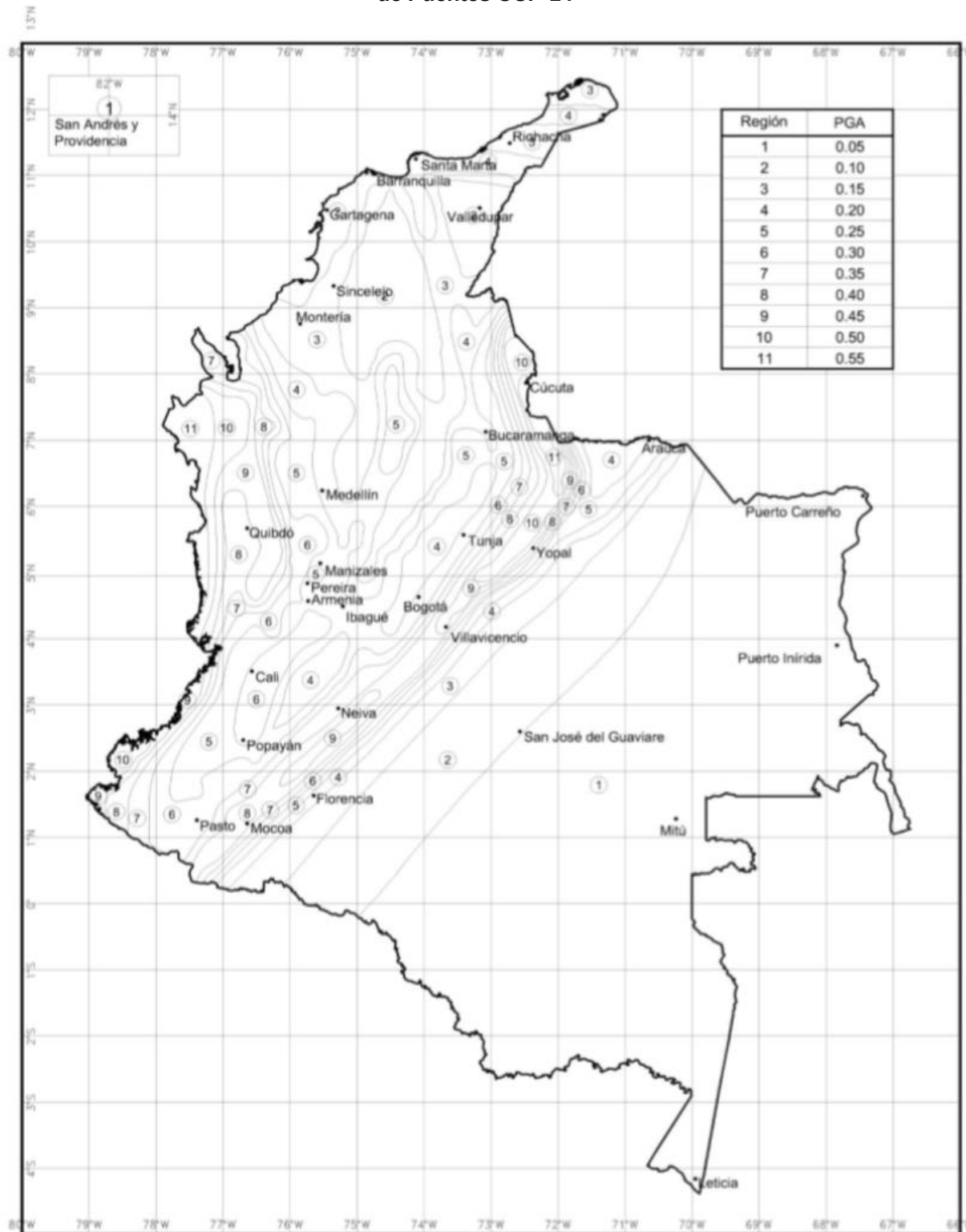


Figura A.2.3-3 - Mapa de valores de A_v

Mapa de valores PGA - Aceleración Pico Horizontal del Terreno de la Norma Colombiana de diseño de Puentes CCP-14



MAPA DE VALORES PGA

La amenaza sísmica del puente utilizando el Código de Construcción de puentes para Colombia - CCP-14, se describe como el espectro de aceleración para el sitio (20), por

lo que se utilizó el Coeficiente de aceleración pico del terreno PGA y usando el mapa de la figura 3.10.2.1-1 del CCP-14, definiendo el sitio de ubicación del puente tomando la calificación así:

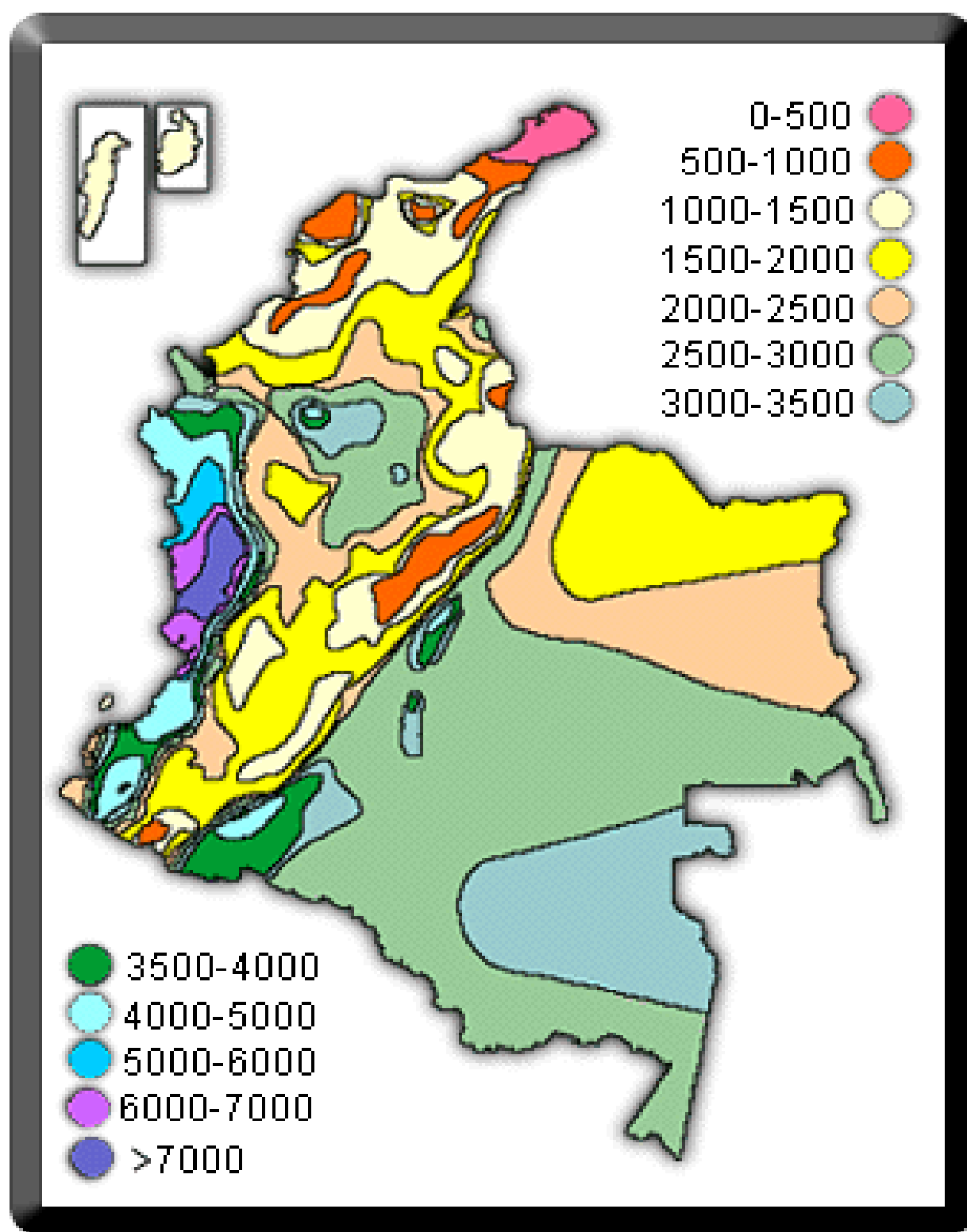
5.4.2. Evaluación geotécnica por sismicidad

Tabla 26 Tabla de evaluación por sismicidad

Región	Características	Calificación
1	Sin daño, requiere solamente obras de mantenimiento de rutina.	10
2	Daños insignificantes que no requieren reparación solamente obras de mantenimiento de rutina en caso del evento sísmico bajo.	9
3	Costos dentro de la normalidad en caso de tener que realizar las obras de rehabilitación de manera no urgente evento sísmico intermedio.	8
4	Sin sobrecostos en caso de tener que realizar las obras de rehabilitación de manera urgente por evento sísmico intermedio.	7
5	Presenta sobrecostos en caso de tener que realizar las obras de rehabilitación de manera urgente por razones de evento sísmico alto.	6
6	Altos sobrecostos al realizar las obras de rehabilitación de manera urgente en caso de evento sísmico.	5
7	Alta la posibilidad de limitación de cargas por razones de sismo en el puente.	4
8	Muy alta posibilidad de limitación de cargas por razones de ocurrencia de amenaza sísmica alta.	3
9	Alta posibilidad de cierre en caso de ocurrencia de amenaza sismo alta en el puente	2
10 y 11	Muy alta posibilidad de cierre en caso de evento sísmico amenaza alta en el puente.	1

5.4.2 Lluvias: Se define como precipitación de partículas de agua la cantidad de agua de diámetro mayos a 0,50 mm, o de gotas menores, pero muy dispersas. Se mide en milímetros de lluvia que equivale a un litro por metro cuadrado. El ciclo anual de lluvias esta determinado por los movimientos de rotación y traslación de la tierra.

Mapa pluviométrico de Colombia IDEAM



En Colombia por su posición en el globo terráqueo no existen estaciones, por lo que está influenciado por la altura y definido por periodos secos y periodos de lluvias.

Presentándose mayor pluviosidad en los meses de Marzo, Abril, Mayo, Septiembre, Octubre y Noviembre; en Junio, Julio, Agosto, Diciembre, Enero y Febrero se presentan los períodos secos o de verano. En el primer caso interviene la caída perpendicular de los rayos solares sobre las grandes masas de agua de la zona ecuatorial, sobre la cual está situado el territorio colombiano y el segundo, porque ya el sol no cae directamente sobre esta zona.

La duración de los períodos secos, húmedos y demasiado húmedos, influyen en la erosión, sedimentación, formación de suelos y presencia de vegetación. (página del IDEAM) (21).

Tabla 27 Clasificación de las regiones de Colombia de acuerdo con el mapa de Pluviometría

Región	Pluviometría(mm/m/a)	
1	-	500
2	500	1,000
3	1,000	1,500
4	1,500	2,000
5	2,000	2,500
6	2,500	3,000
7	3,000	3,500
8	3,500	4,000
9	4,000	5,000
10	>5000	

El indicador se evalúa definiendo el sitio de ubicación del puente así:

5.4.2.1. Evaluación geotecnia por lluvias

Tabla 28 Calificación geotécnica por lluvias

Región	Calificación	Características
1	10	Sin daño, requiere solamente obras de mantenimiento de rutina, pluviometría muy baja.
2	9	Daños insignificantes que no requieren reparación solamente obras de mantenimiento de rutina en caso del evento pluviométrico bajo.
3	8	Requiere realizar las obras de rehabilitación de manera no urgente evento pluviométrico intermedia.
4	7	Requiere realizar las obras de rehabilitación de manera no urgente por evento pluviometría baja.
5	6	Requiere realizar las obras de rehabilitación de manera urgente por razones de pluviometría media baja.
6	5	Requiere de obras de rehabilitación de manera urgente en caso de pluviometría media-media.
7	4	Alta la posibilidad de limitación de cargas en el puente por razones de pluviometría media.
8	3	Muy alta posibilidad de limitación de cargas por razones de ocurrencia de amenaza sísmica medio-alta.
9	2	Alta posibilidad de cierre en el puente en caso de ocurrencia de pluviometría alta.
10	1	Muy alta posibilidad de cierre en el puente en caso de pluviometría muy alta.

Una vez definido la evaluación Estructural, Hidráulica y Geotécnica, el cual define la causa probable de daño de la estructura obteniendo una calificación global de la estructura, resultado que se conoce como índice de riesgo del puente (IRP) se determina el indicador de consecuencia.

5.4.3 Movimiento en masa

Definiendo el movimiento en masa como los procesos de remoción en masa como todos aquellos movimientos en ladera de una masa de roca de detritos o de tierras por efectos de la gravedad, lo que se pretende es definir la amenaza de se pueda presentar al evaluar al puente, teniendo en cuenta la influencia del terreno.

La Evaluación del proceso de remoción en masa y tomando la definición y los criterios de varios actores dentro los que se encuentran las referencias (22)(23), se definió la caracterización y clasificación del proceso de remoción en masa para la evaluación identificando del proceso (activo y no activo), criterios (estado de la actividad, tipo, material, secuencia, tamaño, humedad, velocidad y pendiente del terreno), clasificación

del criterio y calificación del mismo siguiendo el criterio de Saaty la evaluación del puente por este criterio queda así:

Tabla 29 Caracterización y clasificación del proceso de remoción en masa (24)

Humedad	Calif	Material	proceso	Roca	Calif	suelos	Calif	Pendientes	Calif
Seco	10	Roca	Sin proceso	Roca fuerte discontinua	10	Residual	10	Muy bajas 0 a 15°	10
Humedo	5	suelo	Con proceso	Roca compuesta	9	Coluvial	9	Bajas a Medias 15° a 30°	5
Muy mojado	1			Roca debilitada tectónicamente	7	Tierra	2	Medias a altas 30° a 45°	3
mojado	3			Roca débil granular	5	Lodos	1	Altas Mayores 45°	1
				Roca kárstica	3	Roca fuerte discontinua	10		
				Roca Anisotrópica	2	Roca compuesta	9		
				Roca con apariencia de suelo	1	Roca debilitada tectónicamente	7		
						Roca débil granular	5		
						Roca kárstica	5		
						Roca Anisotrópica	1		
						Roca con apariencia de suelo	1		

Glosario para la caracterización de movimiento en masa (Ampliado de Cruden y Varnes 1966). J Suarez

Tipo	Calif	Secuencia	Calif	Estado de Actividad	Calif	Tamaño	Calif	Velocidad	Calif
		Progresivo	1	Activado	1	Extremadamente pequeño	10	Extremadamente Rápido	1
Caido	10	Retrogresivo	2	Reactivado	2	Muy pequeño	9	Muy rápido	2
Inclinación	10	Ampliándose	3	Suspendido	5	Pequeño	7	Rápido Moderado	3
Rotación	10	Alargándose	5	Inactivo	10	Mediano	5	Lento	5
Traslación	10	Confinado	7	Dormido	9	Medianamente Grande	3	Muy lento	7
Extensión lateral	10	Dismunuyendo	10	Abandonado	8	Muy Grande	2	Extremadamente lento	10
Hundimiento	10			Estabilizado	7	Extremadamente Grande	1		
Flujo	10			Relicto	6				
Avalancha	10								
Lahar	10								
Volcamiento o inclinación	10								
Reptación (creep)	10								

Tabla 30 Criterios de evaluación de proceso en masa

EVALUACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA					
Evaluacion de Procesos de remoción en masa	Identificación	CRITERIOS		CLASIFICACION DEL CRITERIO	CALIFICACION
	Con proceso	Estado de Actividad		Relicto	
		Tipo		Volcamiento o inclinación	
		Material	suelo	Roca compuesta	
		Secuencia		Ampliandose	
		Tamaño		Mediano	
		Humedad		Muy mojado	
		Velocidad		Extremadamente Rápido	
		pendiente del terreno		Altas Mayores 45°	
			Sumatoria:		
			Promedio:		

La calificación de este criterio es el promedio matemático de cada uno de la caracterización y clasificación del proceso de remoción en masa analizada, por lo que se deberá evaluar todos los criterios.

5.5. EVALUACION DEL INDICADORES DE CONSECUENCIA DEL PUENTE

El segundo paso consiste en determinar el índice de consecuencia por falla en el puente (ICFP), el cual se determina con el Nivel de Transito, Vulnerabilidad de la Red Vial y el Valor Estratégico del Puente.

5.5.1. Indicador de Consecuencia por Niveles de Transito (T):

Se determina con base en el Transito Promedio Diario Semanal TPDS, del tramo donde se encuentra ubicado el puente, el cual se evalúa de la siguiente forma:

Tabla 31 Calificación de Niveles de Transito

Calificación	Características de Niveles de Transito
10	TPDS Menor a 500 vehículos /día
9	TPDS Entre 500 y 1500 vehículos /día
8	TPDS Entre 1500 y 2000 vehículos /día
7	TPDS Entre 2000 y 2500 vehículos /día
6	TPDS Entre 2500 y 3000 vehículos /día
5	TPDS Entre 3000 y 3500 vehículos /día
4	TPDS Entre 3500 y 4000 vehículos/día
3	TPDS Entre 4000 y 4500 vehículos/día
2	TPDS Entre 4500 y 5000 vehículos/día
1	TPDS Mayor a 5000 vehículos /día

5.5.2. Evaluación de la vulnerabilidad de la red vial (VR):

La vulnerabilidad de la red vial (VR) se obtiene evaluando tres componentes que son:

- Importancia de la red vial e impacto por cierre
- Dificultad de recuperación
- Pendiente del terreno

5.5.2.1. Importancia de la red vial e impacto por cierre:

Este criterio define la importancia del tramo de la red vial donde se ubica el puente en estudio vinculado con la posibilidad de ocurrencia del cierre del mismo y del impacto que sobre el sistema causaría, para evitar que sea un criterio subjetivo se determinó evaluarlo por el tipo de vía primaria, secundaria o terciaria y definirlo por el porcentaje de buses y camiones en caso de ser una vía primaria calificándose de la siguiente forma:

Tabla 32 Calificación por Importancia de cierre

Importancia e Impacto por cierre de la vía	Calificación
Vías terciarias de con poco trafico	10
Vías terciarias de con trafico bajo	9
Vías secundarias en afirmado	8
Vías secundarias con pavimento	7

Vías primarias con % de B y C = > 5%	6
Vías primarias con % de B y C = > 10%	5
Vías primarias con % de B y C = >15%	4
Vías primarias con % de B y C = > 20%	3
Vías primarias con % de B y C = >25%	2
Vías primarias con % de B y C = > 30%	1

5.5.2.2. Dificultad de recuperación:

Para su cuantificación se realizó la variable de distancia en Km de la maquinaria para la atención del evento, debido a su subjetividad se prefiere que sea evaluado por un experto así:

Tabla 33 Calificación por dificultad de recuperación

Dificultad de recuperación del puente	Calificación
Distancia a Maquinaria:	
Cerca de población urbana a 10Km con fácil acceso sin traumatismos	10
Con maquinaria disponible entre 10 y 20 Km	9
Con maquinaria disponible entre 20 y 30 Km	8
Con maquinaria disponible entre 30 y 40 Km	7
Con maquinaria disponible entre 40 y 50 Km	6
Con maquinaria disponible entre 50 y 60 Km	5
Con maquinaria disponible entre 60 y 70 Km	4
Con maquinaria disponible entre 70 y 80 Km	3
Con maquinaria disponible entre 80 y 100 Km	2
Con maquinaria disponible > a 100 Km	1

5.5.2.3. Pendiente del tramo:

Se obtienen del valor del tramo respectivo de la siguiente forma:

Tabla 34 Calificación por Pendiente del tramo

Pendiente del tramo	Calificación.
0 al 5%	10

6 A 12%	6
13 A 40%	3
>40%	1

5.5.3. Evaluación del valor estratégico del puente (VEP):

Define el grado de vulnerabilidad e importancia de la estructura en caso de que ocurra el evento, se obtiene evaluando cuatro componentes que definen la amenaza al colapso y la vulnerabilidad de la estructura así:

- Fecha de Construcción
- Configuración estructural del puente
- Vías alternas
- Sensibilidad ambiental

5.5.3.1. Fecha de Construcción:

La calificación se obtiene con la fecha de construcción del puente, para el caso de la red vial nacional se puede consultar el SIPUCOL, la valoración se estima así:

Tabla 85 Calificación por fecha de construcción

Fecha de construcción	Calificación
>= 2015	10
1995 a 2014	8
1970 a 1995	5
< 1970	1

5.5.3.2. Evaluación de la Configuración estructural del puente:

Teniendo en cuenta la configuración de la estructura longitudinal por su vulnerabilidad se cuantifico conservando la clasificación dada por el SIPUCOL calificándose así:

Tabla 36 Calificación por configuración estructural

Configuración Estructural	Calificación
Puente en concreto simplemente apoyados	10
Losa y vigas	9
Postensados	8
Cajones y dovelas	7
Vigas continuas	6
Vigas tipo gerber	5

Simplemente apoyados sección constantes y variables	4
Pórticos de sección constante y variables	3
Puente Colgante	2
Puente Atirantado	1

5.5.3.3. Evaluación de las Vías alternas:

El indicador se define así:

Tabla 37 Calificación por existencia de vías alternas

Existencia de vías alternas	Calificación
Vías alternas existentes que absorbe todo el tráfico sin traumatismos	10
Vías alternas existentes < a 500 m	9
Vías alternas existentes a 500m y < a 1Km	8
Vías alternas existentes > a 1 Km y menor a 5Km	7
Vías alternas existentes > a 5Km y menor a 10 Km	6
Vías alternas existentes > a 10 Km	5
Vías alternas por construir < a 500 m	4
Vías alternas por construir de 0,5 km a < de 1Km	3
Vías alternas por construir > a 1Km y menor a 5Km	2
Vías alternas por construir > a 5Km	1

5.5.3.4. Evaluación de la Sensibilidad Ambiental:

Para evitar la subjetividad en la evaluación se requiere que un experto ambiental, el criterio se evalúa así:

Tabla 38 Evaluación por sensibilidad ambiental

Sensibilidad ambiental	Calificación	Clase
La recuperación ambiental del sector se hace en forma natural muy rápida	10	Muy baja
La recuperación ambiental del sector se hace en forma natural rápida	9	Muy baja
La recuperación ambiental del sector se hace en forma mediana adicionando material orgánico a la zona afectada	8	Baja

La recuperación ambiental del sector se hace en forma baja adicionando material orgánico a la zona afectada	7	Baja
La recuperación ambiental del sector requiere aplicación de medidas de mitigación complejas y una inversión a bajo costo	6	Media
La recuperación ambiental del sector requiere aplicación de medidas de mitigación complejas y una inversión considerable pero ejecutable	5	Media
La recuperación ambiental del sector requiere aplicación de medidas de mitigación complejas y una inversión considerable mediana pero ejecutable	4	Media
La recuperación del sector requiere de obras ambientales complejas y medio alcanzable	3	Alta
La recuperación del sector requiere de obras ambientales complejas y de costo alto	2	Alta
Daño ambiental irreversible recuperación compleja de tipo compensatorio y costo muy alto.	1	Muy Alta

6. PROGRAMACION Y HERRAMIENTA COMPUTACIONAL DEL MODULO DE INVENTARIO

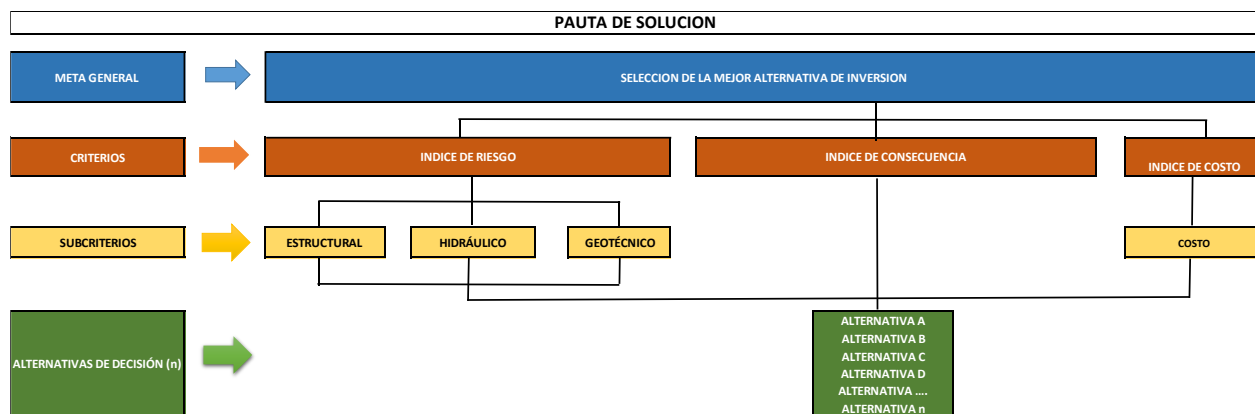
El usuario ingresará los datos de inventario y descripción básica para un almacenamiento informático, una vez recolectada la información existente en campo y se cargará para alimentar la base de datos en la plataforma ORACLE Versión 8.

Tomando como base la definición y los propósitos del proyecto se puede plantear de una manera más específica las labores o funciones de la aplicación, como también los resultados que debe producir.

6.1. MODULO DE EVALUACION

El proyecto tendrá la capacidad de realizar un almacenamiento de información básica del puentes, obtener en el módulo de evaluación una calificación global de la estructura teniendo como base las características del daño estructural, hidráulico y geotécnico; obteniendo un índice de riesgo del puente y con base en información adicional como el nivel de transito del área en estudio, la vulnerabilidad de la red vial, valor estratégico del puente se obtiene el índice de consecuencia de la falla del puente.

Tabla 39 Esquema del Módulo de evaluación



Como se indicó anteriormente, este módulo se determina el indicador de riesgo ponderado del puente y el indicador de consecuencia de acuerdo con la metodología planteada por Saaty, con el procedimiento mostrado en el cuadro siguiente de manera lineal:

Tabla 40 Indicador de riesgo ponderado del puente

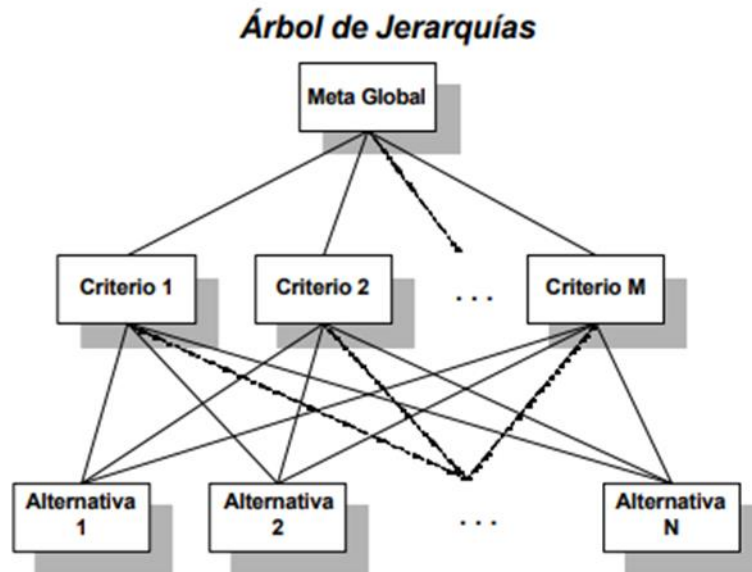
INDICADOR	CALIFICACION	CRITERIO	INDICADOR	w2	SUBCRITERIO A	INDICADOR	w3
Indicador de Riesgo Ponderado del Puente (IRP)	6	ESTRUCTURAL	6	0.33	Elementos funcionales	10	0.33
					Elementos superestructura	1	0.33
					Infraestructura	7	0.33
		HIDRÁULICO	5.6	0.33	socavacion en pilas	9	0.4
					socavacion en estribos	1	0.4
					socavacion Aletas	8	0.2
		GEOTECNICO	5	0.33	sismicidad (INGEOMINAS) As	1	0.50
					lluvias (IDEAM)	9	0.50

Tabla 41 Indicador de Consecuencia

INDICADOR	CALIFICACION	CRITERIO	INDICADOR	w2	SUBCRITERIO A	INDICADOR	w3
Indicador de Consecuencia (ICP)	9	NIVEL DE TRANSITO (NT)	8	0.4	TPDS	8	1
		VULNERABILIDAD DE LA RED (SERVIAL) VR	10	0.3	Importancia de la via e Impacto por cierre	10	0.34
					Dificultad de recuperacion	10	0.33
					Pendiente del tramo	10	0.33
		VALOR ESTRATEGICO DEL PUENTE (VEP)	10	0.3	Fecha de Construcción	10	0.25
					Configuracion estructural del puente	10	0.25
					Vias alternas	10	0.25
					Sensibilidad ambiental	10	0.25

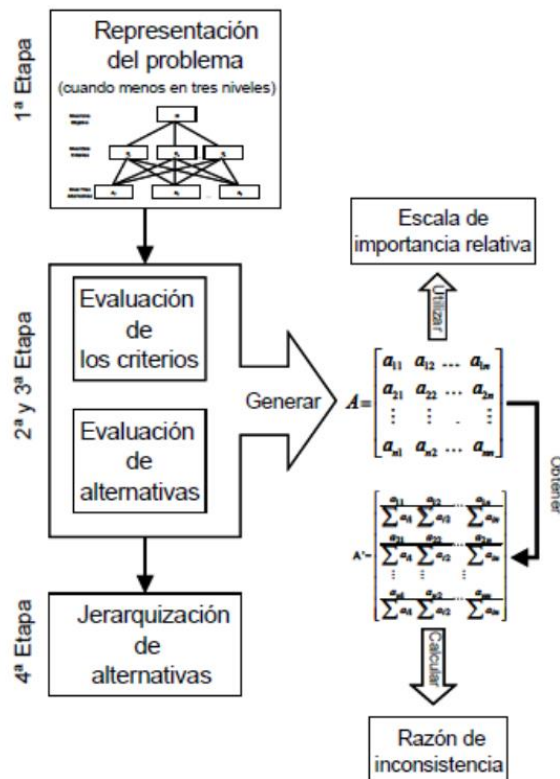
La evaluación se realiza por medio de comparaciones binarias (de a pares) contra un tercer elemento; permitiendo conocer y medir las preferencias de los individuos o grupos de interés o actores respecto a los diferentes componentes del modelo (criterios, subcriterios, alternativas). Una vez completada la Matriz, el problema se transforma en un problema de vectores y valores propios de la formula $A \cdot w = \lambda \cdot w$

Tabla 42 Árbol de Jerarquías



Fuente: SAATY, T.L; (1995). Decision for Leaders. The analytic hierarchy process for decision in a complex world. Universidad de Pittsburgh, Pittsburg.

Tabla 43 Fundamento teórico del modelo AHP



Fuente: SAATY, T.L; (1995). Decision for Leaders. The analytic hierarchy process for decision in a complex world. Universidad de Pittsburgh.

6.2. MODULO DE DECISION/PRIORIZACION

Aplicando el módulo de decisión/priorización realizando una comparación entre criterios y fundamentado con el proceso analítico de jerarquización se obtiene un valor ponderado del estado del puente en caso de ser un solo puente o el orden de prioridades de los puentes para el caso de la evaluación de varios puentes a intervenir como herramienta en la toma de decisiones.

El proceso se resume en tres pasos; primero se suman los valores encada columna de la matriz de comparaciones pareadas, segundo se divide cada elemento de la matriz entre el total de su columna, a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada, y último paso se calcula el promedio de los elementos de cada reglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan; una vez realizada la totalidad de las comparaciones se obtiene el resultado final consensuado(8), ósea el ordenamiento de las alternativas de mayor grado de importancia a menor grado.

El análisis de sensibilidad permite visualizar y analizar la sensibilidad de los resultados (ordenación de las alternativas) respecto de posibles cambios de importancia de los criterios, lo que permite ajustes en un corto, mediano o largo plazo. Permitiendo procesos de tipo dinámico que pueden ser ajustados en el tiempo.

6.3. DATOS DE ENTRADA

Consiste en la información del inventario de puentes que deberá ser ejecutado por personal idóneo y expertos en el tema de puentes para que la información de salida del programa sea consistente. Se tomará datos administrativos, Inventarios de elementos de la infraestructura, Inventarios de elementos de la superestructura y de elementos funcionales.

6.4. DATOS DE SALIDA

Consiste en la ponderación del puente y/o puentes de acuerdo con la metodología propuesta utilizando modelo de decisiones multivariable.

6.5. DATOS FINALES DEL PROGRAMA

En síntesis, el programa Oracle es un motor de base de datos, el cual permite suministrar información mediante el estilo de presentación en Oracle forms; una vez tome los archivos planos que genera el lenguaje c ó cualquier otro ejecutable, estos serán vistos en formularios y report típico de las presentaciones en Oracle forms. La versión del programa Oracle bajo Windows XP es Oracle 6i.

6.6. ALGORITMO DEL PROGRAMA

El programa una vez vinculado al Oracle y presentado en el formulario de entrada funciona de la siguiente manera:

6.6.1. BASE DE DATOS

Esta bases de datos registra las características más importantes de naturaleza técnica y de inspección visual de los puentes en una red vial, parte de la inspección presenta características propias de los puentes, para efectuar una buena administración de la información es indispensable que los datos obtenidos en campo se registren y almacenen de forma adecuada y por personal experto o que conozcan del tema. La información presentada en este proyecto se realizó teniendo en cuenta la base denominada SIPUCOL del INSITITUTO NACIONAL DE VIAS, para el desarrollo de este aplicativo desarrollada en ORACLE V 8. Y así obtener una buena gestión y administración de mantenimiento en puentes.

6.6.2. ARQUITECTURA DEL PROGRAMA

A continuación, se presenta el diagrama de identidad – relación de todas las tablas y formularios que contiene el programa:

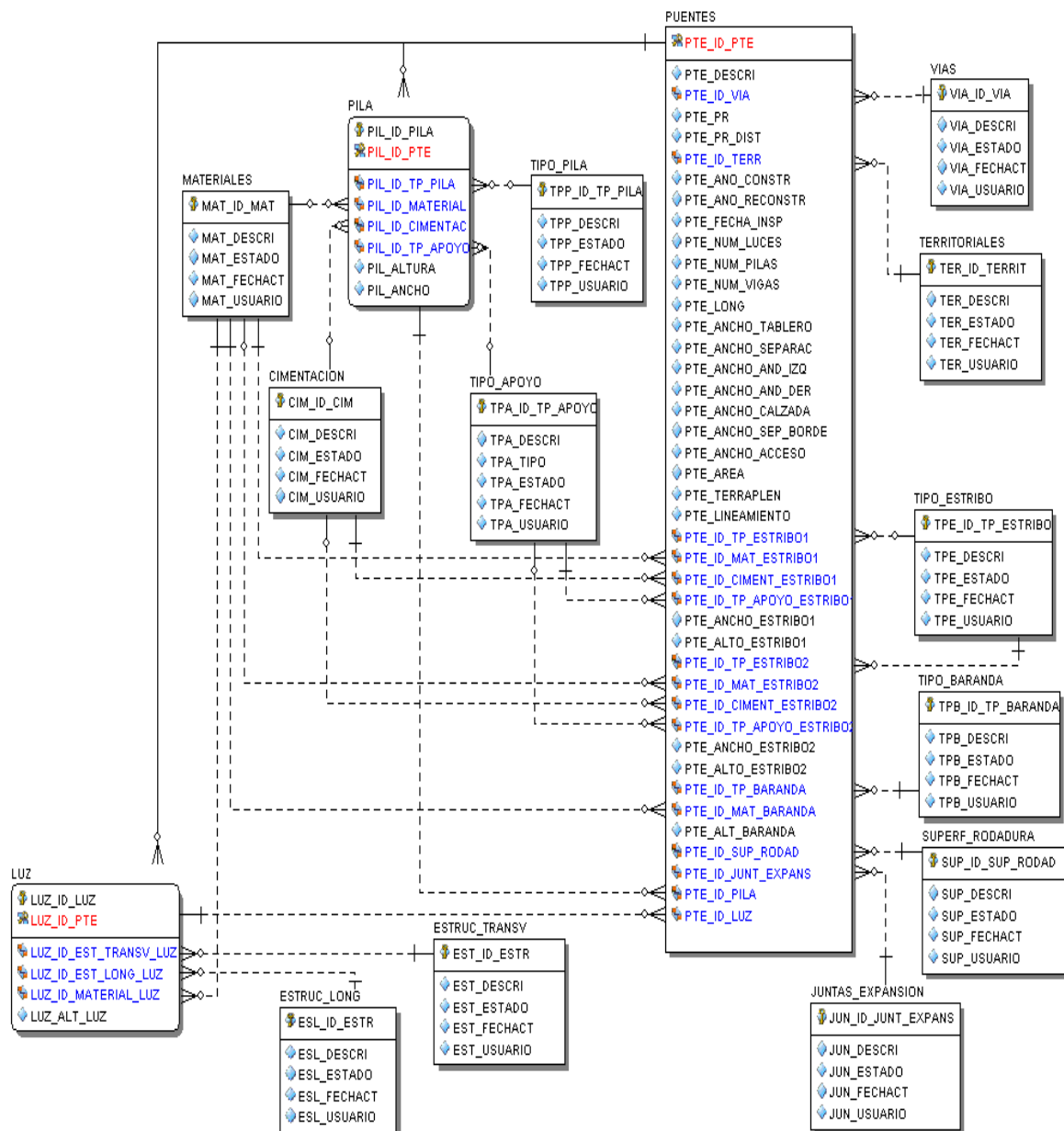


Ilustración 48 Algoritmo del programa

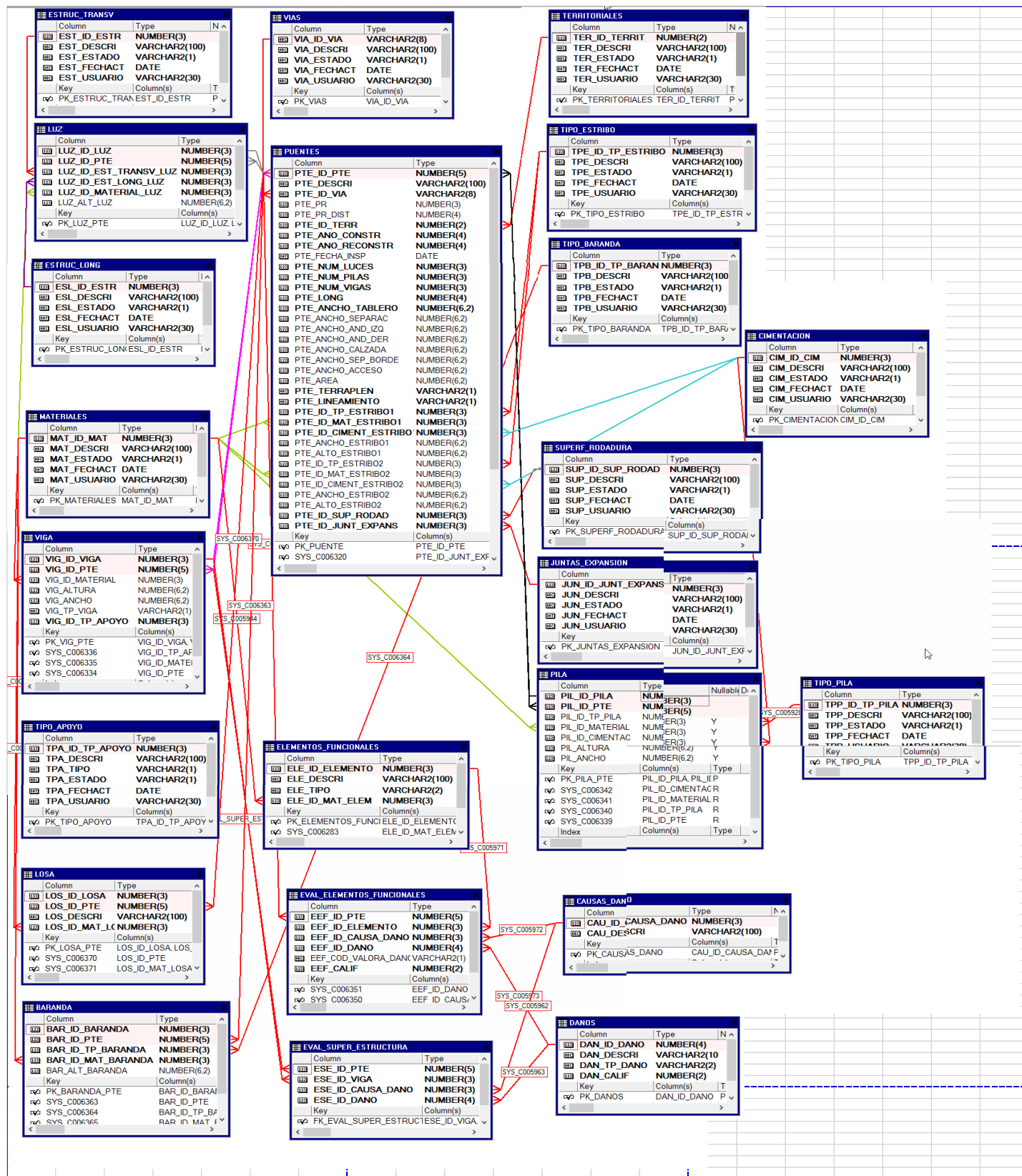


Ilustración 49 Diagrama entidad relación

6.6.3 MANUAL DEL USUARIO DEL PROGRAMA

Para el ingreso del programa luego de instalar los programas fuentes y los archivos en la unidad del PC, se ha dejado un icono para el ingreso de forma directa. El programa se inicia solicitando una clave que puede ser cambiada por seguridad por el usuario, con permisos. En el Anexo 1 se presenta el Manual del Usuario V1 para el ingreso a la plataforma del Sistema Integrado de Gestión de Puentes con las siglas **SIGP**.

6.6.3.4.1 VALIDACION DEL PROGRAMA Y CONSISTENCIA

Con la finalidad de realizar las pruebas de integridad de la evaluación y de definir los distintos parámetros de la metodología a continuación se presenta la información de una serie de cinco puentes con diferentes características evaluadas con el sistema SIPUCOL y al mismo tiempo evaluado por la metodología Saaty objeto de este proyecto.

Resultado de la evaluación por SIPUCOL:

Identificación	Nombre puente	Carretera	P.R.	# luces	Luz total	Material Superestr	Calif
01-2511-013.00	Tarazá	Los Llanos - Tarazá	122+0200	2	91.49	Acero	3
01-2511-008.00	Puqui	Los Llanos - Tarazá	102+0587	1	60.70	Acero y Concreto	3
06-6504-001.20	El Aguila	Puerto Rico - Mina Blanca	9+0051	2	62.00	Concreto Presforzado	4
07-6211-009.00	Chichaca	Sogamoso - Aguazul	103+0692	1	22.00	Acero y Concreto	4
16-7506-009.00	Caño Grande	Calamar - San José del Guaviare	46+0170	1	16.20	Concreto Reforzado	2

La información correspondiente se muestra en el Anexo 2.

Aplicando la metodología Saaty que se muestra en el Anexo 3 y el resultado obtenido de la determinación de orden de alternativas es:

Resultado de la evaluación con el método de análisis multicriterio y utilizando la herramienta computación:

DETERMINACION DE ORDEN DE ALTERNATIVA		
JERARQUIA	PUENTE	PUNTAJE INDICADOR
1	El Águila	0.4270
2	Chichaca	0.3000
3	Taraza	0.1090
4	Puqui	0.0920
5	Caño Grande	0.0670

La Jerarquía de prioridad se da por el valor mayor y así sucesivamente

Como se aprecia la metodología aplicada de la evaluación con el método de análisis multicriterio da un orden de priorización de acuerdo con la información obtenida en la evaluación y como resultado se obtuvo el puente Águila como prioritario, luego en el orden de alternativas sigue La Chichaca, Taraza, Puqui y Caño Grande; permitiendo el método realizar toma de decisión con criterio ingenieril en el caso de priorizar inversión.

Al comparar la evaluación con el resultado de SIPUCOL se obtiene lo siguiente:

PUENTE	JERARQUIA	Calif
El Águila	1	4
Chichaca	2	4
Tarazá	3	3
Puqui	4	3
Caño Grande	5	2

El sistema brinda la oportunidad de definir una secuencia de jerarquización definiendo un orden lógico para la toma de decisiones, este sistema facilitará la determinación en la inversión por parte de los organismos encargados del mantenimiento y rehabilitación de puentes, reduciendo de esta forma el riesgo de falla en las estructuras que conforman el sistema vial, involucrando variables de riesgo estructural, geotécnico e hidráulico, variables de seguridad vial y valor estratégico de la estructura.

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS

- Con la aplicación desarrollada en el presente proyecto usando primero una metodología y nuevos criterios de evaluación, es la base para implementar nuevos desarrollos tecnológicos como por ejemplo una aplicación APP (aplicación informática diseñada para ser ejecutada en teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos móviles) que involucre los mapas digitales del programa HERMES – INVIAS y/o del Servicio Geológico Colombiano – SGC, Sistema de Información Geográfica del IDU – SIGIDU, integrando la información geográfica del inventario físico referencia (GPS) y la evaluación de puentes, por lo que se recomienda que el subsiguiente desarrollo intervengan desarrolladores de programación computacional que faciliten y complementen el proyecto, lo que redundaría en el enriquecimiento en la toma de decisión y en la gestión de proyectos viales.
- Dada la complejidad del tema desarrollado en el presente proyecto, se sugiere que en un próximo proyecto se analice el tercer indicador de consecuencia por factor de inversión, se podría desarrollar con más detalles en otro proyecto de grado de la Maestría complementado el tema y dando un carácter viabilizador a los entes gubernamentales ya que este indicador es muy sensible en la toma de decisiones.
- Es importante que se realice una correcta capacitación de la herramienta a los usuarios del sistema con el fin de dar a conocer sus bondades ya que, de esta manera se puede orientar la aplicación con criterios claros de evaluación para evitar subjetividad y lograr a partir de una simple inspección visual un resultado óptimo y que permita buenos resultados en la toma de decisión.

CONCLUSIONES

- La utilización del método de análisis multicriterio con el modelo de jerarquización analítica desarrollado por Thomas Saaty en la Universidad de Pennsylvania, permite realizar la evaluación de puentes incluyendo no solo la parte estructural sino que además involucra como gran aporte, sin dejar de ser una que otro más relevante, otros criterios como el Hidráulico y el Geotécnico y factores de consecuencia por criterios de intervención y requerimientos de inversión, se convierte en una herramienta fundamental para la toma de decisión en el momento de definir una inversión en rehabilitación, mantenimiento o reconstrucción de un puente.
- El uso de sistemas computacionales permite desarrollos de herramientas más eficientes en el inventario, la evaluación y toma de decisión de la calificación de puentes seleccionado, relacionado con la inversión en puentes.
- La evaluación de puentes con estos criterios, que a la fecha no han sido utilizados, permite resolver problemas de decisión con múltiples variables tomando información cualitativa y cuantitativa; siendo este proyecto el inicio y el aporte a nuevas implementaciones y metodologías en los procesos de los sistemas de gestión vial y en especial a Gestión en Puentes.
- Esta metodología permite al evaluador como gestor de un proyecto vial o al ingeniero experto o al dueño del proyecto o al ente gubernamental organizar o jerarquizar con un orden lógico o buen criterio ingenieril, en la definición de reparar la estructura e inversión prioritaria.
- Esta herramienta funciona como un sistema de gestión de puentes el cual contiene los módulos necesarios para mantener la información actualizadas y permite realizar un seguimiento a la evolución de estado de la estructura, dentro de la cual se encuentra el módulo de inventario con información de relevante administrativa como localización, datos de la geometría, tránsito.
- Adicionalmente se tiene el módulo de evaluación, donde se caracterizaron los daños más importantes y de mayor incidencia en los puentes de la red vial tanto a nivel nacional como regional, esto permite optimizar tanto los recursos logísticos y económicos ya que se tiene en sistema experto que permite se asigne recursos con criterios de prioridad.
- El proceso de evaluación se fundamentó principalmente en un modelo de decisión involucrando datos estadísticos y de expertos en la ponderación de criterios y subcriterios, involucrando las causas de riesgo y el tipo de consecuencias que puede acarrear la falla en la prestación del servicio por tanto se plantea este sistema como una herramienta con visión de desarrollo sostenible para hacer del transporte vial una movilidad más eficiente.

REFERENCIAS

1. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Industrial, “Mejora al proceso de generación y selección de nuevos negocios en UNIRED. Proyecto de grado para optar al grado de Magister en Ingeniería de Negocios con Tecnologías de Información. Rodrigo Antonio Perez Morales, 2015.
2. Boletín Técnico No. 3 Inventario de Puentes – Actualización 2016, Incluye las zonas Urbanas y Rurales del Distrito Capital, Instituto de Desarrollo Urbano – IDU marzo 2016.
3. Página web 2011, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS – www.invias.gov.co
4. Base de datos SIPUCOL, Sistema de Administración de Puentes colombianos - mayo de 2009.
5. Información extraída del manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. Juan Francisco Pacheco - Eduardo Contreras. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), Naciones Unidas - CEPAL Santiago de Chile, julio de 2008.
6. Universidad Austral de Chile - Escuela de Ingeniería Civil Industrial - Sede Puerto Montt, Profesor patrocinante Mag. Alejandro Sotomayor Brulé – Escuela de Ingeniería Civil Industrial “Asignación de presupuesto para una cartera de proyectos de conservación de caminos y puentes, usando la metodología de proceso analítico jerárquico (AHP)”, Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, Patricio Eduardo Águila Márquez - Puerto Montt – Chili – 2010.
7. SAATY, T. 2000. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. RWS Publications. Universidad de Pittsburgh, U. S. A.
8. T. L. Saaty, “The Analytic Hierarchy Process,” McGraw-Hill Inc, pp. 17–34, 1980
9. <http://ocw.upm.es/estadistica-e-investigacion-operativa/tecnicas-de-investigacion-operativa-en-ingenieria/Contenido/Materiales/t8.1toma-de-decisiones>.
10. A. Casañ Perez, “La decisión multicriterio; Aplicación en la selección de ofertas competitivas en edificación,” Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2013.
11. Análisis de las decisiones multicriterio, Carlos Romero, Isdefe, c/Edison 4, 28006 Madrid, Primera Edición, Nov 1996, España.
12. UNC, Universidad Nacional de Córdoba (2006). “Desarrollo y Aplicación de un Sistema de Gerenciamiento de Puentes para la República Argentina”, Informe Final, Convenio DNV – UNC. Centro de Vinculación de Ensayos No Destructivos y de Evaluación de Obras de Infraestructura Civil, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Córdoba, Argentina.
13. Ingeniería de puentes, colapso, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica y capacidad de carga”, Tomo 2 - Edgar Eduardo Muñoz Díaz, Pontificia Universidad Javeriana, pág. 35,

14. Manual para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad de puentes de la red vial principal de Colombia, Universidad de los Andes – INVIAS- Oficina de Prevención y Atención de Emergencias, 2005.
15. Estudio de Impacto Ambiental, Proyecto de Desarrollo del Área Sur del Campo Kinteroni- Nuevo Mundo, Repsol-Wals, Perú - 2007.
16. <http://www.arquitecturamundial.com/wp-content/uploads/viaducto.jpg>.
17. Manual de inventario de puentes, Manual de inspección principal de puentes, Manual de inspección especial de puentes, Base de datos - SIPUCOL - 1996 Software v1.0, Base de datos - SIPUCOL – 2001. Software v2.0, INVIAS - Instituto Nacional de Vías y DCD - Directorado de Carreteras de Dinamarca (1996). Proyecto INVIAS y DCD, Bogotá, Colombia.
18. Manual para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y recomendaciones para la rehabilitación de puentes, centro de investigaciones en materiales y obras civiles – CIMOC Universidad de los Andes – Instituto Nacional de Vías. (octubre 2001. Santafé de Bogotá.
19. Ingeniería de Ríos, Juan P. Martin Vide, Alfaomega ediciones UPC – Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona España. 2003 capítulo 7 – 7.12 pág. 251.
20. Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14, sección 3.10.2 Pagina web INVIAS www.invias.gov.co Documentos técnicos.
21. Hallazgos de la segunda comunicación nacional: Impactos, vulnerabilidad, riesgo: Posible clima sobre el territorio colombiano en el siglo XXI, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambiental –IDEAM (2014), Bogotá, D.C.
22. Guía Metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000, Servicio Geológico Colombiano – SGC, Dic 2017 pág. 21.
23. Jaime Suarez Cap. 1 Nomenclatura y clasificación de Movimientos Y definiciones Pag 29.
24. Manual de Estabilidad de Taludes – Instituto Nacionales de Vías, 1998

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI 224R-01. "Control of cracking in concrete structures".

BARRILERO SÁNCHEZ DE LEON (2012), A. Sistema de Gestión de Puentes, presentación GEOCISA, España.

CARRIÓN VIRAMONTES, Francisco Javier, QUINTANA RODRIGUEZ Juan Antonio, López López, José Alfredo, BALANKIN, Alexander y SAMAYOA OCHOA, Didier (2006), Metodología de Inspección No Destructiva Aplicables a Sistema de Gestión de Puentes. Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Instituto Mexicano del Transporte. Publicación No. 302 Sanfandila Qro, México.

CUSBA MORALES, David Sebastián (2011). Estudio de las causas y soluciones estructurales del colapso total o parcial de los puentes vehiculares de Colombia desde 1986 al 2011, y la evaluación de las consecuencias del derrumbamiento de uno de ellos. Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil. Bogotá D.C.

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS (2012), Ministerio de Fomento, Guía para la realización de Inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado, España.

OFICINA DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (2012) - Instituto Nacional de Vías - INVIAS. Estudios realizados para la reparación y rehabilitación para cada puente en particular de la ola invernal 2010-2011, Bogotá, D.C.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (2007). Proyecto de Desarrollo del Área Sur del Campo Kinteroni- Nuevo Mundo, Repsol-Wals, Perú.

GALARRAGA, Jorge y HERZ, Marcelo (2006). Gestión del riesgo en gerenciamiento de puentes con modelos de decisión multicriterio discretas. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

GARCIA, Manuel (1999), Hydraulic Design Handbook, Sedimentation and erosion hydraulic, University of Illinois.

GARCIA FLOREZ, Manuel, MASA ÁLVAREZ J. A. (1995). Manual de Ingeniería de Ríos, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México - UNAM, México.

Hydrologic Engineering Center – River Analysis Systems – HEC-RAS (1998). US Army Corps of engineers, Version 2.2. EE.UU.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMA TÉCNICA, NTC 1486, 2008-07-23, Documentación, presentación de Tesis, Trabajos de grado y otros trabajos de investigación. ICONTEC, Bogotá D.C. Sexta actualización, edición 2008-08-04.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO -IDU- Mapas SIGIDU 2018 y Formatos para toma de información de pre-diagnóstico y diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de movilidad y espacio público construido de Bogotá D.C para la estructuración de programas de conservación”, 2015.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM (2014), Hallazgos de la segunda comunicación nacional: Impactos, vulnerabilidad, riesgo: Posible clima sobre el territorio colombiano en el siglo XXI, Bogotá, D.C.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS – INVIAS (1996). Orden de servicio OJ-229 de 1995, García López Manuel. Diagnóstico Sobre el Estado del Conocimiento en Estabilidad de Taludes en Carreteras de Colombia y la Eventual Necesidad de Usar Nuevas Tecnologías. Bogotá – Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS Y DIRECCIÓN DE CARRETERAS DE DINAMARCA (1996), Manuales del Sistema de Administración de Puentes en Colombia - SIPUCOL, Bogotá, Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS Y DIRECCIÓN DE CARRETERAS DE DINAMARCA (1996). “Manual de inventario de puentes”, Proyecto Invias y Directorado de Carreteras de Dinamarca, Bogotá, Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS Y DIRECCIÓN DE CARRETERAS DE DINAMARCA (1996a). “Manual de inspección principal de puentes”, Proyecto Invias y Directorado de Carreteras de Dinamarca, Bogotá, Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS Y DIRECCIÓN DE CARRETERAS DE DINAMARCA (1996b). “Manual de inspección especial de puentes” Proyecto Invias y Directorado de Carreteras de Dinamarca, Bogotá, Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS Y DIRECCIÓN DE CARRETERAS DE DINAMARCA (1996c). “Base de datos - SIPUCOL - 1996”, Proyecto Invias y Directorado de Carreteras de Dinamarca, Software v1.0, Bogotá, Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS Y DIRECCIÓN DE CARRETERAS DE DINAMARCA (2001). “Base de datos - SIPUCOL - 2001”, Proyecto Invias y Directorado de Carreteras de Dinamarca, Software v2.0, Bogotá, Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Información Colombia Humanitaria 2011, página web: www.invias.gov.co

Lara M. Sepúlveda S (2008). Apunte del Curso GL26C Remociones en masa, Universidad de Chile.

Ley 400 de 1997 (agosto 19) Diario Oficial No. 43.113, del 25 de agosto de 1997 Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes.

Ley 1523 de 2012 (abril 24) Diario Oficial No. 48.411 de 24 de abril de 2012, Congreso de la República, Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

MARTIN VIDE, Juan P. Ingeniería de Ríos, Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona –UPC, España, Alfaomega ediciones. 2003 Capitulo 7 – 7.12 pág. 251.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE (MOPT) (enero 2007). Manual de Inspección de Puentes Dirección de Puentes, Costa Rica.

MUÑOZ DIAZ, Edgar Eduardo (sept 2012) Ingeniería de puentes, “Reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación”, Tomo 1, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C.

MUÑOZ DIAZ, Edgar Eduardo (sept 2012). Ingeniería de puentes, “colapso, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica y capacidad de carga”, Tomo 2. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., pág. 35.

MUÑOZ DIAZ, Edgar Eduardo (sept 2012). Ingeniería de puentes, “Confiabilidad estructural, vulnerabilidad sísmica, monitoreo e instrumentación, capacidad de carga, estimación de la tensión de cables a partir de frecuencias naturales, aisladores sísmicos y carga dinámica de camiones”, Tomo 3. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.

NORMAS SISMO - RESISTENTES COLOMBIANAS - NSR-10 — Capitulo A.2 (2010) Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño, pág. 13-19.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA – MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado). Bogotá, D.C.

PACHECO, Juan Francisco y CONTRERAS, Eduardo (julio 2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. - Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES) Santiago de Chile, CEPAL - Serie Manuales No 58.

Página web 2018, SIGIDU - Instituto de Desarrollo Urbano - IDU – www.idu.gov.co

ROCHE, Hugo y VEJO (2005), Constantino. Universidad de la Republica, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración. Análisis Multicriterio en la Toma de

Decisiones, Métodos Cuantitativos aplicados a la Administración. Material de apoyo
Análisis Multicriterio. Uruguay.

RODRIGUEZ Díaz, Héctor Alfonso. Hidráulica Fluvial, Fundamentos y aplicación.
Socavación, Escuela Colombiana de Ingeniería. Abril 2001.

ROMERO, Carlos (nov 1996), Análisis de las decisiones multicriterio. Publicaciones de
ingeniera de sistemas. Isdefe, Primera edición, Madrid, España.

SAATY, Thomas. 2000. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the
Analytic Hierarchy Process. RWS Publications. Universidad de Pittsburgh, U. S. A.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego (2002). "Durabilidad y patología del concreto Instituto
del Concreto". Asocreto.

SANCHEZ GUERRERO, Gabriel de las Nieves. Técnicas participativas de Planeación,
Cap. 16 Jerarquías Analíticas.

SUAREZ DIAZ, Jaime (2001) Control de Erosiones en Zonas Tropicales, Universidad
Industrial de Santander, Bucaramanga –Colombia. 2001.

TOSKANO HURTADO, Gerar Bruno, El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como
herramienta para la toma de decisiones en la selección de Proveedores, cap. iii,
Universidad de San Marcos, Facultad de Matemáticas, Investigación de Operaciones,
Lima - Perú, 2005.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA (2001), Parte IV Socavación en puentes, Calculo de la
Socavación en puentes Capítulo III, Popayán, pág. 3.1-3.80.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA – INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.
(octubre 2009) Manual para la inspección visual de Puentes y Pontones, Estudio e
Investigación del estado actual de las obras de la Red Nacional de Carreteras, convenio
interadministrativo 0587-09.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (septiembre 2004)
centro de estudios sobre desastres y riesgos - CEDERI, Departamento de Ingeniería
Civil - convenio de cooperación, proyecciones de la estabilidad del sector Ibagué –
Armenia ante eventos hidrológicos y sísmicos extremos, estudio de evaluación de
riesgos de la red vial nacional, implementación del SERVIAL – fase IV. Bogotá D.C. –
Colombia.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - INSTITUTO NACIONAL DE VIAS- OFICINA DE
PREVENCION DE RIESGOS Y ATENCION DE EMERGENCIAS (2005). Manual para la
evaluación preliminar de la vulnerabilidad de puentes de la red vial principal de
Colombia, Bogotá, D.C.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. (octubre 2001) Manual para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y recomendaciones para la rehabilitación de puentes, centro de investigaciones en materiales y obras civiles – CIMOC. Santafé de Bogotá.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA - UNC. (2006) Desarrollo y Aplicación de un Sistema de Gerenciamiento de Puentes para la República Argentina, Informe Final, Convenio DNV – UNC. Centro de Vinculación de Ensayos No Destructivos y de Evaluación de Obras de Infraestructura Civil, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Córdoba - Argentina.

VALLECILLAS Bahena, Carlos Ramiro (marzo 2018), Profesor Universidad Nacional, Fundamentos de Diseño de Puentes. Ejemplos resueltos. Primera edición (enero 2018, Editorial Bauen. Bogotá, Colombia.

VARGAS Cuervo, German (1999) Guía Técnica para la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza por Movimientos en Masa. Corporación Colombo - Alemana, Proyecto Rio Guatiquia. Villavicencio –Colombia.

Anexo No. 1 Manual del Usuario

Anexo No. 2 Resultados de la evaluación por SIPUCOL

Anexo No.3 Evaluación de puentes aplicando el método de análisis multicriterio

