

**Aplicación de una metodología para la evaluación de puentes,
basada en la consideración de criterios hidráulicos, con aplicación
en un caso de estudio en el estado Mérida, Venezuela.**

Por

Ing. Laura Endrina Dávila Carrasco

www.bdigital.ula.ve

Trabajo para optar al grado de Magister Scientiae en Desarrollo de los Recursos de Aguas y
Tierras, Mención Obras Hidráulicas.

Centro Interamericano de Desarrollo e
Investigación Ambiental y Territorial
Universidad de Los Andes
Mérida – Venezuela
2024

Agradecimientos

Agradezco profundamente a todas las personas que, con paciencia y empatía, me apoyaron a lo largo de este trabajo. A mi tutora y asesores, por su valiosa orientación, y a mis seres queridos, por su constante aliento y comprensión. Su apoyo ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

www.bdigital.ula.ve

Índice

	Pág.
Acta de veredicto	ii
Agradecimientos	iii
Índice	v
Lista de tablas	vii
Lista de figuras	ix
Resumen	xiii
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	4
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.3. Importancia y alcance de la investigación	4
1.4. Limitaciones de la investigación	4
Capítulo 2. Marco teórico	7
2.1. Antecedentes de la temática de estudio.....	7
2.2. Antecedentes del área de estudio	10
2.2.1. Puente Balsa	10
2.2.2. Puente El Anís – Quebrada San Pablo.....	13
2.2.3. Puente Cruz Verde.....	15
2.3. Bases teóricas.....	17
2.3.1. <i>Puentes</i>	17
2.3.2. <i>Puentes fluviales</i>	19
2.3.3. <i>Tipos de ríos</i>	19
2.3.4. <i>Socavación</i>	21
2.3.5. <i>Estabilidad de cauces</i>	22
2.3.6. <i>Tipo de evaluación de puentes</i>	23
2.3.7. <i>Mantenimiento de puentes</i>	24
2.4. Definición de términos	25
Capítulo 3. Materiales y métodos	27
3.1. Enfoque de la investigación.....	27
3.2. Tipo de investigación	28

3.3. Población y muestra	29
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	29
3.5. Procedimiento	38
3.6. Caso “Crítico”. Estimación de la socavación y estabilidad del cauce	45
Capítulo 4. Resultados y discusión	49
4.1. Presentación y análisis de los resultados	49
Evaluación puente Balsa – Caño Balsa	49
Evaluación puente El Anís – quebrada San Pablo	57
Evaluación puente Cruz Verde – río Albarregas	62
4.2. Discusión.....	68
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	71
Capítulo 6. Referencias bibliográficas.....	73
Capítulo 7. Anexos.....	77

www.bdigital.ula.ve

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Comparación de estudios de fallas en puentes.	1
Tabla 2. Resumen de estudio de falla en puentes.	2
Tabla 3. Clasificación de puentes.	7
Tabla 4. Tabla de vulnerabilidad de puentes.	8
Tabla 5. Clasificación de elementos y materiales.	8
Tabla 6. Clasificación de condición de los puentes.	9
Tabla 7. Evaluación de puentes en términos del riesgo de falla.	10
Tabla 8. Resumen de resultados período de retorno de 100 años, Puente Balsa.	13
Tabla 9. Respuesta de los cauces a cambios producidos en la cuenca y condiciones del río.	22
Tabla 10. Escalas de evaluación de la vulnerabilidad de las variables de un puente.	34
Tabla 11. Grado de severidad de las variables de un puente.	34
Tabla 12. Variables del elemento Geometría.	39
Tabla 13. Variables del elemento Estructura.	40
Tabla 14. Variables del elemento Socavación.	40
Tabla 15. Variables del elemento Estabilidad.	41
Tabla 16. Variables del elemento Entorno.	42
Tabla 17. Asignación del grado de severidad a cada variable.	43
Tabla 18. Evaluación de puentes en términos de Índice de Vulnerabilidad del Puente (I_{VP}).	44
Tabla 19. Resultados de evaluación de puentes.	68
Tabla 20. Clasificación y recomendaciones para los puentes evaluados.	68

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Interpretación de las fallas en los puentes según Shirole y Holt (1991).	2
Figura 2. Causas de fallas en 143 puentes analizados a nivel mundial (Rocha, 2013).	3
Figura 3. Casilla de vaciado de información (Universidad Nacional de Colombia, 2006).	9
Figura 4. Ubicación puente Balsa. Fuente propia.	11
Figura 5. Ubicación en planta del puente Balsa. Adaptado de Google Earth (2024).	11
Figura 6. Planta de la estructura, puente Balsa. Propiedad de DCI.C.A. (2016).	12
Figura 7. Perfil de la Estructura. Puente Balsa. Propiedad de DCI C.A. (2016).	12
Figura 8. Ubicación Puente El Anís. Fuente propia.	13
Figura 9. Ubicación en planta del Puente El Anís. Adaptado de Google Earth (2024).	14
Figura 10. Perfil longitudinal Puente El Anís, propiedad del Ministerio Popular para el Transporte (1978).	14
Figura 11. Planta y alzado de Estribos, Puente El Anís, propiedad del Ministerio Popular para el Transporte (1978).	15
Figura 12. Ubicación Puente Cruz Verde. Fuente propia.	15
Figura 13. Ubicación en planta del Puente Cruz Verde. Adaptado de Google Earth (2024). ...	16
Figura 14. Sección transversal puente Cruz Verde (Moreno & Moreno, 2019).	17
Figura 15. Elementos de la superestructura. Fuente propia.	18
Figura 16. Elementos de la subestructura. Fuente propia.	18
Figura 17. Planta y sección de un cauce trenzado (González & Downing, 1991).	20
Figura 18. Planta, sección y evolución de un cauce meándrico (Martín, 2003).	20
Figura 19. Meandros (de izquierda a derecha) regulares, irregulares, simples y compuestos. (Martín, 2003).	20
Figura 20. Corte natural de meandros y lóbulos abandonados (Martín, 2003).	21
Figura 21. Proceso cuantitativo (Hernandez, Fernández, & Baptista, 2014).	27
Figura 22. Proceso cualitativo (Hernandez, Fernández, & Baptista, 2014).	28
Figura 23. Planilla de recolección de datos (1/3). Fuente propia.	30
Figura 24. Planilla de recolección de datos (2/3). Fuente propia.	31
Figura 25. Planilla de recolección de datos (3/3). Fuente propia.	32
Figura 26. Muestra de hoja de cálculo para recolección de datos base. Fuente propia.	33
Figura 27. Proceso creativo para el desarrollo de la metodología. Fuente propia.	34
Figura 28. Resultados de la metodología de evaluación. Fuente propia.	36
Figura 29. Etapas generales de la metodología de evaluación. Fuente propia.	38

Figura 30. Esquema de aplicación de la metodología de evaluación. Fuente propia.....	38
Figura 31. Puntos para el registro fotográfico. Adaptado de Fonseca (2021).....	44
Figura 32. Puente Balsa. Fuente propia.....	49
Figura 33. Evaluación de las variables de la categoría Estructura, puente Balsa. Fuente propia.	50
Figura 34. Estribo derecho, puente Balsa. Fuente propia.....	51
Figura 35. Pilas de puente Balsa. Fuente propia.	51
Figura 36. Evaluación de las variables de la categoría Socavación, puente Balsa. Fuente propia.	52
Figura 37. Estribo izquierdo, puente aguas abajo Caño Balsa. Fuente propia.	53
Figura 38. Detalle de socavación. Estribo izquierdo, puente aguas abajo Caño Balsa. Fuente propia.....	53
Figura 39. Evaluación de las variables de la categoría Estabilidad, puente Balsa. Fuente propia.	54
Figura 40. Evolución del cauce Caño Balsa. Adaptado de Google Earth (2024).	55
Figura 41. Evaluación de las variables de la categoría Entorno, puente Balsa. Fuente propia.	56
Figura 42. Uso de la tierra y cuenca de Caño Balsa. Propiedad de DCI C.A. (2016).....	56
Figura 43. Puente El Anís. Fuente propia.	57
Figura 44. Vigas y pila de puente El Anís. Fuente propia.	58
Figura 45. Reparación de pila aguas arriba de puente El Anís. Fuente propia.	59
Figura 46. Daños en las vigas adyacentes a las vigas dañadas del puente El Anís. Fuente propia.	59
Figura 47. Estribo izquierdo, puente El Anís. Fuente propia.	60
Figura 48. Pilas puente El Anís. Fuente propia.	60
Figura 49. Zona aguas arriba de la estructura. Fuente: Gobernación del estado Mérida (2023).	61
Figura 50. Lecho y márgenes de la quebrada San Pablo, El Anís. Fuente propia.	61
Figura 51. Forma de la cuenca quebrada San Pablo. Fuente: Gobernación del estado Mérida (2023).	62
Figura 52. Puente Cruz Verde, visto desde aguas abajo. Fuente propia.	63
Figura 53. Estribo derecho, puente Cruz Verde. Fuente propia.	64
Figura 54. Detalle de estribo derecho, puente Cruz Verde. Fuente propia.	64
Figura 55. Estribo izquierdo, puente Cruz Verde. Fuente propia.	65
Figura 56. Cuenca del río Albarregas, hasta el puente Cruz Verde. Fuente: Aguas de Mérida (2018).	66
Figura 57. Vegetación en márgenes y lecho, río Albarregas, aguas arriba del puente Cruz Verde. Fuente propia.	66

Figura 58. Vegetación en márgenes y lecho, río Albarregas, aguas arriba del puente Cruz Verde.
Fuente propia.67

www.bdigital.ula.ve

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
E INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL

MAESTRÍA EN DESARROLLO DE LOS RECURSOS AGUAS Y TIERRAS
MENCIÓN OBRAS HIDRÁULICAS

Aplicación de una metodología para la evaluación de puentes, basada en la consideración de criterios hidráulicos, con aplicación en un caso de estudio en el estado Mérida, Venezuela.

Autor: Laura Davila

Tutor: Prof. Ada Moreno

Resumen

Los puentes son estructuras que forman parte de las redes viales, permiten el transporte de bienes, servicios y personas, por lo que se debe garantizar su buen funcionamiento para el comportamiento eficiente de las redes viales. La principal causa de fallas en estas estructuras suele estar relacionada con factores hidráulicos, es por esta razón que se compararon diferentes metodologías de evaluación de puentes existentes y se propuso una nueva metodología basada en criterios hidráulicos. Esta permitió determinar el estado real de los puentes mediante el cálculo de varios índices de evaluación: estructural, socavación/gradación, estabilidad y entorno. La evaluación se llevó a cabo mediante observación directa en campo, recomendándose que sea realizada por un ingeniero especializado en el área. El usuario debía evaluar cada variable mediante una escala de vulnerabilidad, la cual fue ponderada con un grado de severidad establecido por el autor. Con esta evaluación se obtuvieron los índices antes mencionados y, finalmente, se obtuvo el denominado Índice de Vulnerabilidad del Puente (I_{VP}), que se encarga de clasificar el estado de la estructura según el resultado obtenido. Esta metodología no solo facilita el registro histórico de cada puente, sino que también permite crear un inventario de puentes, optimizar la gestión de recursos y apoyar en la toma de decisiones al priorizar las estructuras según su clasificación final.

Palabras clave: Hidráulica, puentes, socavación, fallas, evaluación, creación de metodología, río.

Capítulo 1. Introducción

1.1. Planteamiento del problema

En cada país es necesario contar con una red vial adecuada, funcional y eficiente para su desarrollo socioeconómico, garantizando la continuidad del comercio, transporte de bienes y personas. Los puentes desempeñan un papel fundamental en las redes viales, pues son estructuras diseñadas para superar obstáculos geográficos como ríos o depresiones topográficas. Su función principal radica en la conexión entre dos regiones, facilitando así el intercambio de productos y bienes.

Debido a la importancia de estas estructuras, el colapso o falla de las mismas trae afectaciones vinculadas directamente con la caída de las actividades económicas que rigen el progreso de una nación. Por tanto, su mantenimiento debe ser prioridad para el Estado y así asegurar el desarrollo adecuado de las actividades.

Los puentes pueden fallar por diversas razones, entre las que se incluyen factores estructurales, geomorfológicos e hidráulicos, siendo estas últimas las causas más comunes de colapso. Por ello, es fundamental contar con una herramienta que permita identificar de manera rápida y precisa las posibles afectaciones en los elementos de la estructura. Según Rocha (2013), en un análisis comparativo de varios estudios realizados a lo largo del tiempo, se determinó que más de la mitad de los puentes evaluados fallaron por razones hidráulicas, como se evidencia en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de estudios de fallas en puentes.

Periodo	País	Porcentaje de falla	Razón de falla	Fuente
1994	EEUU	60	Socavación	Shirole y Holt
1989-2000	EEUU	53	Avenidas y Socavación	Wardhana y Hadipriono
1996-1997 2001-2002	Colombia	73	Erosión Fluvial	-

Fuente: modificado de Rocha (2013).

Para ir más al detalle, según un estudio realizado por Shirole y Holt (1991), en 45 estados de los Estados Unidos, se analizaron 823 puentes para conocer la causa de la falla. Los resultados se muestran en la Tabla 2, con la interpretación de los resultados de estudios realizados por los autores, donde se puede notar que el 60 % de los puentes fallan por razones hidráulicas (véase Figura 1).

Tabla 2. Resumen de estudio de falla en puentes.

Encuesta de Fallas de Puentes en EE. UU. (Desde 1950)	
Número de fallas identificadas	823
Número de fallas por tipo de falla:	
Hidráulicas	494
Colisiones	108
Sobrecargas	84
Naturaleza	24
Misceláneos	39
Incendios	24
Deterioro	36
Terremotos	14

Fuente: adaptado de Shirole y Holt (1991).

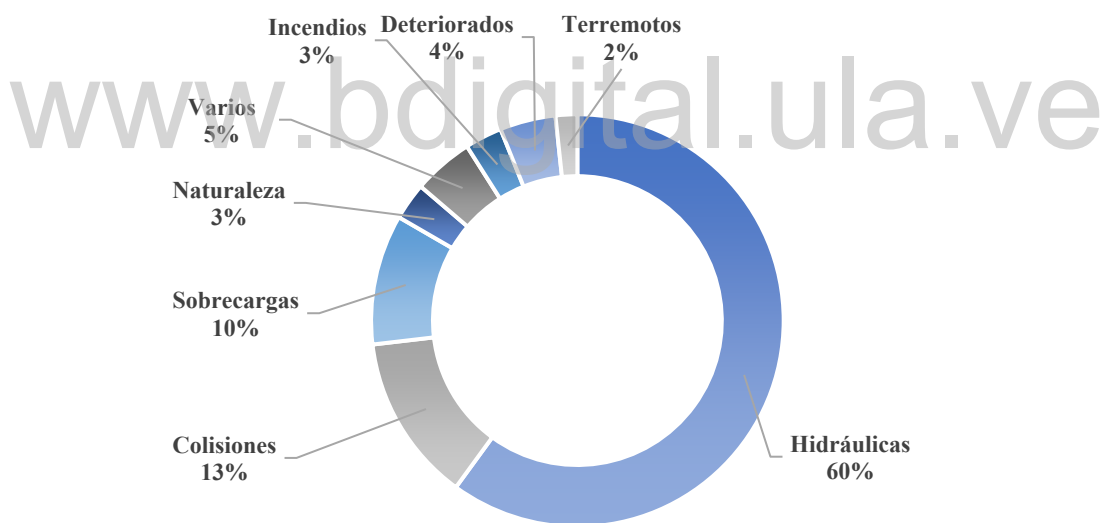


Figura 1. Interpretación de las fallas en los puentes según Shirole y Holt (1991).

Adicionalmente a esto, según Rocha (2013), un estudio realizado a 143 puentes en todo el mundo, donde se analizaron las razones de falla de cada uno de ellos, determinó que, aunque pueden presentarse varias fallas simultáneamente, aquella que es predominante es la razón hidráulica pues altera la interacción estructura-río. Por esta causa falló casi el 50 % de los puentes en estudio, obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 2.

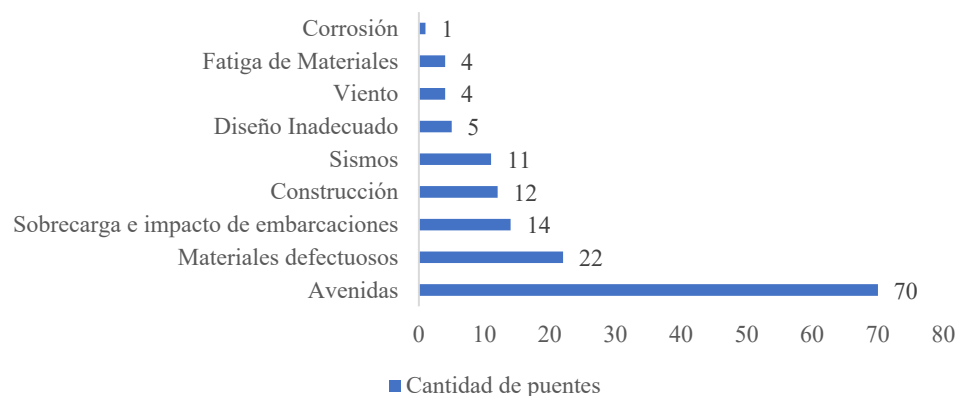


Figura 2. Causas de fallas en 143 puentes analizados a nivel mundial (Rocha, 2013).

La cantidad de puentes a nivel mundial no está documentada de manera concluyente pues hay una cantidad de puentes y pontones de los cuales no se tiene registro, sin embargo, se puede tomar como referencia que, para junio del 2023, Estados Unidos contaba con 621581 puentes (U.S. Department of Transportation, 2024), mientras que otros países como Chile para el 2021 contaba con 6835 puentes, y de acuerdo a estimaciones de la Comisión de Infraestructura Pública del Colegio de Ingenieros de Chile, a ese número se suman alrededor de 500 puentes concesionados (R&Q Ingeniería, 2021).

En el mismo orden de ideas, Venezuela cuenta con una red vial de aproximadamente 160000 km de vías (Jugo B., 2014) donde hay aproximadamente 6125 puentes (Grases, 2006) distribuidos a lo largo del territorio nacional, donde el 66 % de los puentes tienen más de 40 años de construcción que sufren daños, más que por su antigüedad, por su mantenimiento inadecuado o inexistente.

En 2006, se estimaba que la probabilidad de que los puentes en Venezuela presentaran un estado crítico era del 17 % (Torres, Fernando, & Inglessis, S/F). Es razonable suponer que este porcentaje pudo aumentar en los últimos 18 años, si las estructuras no cuentan con planes de mantenimiento adecuados.

Particularmente el estado Mérida, cuenta con aproximadamente 241 puentes (Ministerio Popular de Obras Públicas, 2017), lo que representa un 3,9 % de los puentes del país. Debido a la ubicación geográfica del estado, los puentes son fundamentales para el acceso, es por esta razón que la falla de un puente o pontón representa un riesgo muy elevado para las actividades económicas y sociales de los habitantes del estado Mérida, el colapso de una de estas estructuras puede significar el aislamiento de comunidades y pérdidas económicas a la población local.

Según Jugo B. (2014), en su análisis “¿Cuánto nos cuesta tener malos pavimentos?”, la red vial de Venezuela es fundamental para el desarrollo de las actividades de la vida cotidiana, económicas, sociales y recreativas, y es de gran importancia pues el país no cuenta con un sistema alternativo de transporte para bienes y servicios. En Venezuela, al igual que en el mundo,

la mayoría de las fallas de los puentes ocurre por razones hidráulicas o sobrecargas. Al ser los puentes parte de la red vial mencionada anteriormente, es lógico pensar que cuando alguna de estas estructuras colapsa trae como consecuencia un alto impacto en la economía local y nacional, así como también en la sociedad.

Es por esta razón que los puentes deben ser monitoreados constantemente para prolongar su funcionamiento o prever su falla o colapso, para esto es necesario contar con una metodología que sirva como herramienta y que permita evaluar los daños no solo de la estructura sino también de los elementos adyacentes a la misma.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Establecer una metodología para la evaluación primaria de puentes existentes, basada en criterios hidráulicos, con aplicación a tres casos de estudio en el estado Mérida - Venezuela.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Comparar las metodologías existentes a nivel mundial para la evaluación de puentes.
2. Seleccionar el tipo de puente a ser evaluado.
3. Plantear los parámetros hidráulicos que serán considerados en la evaluación.
4. Aplicar la metodología de evaluación en determinados puentes en el estado Mérida para su estudio y análisis.
5. Validar la efectividad de la metodología de evaluación.
6. Proponer medidas preventivas, correctivas y de mitigación considerando los distintos resultados de la aplicación de la metodología de evaluación.

1.3. Importancia y alcance de la investigación

El desarrollo de una metodología de evaluación de puentes permitiría hacer una clasificación de las estructuras según su estado y condición actual, esta clasificación otorgaría una mayor información para tomar decisiones asertivas y así prolongar la vida útil de los puentes, evitar su colapso y garantizar el funcionamiento y fluidez de las arterias viales del país.

La metodología a proponer para la evaluación de puentes existentes tomará en cuenta sólo parámetros hidráulicos que afecten el puente, no se considerarán en esta ocasión parámetros viales o estructurales.

1.4. Limitaciones de la investigación

Este estudio se limita a los puentes ubicados en el estado Mérida, por lo que no se evaluaron estructuras en otras regiones del país, donde las condiciones hidrológicas e hidráulicas pueden variar. Los parámetros considerados para desarrollar la metodología se restringen a aspectos

hidráulicos y geotécnicos, sin incluir variables de otras ramas de la ingeniería, lo que impide una evaluación más integral del puente desde perspectivas estructurales o geomorfológicas.

Es importante destacar que esta metodología podría no ser aplicable a tipos de puentes diferentes a los analizados en este trabajo, especialmente aquellos que no atraviesan obstáculos como quebradas o ríos. Una de las principales limitaciones de la investigación fue la necesidad de contar con estudios de caso que ya dispusieran de información de diseño o levantamientos topográficos, debido a la dificultad para ubicar esta información y los elevados costos asociados a estas actividades.

Asimismo, existe escasa o nula información histórica sobre los puentes construidos en el estado Mérida. El acceso limitado a datos sobre criterios de diseño, planos de construcción, secciones transversales originales y detalles del proceso constructivo dificultó el desarrollo del estudio.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 2. Marco teórico

2.1. Antecedentes de la temática de estudio

De acuerdo con Arias (2012), los antecedentes se refieren a investigaciones realizadas anteriormente y que guardan alguna vinculación con el proyecto en desarrollo, reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada, que sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones. Basado en lo anterior se encontraron algunos estudios previos que evalúan los puentes desde un punto de vista general, entre los que están:

González y Downing (1991) desarrollaron un método práctico, cuantitativo y cualitativo que permitió evaluar puentes existente y dio como resultado el estado real de los puentes midiendo un índice de vulnerabilidad de las condiciones actuales de servicio en una matriz de clasificación de 3x3 (Tabla 3) que categoriza el estado de los puentes como (I) Buenas Condiciones, sin reparación; (II) Buenas condiciones con daños que deben ser reparados; (III) Daños graves, reparaciones urgentes. El índice de vulnerabilidad (IV) se obtuvo mediante la interpretación del índice de daño (ID) y el índice de severidad (IS) de cada elemento, obteniéndose un par coordenado (ID, IS) pudiéndose expresar de manera porcentual como se muestra en la Tabla 4 característico de cada estructura.

Tabla 3. Clasificación de puentes.

		No es grave	Med. grave	Grave
		A	B	C
Poco	1	I	I	II
Algo	2	I	II	III
Mucho	3	II	III	III

Fuente: González y Downing (1991).

Tabla 4. Tabla de vulnerabilidad de puentes.

Índice de Daños	Índice de Severidad	Índice de Vulnerabilidad posibles (I.V.)	I.V. en %
1	1	(1,1)	10
1	2	(1,2)	20
1	3	(1,3)	30
2	1	(2,1)	40
2	2	(2,2)	50
2	3	(2,3)	60
3	1	(3,1)	70
3	2	(3,2)	80
3	3	(3,3)	90

Fuente: González y Downing (1991).

Una vez analizada cierta cantidad de puentes, este método permitió también jerarquizar las estructuras dentro de cada categoría, lo cual ayudó a desarrollar un plan de inversiones a nivel nacional definiendo los puntos esenciales para una gerencia de mantenimiento de puentes eficiente.

Por otro lado, la Metodología de Inspección de puentes y pontones (Universidad Nacional de Colombia, 2006) es un método que se basó en la inspección visual e inventario de daños que afectan los elementos intervenidos en un puente. Presentó una serie de pasos que describen el procedimiento a seguir para aplicar la metodología, tomando en consideración la información obtenida antes y durante la inspección visual en campo. La información fue recolectada en una serie de tablas, que, junto con las fotografías tomadas en sitio, permitió analizar cada elemento afectado. La metodología ofreció la posibilidad de clasificar los elementos (Tabla 5) y luego vaciar la información de cada elemento en una casilla como la mostrada en la Figura 3.

Tabla 5. Clasificación de elementos y materiales.

Código	Tipo de baranda
01	Mampostería
02	Concreto
03	Metálica
04	Pasamanos metálicos y postes en concreto
00	Otra

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2006).

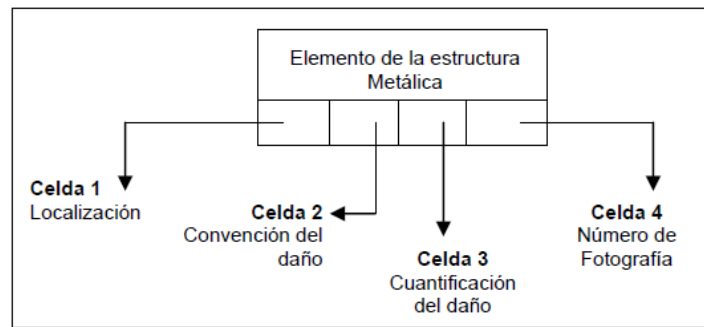


Figura 3. Casilla de vaciado de información (Universidad Nacional de Colombia, 2006).

Por su parte, el Manual de inspección de puentes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones República del Perú, 2006), presentó una metodología más sencilla basada en inspección visual de los elementos de los puentes, haciendo una valoración de estos del 0 al 5 (Tabla 6), que va desde muy bueno a pésimo respectivamente. Planteó varios tipos de inspecciones de forma organizada: inicial, rutinaria, de daños, especial; con el fin de detectar pequeños problemas para evitar que se conviertan en costosas reparaciones. En esta metodología se planteó también la frecuencia de las inspecciones siendo para los puentes en servicio de 1 año y para las cimentaciones de cada tres años.

Tabla 6. Clasificación de condición de los puentes.

Calificación	Descripción de la condición
0	Muy bueno: no se observan problemas.
1	Bueno: hay problemas minore. Algunos elementos muestran deterioro sin importancia.
2	Regular: Los elementos primarios están en buen estado, pero algunos secundarios muestran deterioro, algo de pérdida de sección, grietas, descascaramiento o socavación pérdida de sección avanzada.
3	Malo: La pérdida de sección, deterioro o socavación afectan seriamente a los elementos estructurales primarios. Hay posibilidad de fracturas locales, pueden presentarse rajaduras e el concreto o fatigas en el acero.
4	Muy Malo: Avanzado deterioro de los elementos estructurales primarios. -Grietas de fatiga en acero o grietas de corte en el concreto. - La socavación compromete el apoyo que debe dar la infraestructura.
5	Pésimo: gran deterioro o pérdida de sección presente en elementos estructurales críticos. - Desplazamientos horizontales o verticales afectan la estabilidad de la estructura. - El puente se cierra al tráfico, pero con acciones correctivas se puede reestablecer el tránsito de unidades ligeras.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones República del Perú (2006).

Finalmente, Fonseca (2021) presentó en su trabajo una metodología para la evaluación hidráulica y la priorización de puentes. Esta evaluación se realizó en dos etapas: la primera consiste en una visita al sitio, y la segunda en un análisis en oficina. Durante la visita, se inspeccionaron varios elementos utilizando una planilla diseñada para recopilar la información de manera organizada y sistemática. La inspección se basó en una escala de clasificación del 1 al 4, donde el valor 1 corresponde a "Bueno", 2 a "Regular", 3 a "Malo" y 4 a "Crítico". Cada clasificación se traduce en un valor de riesgo de falla (RP, por sus siglas en inglés) que varía de 0 a 2: una clasificación "Buena" o "Regular" se asigna un RP de 0, "Malo" un RP de 1, y "Crítico" un RP de 2. Una vez evaluados todos los indicadores establecidos por el autor, el resultado final se obtiene sumando los valores de riesgo de falla, según lo indicado en la Tabla 7.

Tabla 7. Evaluación de puentes en términos del riesgo de falla.

Caso	RP	Clasificación	Acción recomendada
1	$0 \leq RP \leq 7$	Buena	Sin factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente.
2	$7 \leq RP \leq 14$	Regular	Hay factores hidráulicos significativos que afectan el puente, pero no hay problemas con el puente.
3	$14 \leq RP \leq 28$	Mala	Factores hidráulicos que afectan el puente. Se deben tomar precauciones y se debe monitorear el puente.
4	$RP > 28$	Crítica	Factores hidráulicos muy importantes que afectan el puente. Se deben tomar medidas urgentes. Se recomienda la visita de un ingeniero hidráulico.

Fuente: Fonseca (2021).

2.2. Antecedentes del área de estudio

La metodología de evaluación será aplicada en los siguientes puentes en servicio para validar su funcionamiento:

2.2.1. Puente Balsa

El puente Balsa es una estructura que está ubicado sobre la vialidad alterna al segundo puente sobre el Río Chama, en el municipio Alberto Adriani, estado Mérida (Figura 4 y Figura 5).

Según Diseño y Construcciones Integrados C.A. (2016), la vialidad cuenta con dos canales por sentido e incluye un puente de 56 m de longitud en cada dirección. Este puente está compuesto por dos tramos sostenidos por vigas ACEROTON 162, apoyadas en una pila central y estribos en los extremos. Además, se contemplan aletas para contener el suelo a los lados de los estribos. La fundación de los estribos y pilas se apoyan en pilotes de 80 cm de diámetro, con una profundidad aproximada de 12 m (Véase Figura 6 y Figura 7).



Figura 4. Ubicación puente Balsa. Fuente propia.



Figura 5. Ubicación en planta del puente Balsa. Adaptado de Google Earth (2024).

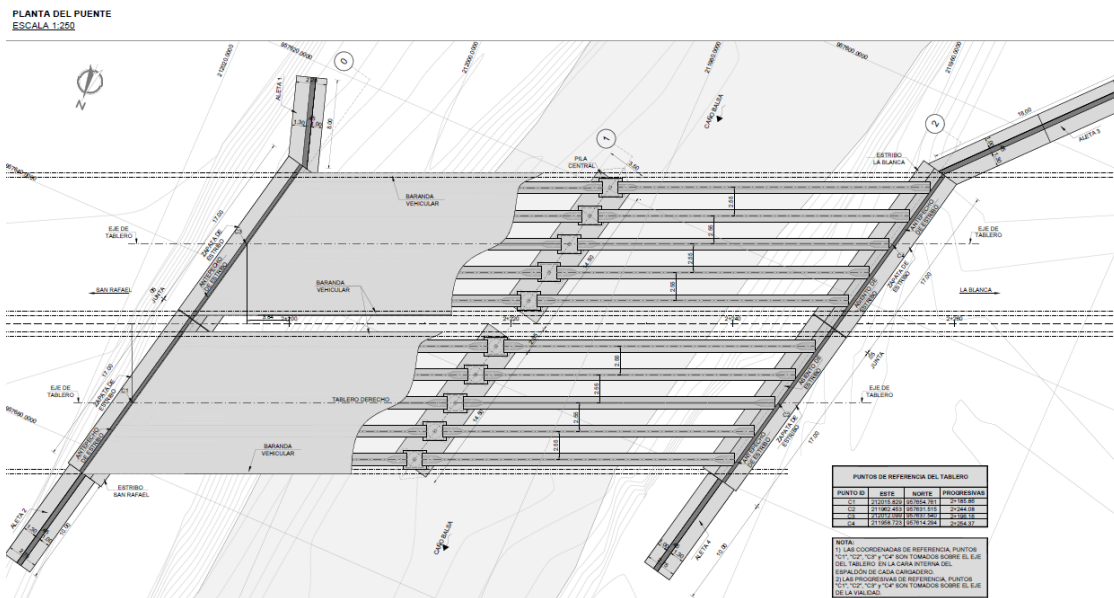


Figura 6. Planta de la estructura, puente Balsa. Propiedad de DCI.C.A. (2016).

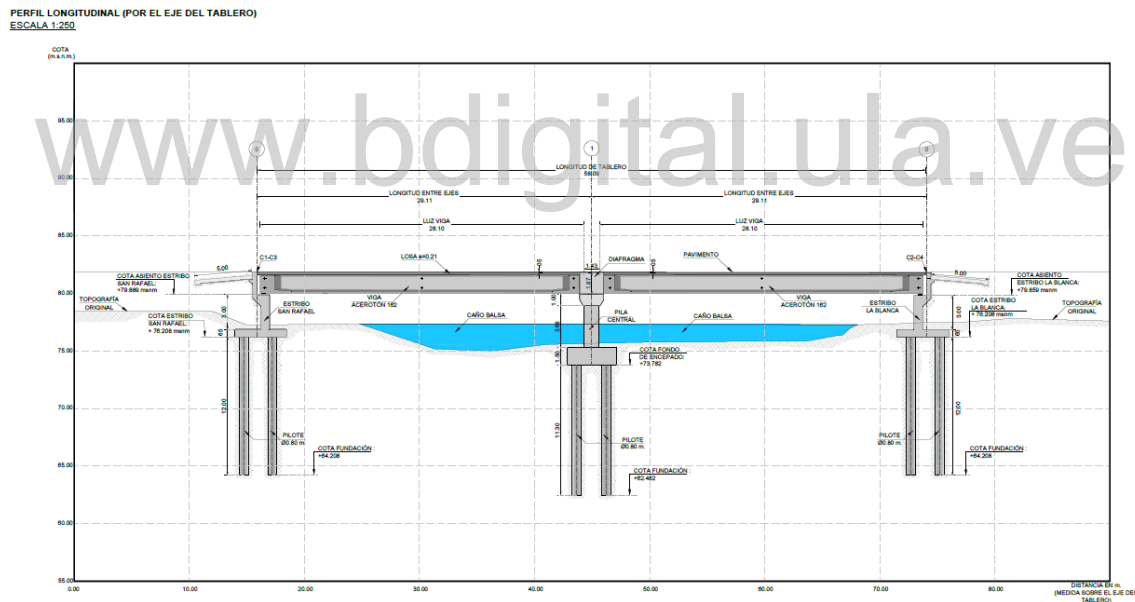


Figura 7. Perfil de la Estructura. Puente Balsa. Propiedad de DCI C.A. (2016).

Según el estudio hidráulico facilitado por la empresa Diseño y Construcciones Integrados C.A. (2016) se utilizaron los criterios de diseño hidráulicos mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8. Resumen de resultados período de retorno de 100 años, Puente Balsa.

	Tr =100 años
Caudal	<i>141,4 m³/s</i>
Tirante de agua	<i>1,0 m</i>
Velocidad	<i>8,9 m/s</i>
Socavación general y transversal	<i>4,6 m</i>
Socavación local en pilas	<i>4,9 m</i>
Tirante de aire	<i>1,5 m</i>

Fuente: Diseño y Construcciones Integrados C.A. (2016).

2.2.2. Puente El Anís – Quebrada San Pablo

El puente El Anís es una estructura ubicada en el municipio Sucre, dentro del eje metropolitano que conecta la población de Los Araques con El Anís, además de unir a Mérida con la Panamericana y el Valle del Mocotíes (Figura 8 y Figura 9).



Figura 8. Ubicación Puente El Anís. Fuente propia.

Según el Ministerio Popular para el Transporte (1978), esta estructura, construida en concreto armado, tiene una longitud total de 40,5 m, distribuida en dos tramos con una pila central. La losa del tablero, también de concreto armado, descansa sobre siete vigas pretensadas de tipo Cagua 140, con una altura de 1,75 m (Véase Figura 10 y Figura 11).

El puente está conformado por dos tramos, cada uno con una luz de 19,95 m, y cuenta con un ancho libre de calzada de 15,05 m, diseñado para dos sentidos de circulación, con dos canales por sentido.

De acuerdo con la información proporcionada por el Ministerio Popular para el Transporte los planos refieren fecha del año 1978.



Figura 9. Ubicación en planta del Puente El Anís. Adaptado de Google Earth (2024).

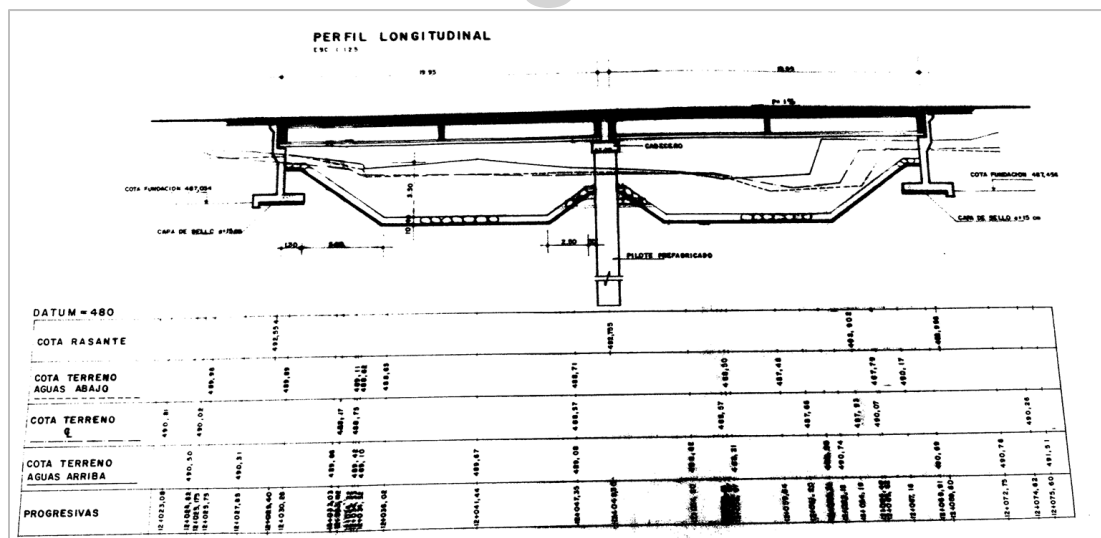


Figura 10. Perfil longitudinal Puente El Anís, propiedad del Ministerio Popular para el Transporte (1978).

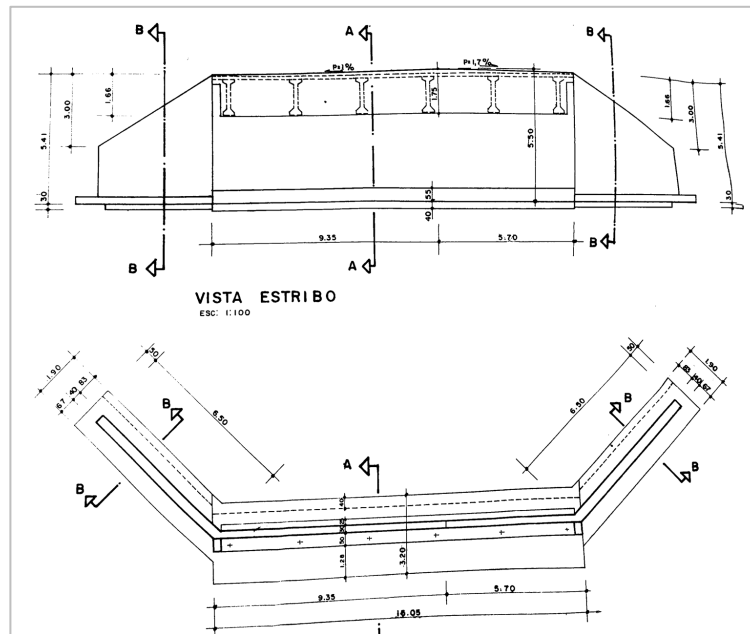


Figura 11. Planta y alzado de Estribos, Puente El Anís, propiedad del Ministerio Popular para el Transporte (1978).

2.2.3. Puente Cruz Verde

El puente Cruz Verde está ubicado en la ciudad de Mérida, en el Municipio Libertador, en la Parroquia El Llano específicamente en el Sector Cruz Verde, en las inmediaciones del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes (Figura 12 y Figura 13).

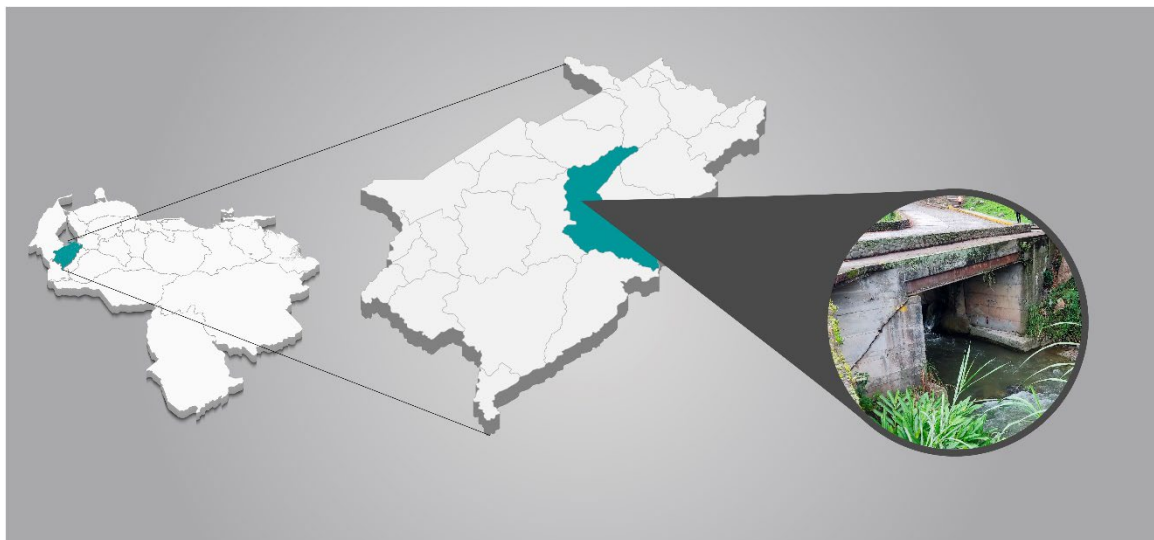


Figura 12. Ubicación Puente Cruz Verde. Fuente propia.

De acuerdo con Moreno y Moreno (2019), se presume que esta estructura fue construida en la década de 1950 y ampliada aproximadamente 30 años después. Es una estructura isostática de un solo tramo, simplemente apoyada. Su luz, en el lado aguas arriba, es de 10 m y de 5 m aguas abajo. El ancho de la calzada es de 11 m, incluyendo la acera, sin divisiones entre los carriles de circulación ni ángulo de esviaje, lo que la convierte en una estructura asimétrica en su totalidad.

La subestructura está compuesta por dos muros de gravedad revestidos de concreto, que actúan como estribos. La superestructura, por su parte, consta de una losa de concreto armado apoyada sobre 14 vigas de acero estructural tipo I, dispuestas paralelamente al eje de la vía.



Figura 13. Ubicación en planta del Puente Cruz Verde. Adaptado de Google Earth (2024).

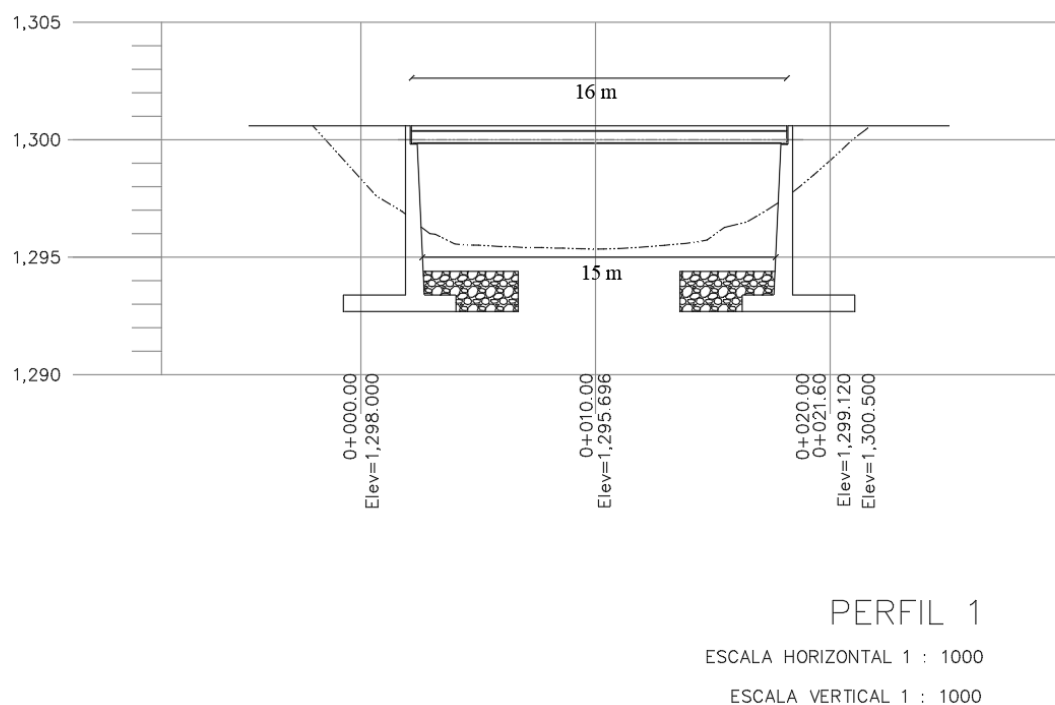


Figura 14. Sección transversal puente Cruz Verde (Moreno & Moreno, 2019).

2.3. Bases teóricas

Toda red vial integrada requiere de estructuras como los puentes para salvar accidentes geográficos, o como es de interés en esta investigación, salvar cursos de aguas como ríos y quebradas. A continuación, se presentan las definiciones de los elementos que conforman los puentes:

2.3.1. Puentes

Los puentes son estructuras cuyos elementos se pueden clasificar en dos grandes grupos: la superestructura y la subestructura.

La superestructura constituye todos aquellos elementos que se encuentran por encima de los soportes como losa de calzada, carpeta de rodadura, tablero, vigas primarias principales, separadores o vigas secundarias (Figura 15); y cuyas cargas intrínsecas (viva, viento, sismo, impacto, frenado, entre otros) y externas son transmitidas a la subestructura. (Tonias & Zhao, 2007).

Por otro lado, y de mayor interés para la presente investigación, la subestructura son todos aquellos elementos que se encargan de soportar la superestructura y que transmiten las cargas al suelo, sus principales elementos son los aparatos de apoyo, estribos, pilas, elementos de cimentación, pedestales, aletas; tal y como se muestra en la Figura 16 (Tonias & Zhao, 2007).

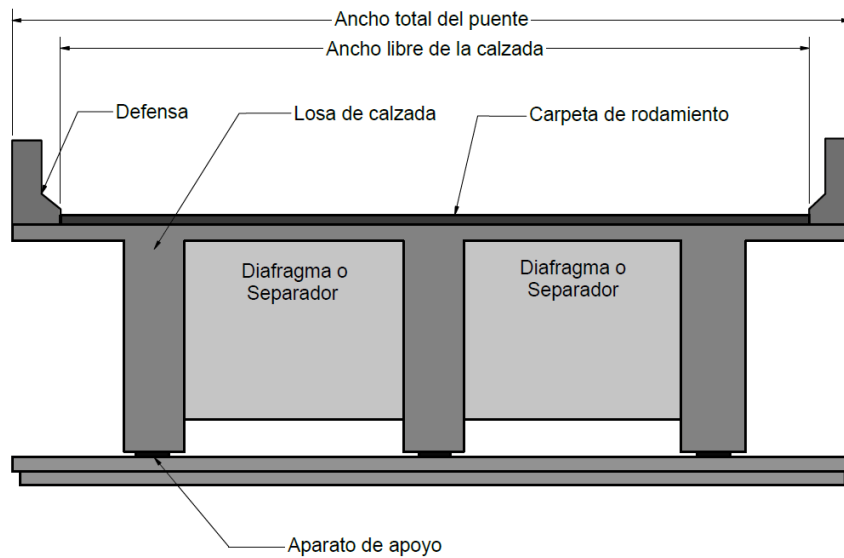


Figura 15. Elementos de la superestructura. Fuente propia.

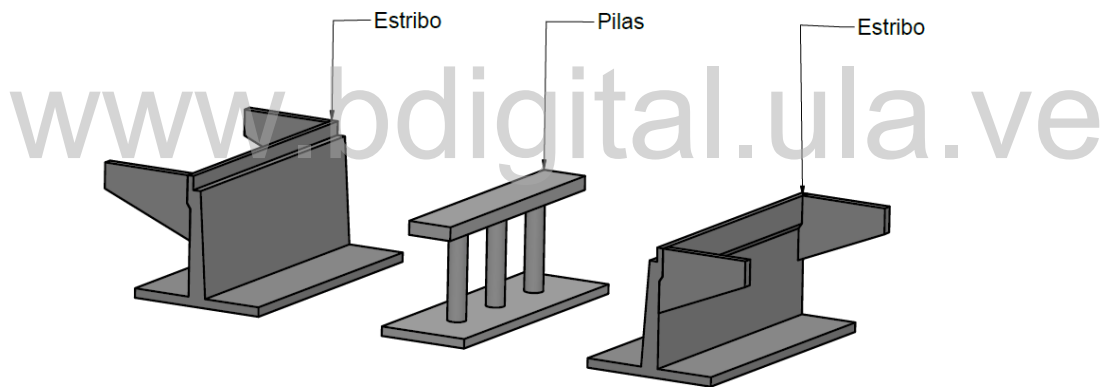


Figura 16. Elementos de la subestructura. Fuente propia.

A pesar de que existen diferentes tipos de puentes, como lo son los puentes en arco, puentes de vigas, puentes de armadura, puentes colgantes, puentes de arcos atados o puentes de suspensión, la subestructura de cada uno está conformada más o menos por los mismos elementos que pueden no estar presentes de forma simultánea, pues va a depender de los requerimientos de cada caso, según Tonias y Zhao (2007), estos elementos son:

- **Estribos:** son elementos que sirven de apoyo a la superestructura por lo que están ubicados al inicio y final del puente y que a su vez funcionan como muros de contención para resistir las fuerzas longitudinales proveniente de la tierra bajo la calzada.

- **Pilas:** son elementos que soportan la superestructura en puntos intermedios entre los estribos, su existencia depende de la luz del puente, y puede tener diferentes formas y configuraciones.
- **Aparatos de apoyo:** son elementos mecánicos que transmiten las cargas verticales y horizontales de la superestructura a la subestructura y acomodan los movimientos entre la superestructura y la subestructura.
- **Pedestales:** es una columna corta ubicada en las pilas o estribos que soportan un elemento primario de la superestructura. Generalmente, los pedestales están contruidos a diferentes alturas para obtener las inclinaciones requeridas de los aparatos de apoyo.
- **Aletas:** son el principal elemento complementario de los estribos, es una pared lateral cuyo objetivo es retener la tierra detrás de los estribos. En muchos casos, las aletas se diseñan de manera conservadora lo que termina resultando como una pared grande en los puentes.
- **Elementos de cimentación:** son los elementos encargados de transmitir las cargas de la superestructura y subestructura al suelo, entre los elementos de cimentación se pueden encontrar las zapatas, pilotes y micropilotes.

2.3.2. Puentes fluviales

Según Rocha (2013), un puente fluvial es una estructura hidráulica pues interactúa con un río y debe ser diseñada de forma tal que la alteración al curso de agua sea la menor posible, se debe tomar en cuenta que el puente debe ser estable y tener permanencia en el tiempo, y por otro lado que el río es un cuerpo dinámico y cambiante que reacciona ante la presencia de la estructura.

Al ser de interés en este trabajo solo los puentes fluviales, pues son quienes intervienen los cursos de agua, es necesario indagar un poco más en el tema. El cauce de un río se refiere a la sección transversal por donde transcurre el caudal, ya sea el caudal base o caudal de crecida en casos de períodos de lluvia.

2.3.3. Tipos de ríos

Según Rocha (2013) los ríos rectos son aquellos cuya sinuosidad es tan pequeña que podría despreciarse, en la naturaleza no es común encontrar ríos rectos o regulares, su presencia es muy rara y en caso de encontrarse es por longitudes generalmente cortas. Es por esta razón que se define otros tipos de morfologías fluviales típicas.

Los ríos trezados, según Martín (2003) son cauces inestables, muy anchos, que están a su vez compuestos por cauces menores que se cruzan o entrelazan entre sí debido principalmente a cambios en la pendiente longitudinal y transversal y cambios bruscos de la carga de sedimentos durante las crecientes. Este tipo de cauces está asociado con el arrastre de una gran cantidad de sedimentos, como arenas, gravas o peñones que actúan como obstáculos que desvían o causan

taponamientos, lo que permite la formación de islas que pueden ser sumergibles cuando varía el caudal que transcurre por él (Figura 17).

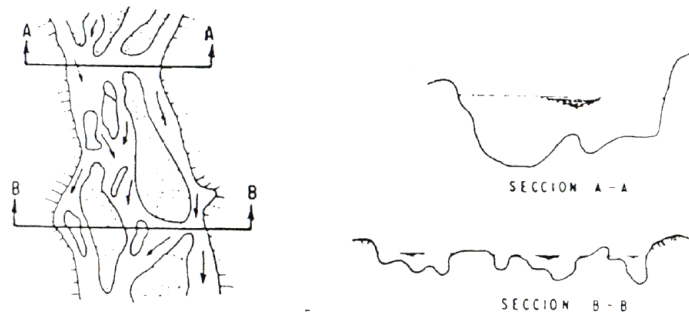


Figura 17. Planta y sección de un cauce trenzado (González & Downing, 1991).

Por otro lado, de acuerdo a Martín (2003) los ríos meándricos son aquellos donde el caudal circula por un cauce único cuya trayectoria no es recta sino en forma de curvas; estas ondulaciones se generan debido a las imperfecciones presentadas en los cauces rectos, como hemos dicho anteriormente los cauces rectos no son tan comunes y al presentar la más mínima imperfección (ya sea en la superficie del cauce o por la acción de un agente externo que interrumpa el libre flujo), la naturaleza del río es la de crear meandros (véase Figura 18). Los meandros tienen la característica que su sección transversal no es simétrica, es decir, la profundidad del cauce es mayor en la orilla externa en comparación con la orilla interna. Los meandros son una morfología dinámica pues su sección transversal no es estática, sino que va evolucionando en dos movimientos: desplazamiento en dirección aguas abajo y profundización de las orillas. Los meandros pueden ser regulares, irregulares, simples o compuestos y el punto final es su estrangulamiento, es decir, el punto de encuentro en el “cuello” dejando lóbulos abandonados (véase Figura 19 y Figura 20). El lecho de los ríos meandriiformes está compuesto por material más fino como material coloidal, grava, arena y rocas pequeñas.

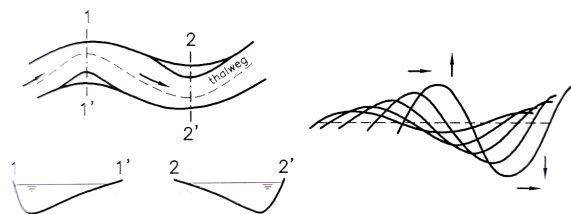


Figura 18. Planta, sección y evolución de un cauce meándrico (Martín, 2003).



Figura 19. Meandros (de izquierda a derecha) regulares, irregulares, simples y compuestos. (Martín, 2003).

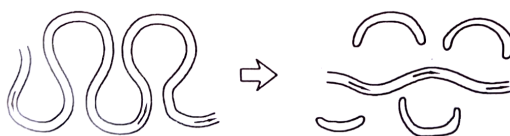


Figura 20. Corte natural de meandros y lóbulos abandonados (Martín, 2003).

Por su parte, Leopold, Wolman y Miller (1964) establecen que los cauces sinuosos son ríos meándricos cuyo nivel de curvatura es menos acentuado y suavizado, es decir, las curvas que presentan son menos drásticas que aquellas en los ríos meándricos. Sin embargo, aunque los ríos sinuosos son más curvos que los rectos, no llegan a formar meandros completos.

Finalmente, según Martín (2003) un río puede presentar varias formas simultáneamente a lo largo de su trayectoria, mostrándose aquellos patrones trenzados en los tramos más altos o de mayor pendiente, y luego pasa a ser sinuoso o meandriforme aguas abajo a medida que la pendiente va disminuyendo.

2.3.4. Socavación

En la naturaleza, los ríos tienden a buscar su estabilidad modificando sus grados de libertad, algunos autores definen los grados de libertad como la capacidad del río de modificar sus dimensiones: ancho, profundidad, y pendiente (algunos autores consideran un cuarto grado de libertad la capacidad del río de formar meandros). Cuando un río no es estable tiende a modificar sus dimensiones y la forma más común de hacerlo es mediante la socavación.

La socavación, según Flores y Aguirre (2006), puede definirse como la disminución del nivel del lecho de un río, originada por el incremento de su capacidad de arrastre de sedimentos en el lugar en el que se implanta un puente es la causa hidráulica más frecuente de fallo. Sin embargo, muchas veces la socavación puede pasar desapercibida pues es un fenómeno que ocurre bajo el agua y muchas veces se identifica cuando el problema ya es irreversible (Martín, 2003).

Las principales causas de la socavación son las siguientes:

- Aumento del caudal
- Interrupción del transporte sólido
- Estrechamiento del cauce
- Flujo en curva
- Confluencia fluvial
- Pilas y estribos
- Otros

Según Flores y Aguirre (2006), en general se presentan cinco tipos de socavación, pero para propósitos particulares se definirán los siguientes tipos de socavación:

- Socavación general del cauce: este tipo de socavación se produce al ocurrir una avenida y es independiente de la presencia de los elementos de un puente. Es la disminución del nivel del lecho del río, ocurre durante una avenida y a lo largo de todo el cauce, el descenso del nivel del fondo se da por el aumento de la capacidad de arrastre al aumentar el caudal. Al finalizar la avenida, el caudal disminuye, reduciendo la capacidad de arrastre y el fondo del río generalmente vuelve al nivel original.
- Socavación transversal en la sección bajo el puente: este tipo de socavación ocurre debido a la disminución del área efectiva de la sección transversal del cauce por la presencia de pilas y estribos, lo que genera un aumento de velocidad del flujo.
- Socavación local al pie de pilas y estribos: son obstáculos que provocan la desviación de las líneas de flujo, generando vórtices de alta velocidad alrededor de la pila o estribo y provocando erosión en la parte frontal del obstáculo.
- Socavación en el lado exterior de las curvas: Particularmente para esta investigación, es importante considerar este tipo de socavación solo si el puente coincide con una trayectoria curva del cauce. En el lado exterior de los meandros.

2.3.5. Estabilidad de cauces

Un río es un sistema dinámico que modifica sus dimensiones para encontrar el equilibrio, para esto el río tiene 3 grados de libertad, que son la modificación de 3 características principales: ancho, profundidad, pendiente y según algunos autores un cuarto grado de libertad que es la capacidad de formar meandros.

Según Camacho (2005) la estabilidad puede ser observada en campo, mediante la observación de los siguientes parámetros:

- Estabilidad General: se refiere a la presencia de parámetros observados en campo que permite hacer un análisis global de la estabilidad basadas en las características del río (ver Tabla 9).

Tabla 9. Respuesta de los cauces a cambios producidos en la cuenca y condiciones del río.

Parámetro observado	Estable	Inestable
Abanico de deyección aguas arriba		x
Abanico de deyección aguas abajo		x
Presas y reservorios aguas arriba		x
Presas y reservorios aguas abajo		x
Derivaciones Aguas sin sedimentos		x
Derivaciones Agua con sedimentos		x
Rectificación del cauce		x
Periodos secos	x	
Periodos húmedos		x

Fuente: Adaptado de Camacho (2005).

- Estabilidad lateral: la inestabilidad lateral puede evaluarse en el campo mediante una observación detallada de las condiciones del puente y sus alrededores. Es crucial verificar la presencia de erosión en las márgenes, ya que esto puede generar socavación bajo las pilas y estribos. Asimismo, si ocurre un deslizamiento rotacional en las márgenes, podría provocar la ruptura de pilas o estribos debido a la presión lateral, así como el desplazamiento de la fundación de las pilas. Es necesario analizar la migración de los meandros aguas arriba del puente, ya que estos cambios pueden modificar el ángulo de dirección del flujo, afectando el comportamiento diseñado del puente. Además, la formación de una barra de punta en la parte interna del meandro puede provocar la contracción del flujo, lo que aumentaría su velocidad.
- Estabilidad Vertical: la inestabilidad vertical puede evaluarse mediante la observación de erosión o agradación del cauce. La erosión del cauce a nivel de estribos y fundaciones es la principal característica de la inestabilidad vertical dejando expuesta las fundaciones y poniendo en riesgo la estabilidad del puente. Por otro lado, también puede presentarse agradación en el cauce, lo que trae como consecuencia la incrementa la altura del nivel de aguas produciendo inundaciones de la planicie de inundación aguas arriba del puente y pudiendo inundar el tablero, produciendo interrupciones en el tránsito o erosión en los accesos del puente. Es importante señalar que, en la naturaleza, los casos de erosión son más frecuentes que los de agradación.

2.3.6. Tipo de evaluación de puentes

Por otro lado, una vez que un puente ya está en servicio es importante hacer una evaluación periódica de su funcionamiento, es por esto que se desea desarrollar una metodología de evaluación, para esto es importante saber que existen diferentes métodos de evaluación. Según Questionpro (2024) existen varios métodos de evaluación como: verificación de comportamiento, gestión de objetivos, escala de calificaciones, prueba de rendimiento, entre otros. Sin embargo, para los propósitos del presente se explicará el método de evaluación de escala de calificaciones.

Una evaluación basada en escala de calificaciones se fundamenta en un conjunto de criterios previamente establecidos y que son evaluados mediante una escala. La siguiente pregunta sería entonces ¿cómo se establece una escala?, según León y Entralgo (2023) en estadística se pueden diferenciar cuatro tipos de escalas de medición: nominal, ordinal, de intervalo y de razón.

La escala nominal está asociada con variables cualitativas, se utiliza para etiquetar variables de naturaleza descriptiva sin ningún valor cuantitativo, son mutuamente excluyentes y ninguna tiene significado numérico, las variables no tienen orden ni jerarquía asociada a ellas. Por ejemplo, estado civil, sexo.

La escala ordinal utiliza variables que tienen un orden de ocurrencia natural presente en ellas, pero no se conoce la diferencia entre ellas, son variables cuyo valor de la diferencia entre dos de ellas no se puede calcular. Por ejemplo, primaria, secundaria, universitario.

En la escala de intervalo se definen atributos de manera cuantitativa, los valores de la variable son números que tienen un orden y se conoce la diferencia exacta entre los valores. También permite operaciones de igualdad, distancia, de análisis estadístico como media, mediana y moda, desviación estándar, entre otros. El cero no significa ausencia de la característica. Por ejemplo, temperatura, altitud.

Finalmente, en la escala de razón los valores son números a los que se le puede aplicar cualquier numeración aritmética. En este tipo de escala se tiene una clara definición del cero. Por ejemplo, peso, altura, edad, tiempo.

2.3.7. Mantenimiento de puentes

Según Torres, Sarmiento, e Inglessis (2008) el mantenimiento de puentes es una actividad esencial para mantener el funcionamiento adecuado de la red vial del país. Dependiendo de las condiciones de la estructura se aplican diferentes tipos de mantenimiento:

Mantenimiento preventivo, también conocido como mantenimiento rutinario, y es el mantenimiento que corresponde a aquellos puentes en buen estado, se refiere al conjunto de actividades que se ejecutan en el puente para evitar el deterioro prematuro del puente. Son actividades que van desde limpiezas, inspecciones periódicas, mantenimiento de juntas y lubricación de elementos de componentes móviles. Entre las actividades más comunes para mantenimiento preventivo se tienen:

- Señalización, pintura, alumbrado.
- Limpieza general de drenes, cabeceros, vigas, apoyos.
- Limpieza y rehabilitación de terraplenes de acceso, incluida su protección o enrocamiento.
- Limpieza y rehabilitación del cauce.
- Repavimentación del puente con remoción de la carpeta asfáltica existente.
- Protecciones contra socavación.
- Reparación de barandas afectadas por impactos.
- Rehabilitación de juntas de dilatación.

Mantenimiento correctivo, se refiere a las reparaciones necesarias cuando son detectadas fallas o deterioros en la estructura, su objetivo es recuperar el nivel de servicio a uno similar al de su condición original. Son actividades más costosas que pueden involucrar actividades como sustitución de elementos deteriorados, inyección de grietas, rehabilitación de elementos estructurales, entre otros. Entre las actividades más comunes para mantenimiento correctivo se tienen:

- Cambio del sistema de juntas de dilatación.
- Cambio de apoyos.
- Rehabilitación del concreto degradado.
- Inyección de grietas en subestructura y superestructura.

- Rehabilitación de armaduras de refuerzo expuestas.
- Protección contra la socavación, recalzado de fundaciones socavadas.
- Construcción de losas de acceso.
- Rehabilitación de elementos estructurales de acero corroídos.
- Mejoras del sistema de drenaje del tablero.
- Rehabilitación de conexiones, reposición de pernos en juntas de armaduras metálicas, reposición de elementos estructurales.

Mantenimiento de emergencia, también conocido como reforzamientos, son todas aquellas actividades que se realizan para evitar el colapso del puente, y corresponde a estructuras que presentan daños graves que deben ser reparados con carácter de urgencia para evitar un colapso o cerrar el puente de ser necesario. Entre las actividades de mantenimiento de emergencia se pueden mencionar actividades como:

- Reforzamiento pasivo de vigas (refuerzo con placas adosadas o fibras de carbono).
- Reforzamiento activo de vigas (presfuerzo).
- Refuerzo de pilas mediante encamisado o muros de relleno.
- Rehabilitación de la subestructura afectada por las crecidas extraordinarias.

Es importante resaltar que siempre se debe contar con un plan de vía alterna para desviar el tránsito de forma segura y realizar el tipo de mantenimientos que corresponda sin alterar el funcionamiento normal de la vía.

2.4. Definición de términos

- Zapatas: son aquellos elementos que transmiten la carga de la subestructura directamente al suelo.
- Pilotes: cuando el suelo que soporta la subestructura no cumple con las condiciones requeridas en términos de capacidad del suelo. Estabilidad o asentamiento, el soporte se obtiene a través de pilotes, que se extienden desde el cabezal hasta el suelo estable o roca. Pueden ser de concreto que son fabricados en sitio, prefabricados, o perfiles H de acero.
- Micropilotes: es el conjunto de pilotes de menor diámetro bajo el mismo cabezal.
- Gálibo: es el espacio libre entre la cota inferior del tablero hasta la superficie del agua, esta holgura de espacio que permite no solo el paso del agua, sino que también toma en cuenta el paso de objetos flotantes en caso de una avenida, oleaje, navegación según sea el caso.
- Riprap: se define como la mezcla de rocas con una granulometría específica, que se utiliza para revestir las márgenes y contornos del cauce, modificando de esta forma el ángulo de incidencia del caudal en la estructura. El material, que también puede ser concreto roto u otro material, es colocado a mano sobre el área de interés para protegerla contra la erosión de las aguas en movimiento.

Capítulo 3. Materiales y métodos

De acuerdo con Hernandez, Fernández, y Baptista (2014) la investigación es un conjunto de procesos sistemáticos que se aplican al estudio de un problema. Es crucial explicar cómo se llevará a cabo la investigación es por esto que se deben definir las características y aspectos de la investigación, por lo que se presentan a continuación:

3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la presente investigación puede ser considerado como una investigación mixta, es decir, una combinación del enfoque cuantitativo y el cualitativo, aunque es importante destacar, que la inclinación tiende a ser mayor hacia el enfoque cuantitativo.

Según Hernandez, Fernández, y Baptista (2014) el enfoque cuantitativo es un conjunto de procesos secuencial y probatorio, cuyo orden es riguroso, sin embargo, existe la posibilidad de la redefinición de fases. El proceso cuantitativo, en términos generales sigue las fases presentadas en la Figura 21.



Figura 21. Proceso cuantitativo (Hernandez, Fernández, & Baptista, 2014).

Una investigación cuantitativa refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos que se representan mediante números los que son posteriormente analizados para realizar el reporte de resultados. En la investigación se pretende analizar cada uno de los elementos susceptibles del puente y evaluarlos de forma numérica según el grado de deterioro.

Por otro lado, una de las metas finales de esta investigación es la clasificación de los puentes existentes según su condición actual. Es por esta razón que la investigación también presenta

características de una investigación cualitativa. Según Hernández, Fernández, y Baptista (2014) una investigación cualitativa es un conjunto de procesos que se enfoca en recolección de datos como observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, entre otros; donde se evalúa el desarrollo natural de los sucesos y se realiza en el lugar donde se desarrollan los eventos de interés. Es una acción indagatoria que se mueve de manera dinámica entre ambos sentidos entre los hechos y la interpretación, como se muestra en la Figura 22.

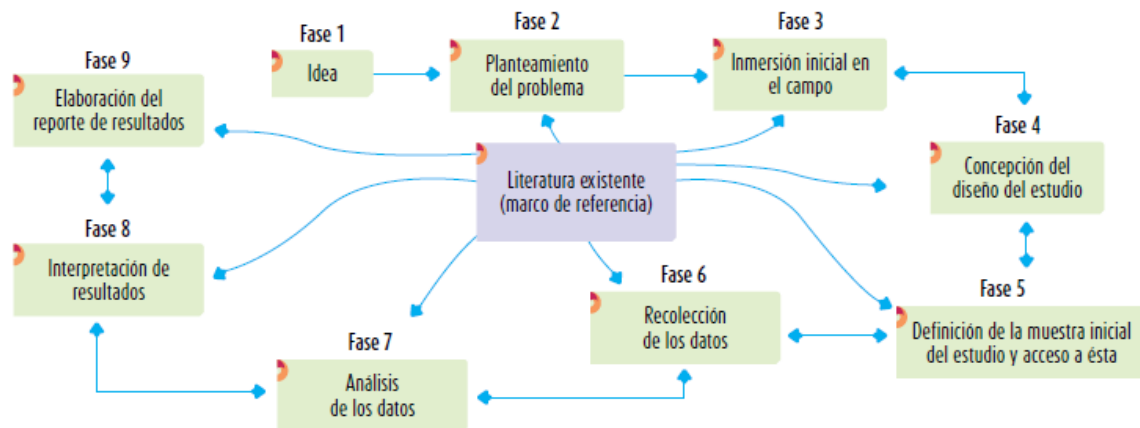


Figura 22. Proceso cualitativo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Es importante destacar que, en la presente investigación, al evaluar los puentes, las variables no se definen con el objetivo de manipularlas experimentalmente, solamente se analiza el desarrollo natural de su condición para evaluarlas y posteriormente clasificarlas.

3.2. Tipo de investigación

Debido a la naturaleza del trabajo de grado, la investigación puede ser clasificada como una investigación de campo y como un proyecto factible.

Según la Universidad Pedagógica Experimental Libertador UPEL (2014) una investigación de campo es un análisis sistemático de problemas en la realidad, donde son descritos e interpretados para entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos y más importantes para este trabajo de grado, es predecir su origen y ocurrencia. Los datos de interés pueden ser primarios, pues se recolectarán datos directamente en campo, así como también datos secundarios, pues se hará uso de datos e información obtenida de los entes competentes. Una investigación de campo es exploratoria, descriptiva, interpretativa, reflexivo-crítico, explicativo y evaluativo.

Por otro lado, también puede ser clasificadas con un proyecto factible pues de acuerdo a manual de la UPEL (2014) permite la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales. Permite la formulación de políticas, programas, tecnologías,

métodos o procesos para la solución de problemas. Un proyecto factible debe apoyarse de una investigación tipo documental, de campo o mixto; apoyándose en este caso en una investigación de campo como fue mencionado anteriormente.

Las etapas generales de un proyecto factible son las siguientes:

1. Diagnóstico.
2. Planteamiento y fundamentación teórica de la propuesta.
3. Procedimiento metodológico.
4. Actividades y recursos necesarios para su ejecución.
5. Análisis y conclusiones sobre la viabilidad y realización del proyecto.
6. En caso de desarrollo del proyecto: ejecución de la propuesta y evaluación del proceso y resultados.

3.3. Población y muestra

De acuerdo con Arias (2012) y Hernández, Fernández, y Baptista (2014) la población se refiere al conjunto finito o infinito de elementos que concuerdan con una serie de especificaciones, dicha población está delimitada por el problema y los objetivos de estudio. En este caso en particular, la población está conformada por todos aquellos puentes fluviales y que son susceptibles a fallar por razones hidráulicas.

Asimismo, según Arias (2012) y Hernández, Fernández, y Baptista (2014) la muestra es un subgrupo representativo y finito de la población sobre la cual se recolectarán datos, la muestra debe ser definida y delimitada de antemano con precisión. Para el proyecto en estudio la muestra está constituida por 3 puentes ubicados en los municipios Alberto Adriani, Sucre y Libertador del estado Mérida, Venezuela.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para recopilar datos, la técnica se basa principalmente en la observación directa en el campo de los elementos del puente y su entorno. Este proceso se realizó de acuerdo con criterios hidráulicos y se registra la información en las planillas mostradas en la Figura 23, Figura 24 y Figura 25 (Ver Anexo 1 para impresión de planillas).

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Recolección de datos

Identificación de la estructura

Nombre del puente:		Nombre del inspector:
Ubicación:		
Nombre del río:		
Tipo de puente:	Año de construcción: Longitud:	
Vigas ☐ Alirantado ☐ Volados sucesivos ☐ Armadura ☐ Otros ☐		Fecha de inspección: / /

1. Geometría de la estructura

Esquema guía 	Croquis del puente Pila 1 Pila 2 Pila 3 Pila 4	Geometría de la sección transversal <table border="1"> <tr><td>B (m)</td><td></td></tr> <tr><td>Yn (m)</td><td></td></tr> <tr><td>s (%)</td><td></td></tr> <tr><td>Gálibo (m)</td><td></td></tr> </table>	B (m)		Yn (m)		s (%)		Gálibo (m)	
B (m)										
Yn (m)										
s (%)										
Gálibo (m)										
Dimensiones de las pilas N° pilas: Ancho (m) Largo (m) 										

2. Subestructura

	Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad alta		
	0	1	2	3	4
Estribo izquierdo	¿En contacto con agua?		Deterioro		
	Sí ☐ No ☐		☐ ☐ ☐ ☐ ☐		
	Material		Grietas		
	☐ Concreto ☐ Madera ☐ Metal ☐ Otro		Sí ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ No ☐		
Estribo derecho	¿En contacto con agua?		Deterioro		
	Sí ☐ No ☐		☐ ☐ ☐ ☐ ☐		
	Material		Grietas		
	☐ Concreto ☐ Madera ☐ Metal ☐ Otro		Sí ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ No ☐		

Observaciones

Ing. Dávila Carrasco, L. 2024

1 / 3

Figura 23. Planilla de recolección de datos (1/3). Fuente propia.

Evaluación primaria de daños
de origen hidráulico en puentes

Recolección de datos

Forma

☐Circular☐Lenticular☐Elíptica☐Oval☐Rectangular☐Otra

Factor de alargamiento

☐L/b < 1☐1 < L/b < 2☐2 < L/b < 3☐L/b > 3

Material

☐Concreto☐Madera☐Metal☐Otro

Deterioro

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

Grietas

Si

No

01234

☐☐☐☐☐

Pila 1

¿En contacto con agua?

Si

No

01234

☐☐☐☐☐

Material

☐Concreto☐Madera☐Metal☐Otro

Grietas

Si

No

01234

☐☐☐☐☐

Pila 2

Fundaciones

Fundación de estribos:

Superficial

Profunda

☐☐

Fundación de pilas:

Superficial

Profunda

☐☐

Aletas

¿En contacto con agua?

Si

No

01234

☐☐☐☐☐

Material

☐Concreto☐Madera☐Metal☐Otro

Grietas

Si

No

01234

☐☐☐☐☐

2. Superestructura

Deformaciones del pavimento

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

Deformaciones en tablero/armadura

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

Terraplenes de acceso

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

3. Socavación

Socavación local en estribos

Cutribos izquierdo

Cutribos derecho

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

Socavación local en pilas

Pila 1

Pila 2

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

Socavación en curvas

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

4. Agradación

Agradación

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

5. Estabilidad del cauce

Estabilidad general

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

Estabilidad lateral

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

Estabilidad vertical

Sin vulnerabilidad

Vulnerabilidad alta

01234

☐☐☐☐☐

Observaciones

Figura 24. Planilla de recolección de datos (2/3). Fuente propia.

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Recolección de datos

Alteraciones del cauce por socavación o agradación

Razones humanas

☐ Modificación del cauce
☐ Canalización
☐ Dragado

☐ Cortes de meandros
☐ Extracción de grava y arena
☐ Desviación del caudal
☐ Uso de la tierra _____

Razones naturales

☐ Cortes naturales de meandros
☐ Actividad sísmica
☐ Cambios climáticos

6. Entorno

Características del río

Forma natural

☐ Recto
☐ Sinuoso
☐ Meandrado
☐ Trenzado
☐ Mixto

Ángulo de incidencia

☐ 0°<θ<15°
☐ 15°<θ<30°
☐ 30°<θ<45°
☐ θ>45°

Material disponible para transporte

Sí ☐ No ☐

Sin vulnerabilidad
0 1 2 3 4
☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Vulnerabilidad alta

Medidas de protección

Sí ☐ No ☐

0 1 2 3 4
☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Caract. cuenca aportante

Tamaño

☐ <500 lla
☐ >500 lla

Topografía

☐ Accidentada
☐ Medio
☐ Llana

Forma

☐ Ningada
☐ Redondeada

Grado de deforestación

☐ Alto
☐ Moderado
☐ Medio
☐ Poco

Contornos

Material d₅₀ del lecho

☐ Pefosos o canto rodado
☐ Gravas
☐ Arenas
☐ Limos
☐ Arcillas

Material d₅₀ de las márgenes

☐ Pefosos o canto rodado
☐ Gravas
☐ Arenas
☐ Limos
☐ Arcillas

Cobertura vegetal en el cauce

Sí ☐ No ☐

Sin vulnerabilidad
0 1 2 3 4
☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Vulnerabilidad alta

Cobertura vegetal en los márgenes

Sí ☐ No ☐

0 1 2 3 4
☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Entrevista a habitantes

Apuntar experiencia + nombre y tiempo en la zona

Puntos de fotografías

Observaciones

Ing. Dávila Carrasco, L. 2024

3 / 3

Figura 25. Planilla de recolección de datos (3/3). Fuente propia.

32

C.C. RECONOCIMIENTO NO COMPARTIR

Una vez recopilada la información, se vacía la data en la hoja de cálculo (véase Figura 26, para visualizar todo el conjunto véase el Anexo 2) que va permitir obtener el resultado del estado actual del puente evaluado. Las técnicas e instrumentos descritas en esta fase son válidas únicamente al momento de aplicar la metodología creada.

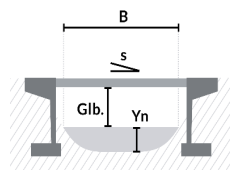
Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes			
Nombre del puente		Año de construcción	
Ubicación		Longitud	
Nombre del río		Fecha de inspección	
Tipo de puente		Nombre del inspector	

Tipo de Puente	
----------------	--

[Ir al índice](#)

Geometría de la sección transversal	
B (m)	
Yn (m)	
s (%)	
Tipo de río	Llanura
Gálibo (m)	

Dimensiones de las pilas			
	Pila 1		Pila 2
Ancho (m)		Ancho (m)	
Largo (m)		Largo (m)	

Esquema sección transversal

Fig. 2. Esquema de sección transversal

Croquis de la estructura

Fotografías	

Figura 26. Muestra de hoja de cálculo para recolección de datos base. Fuente propia.

Por otro lado, el proceso de desarrollo de la metodología de evaluación de puentes puede explicarse con el diagrama presentado en la Figura 27, donde se observa que la metodología fue creada mediante un proceso creativo donde se definen las categorías, elementos y variables; los cuales son ponderados para obtener el resultado final de evaluación.

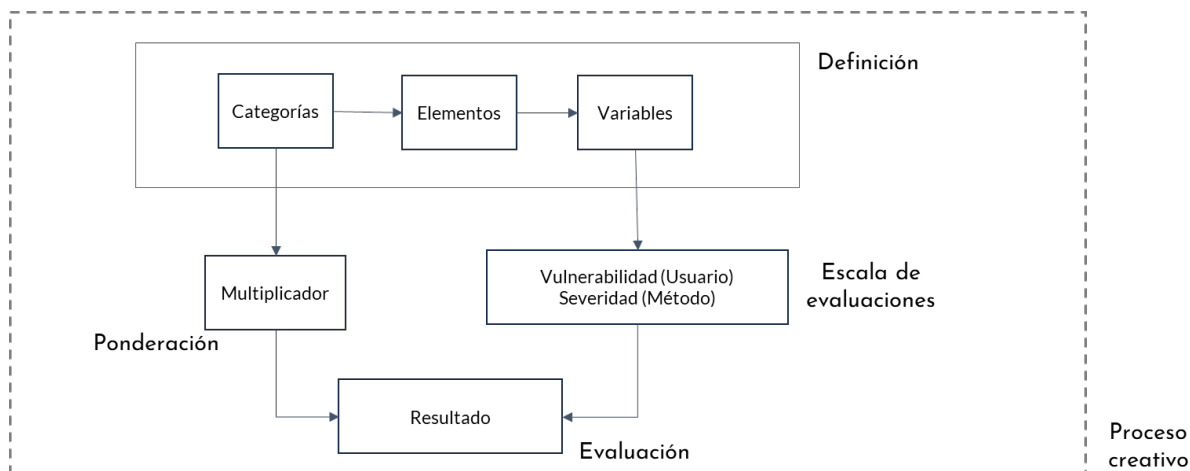


Figura 27. Proceso creativo para el desarrollo de la metodología. Fuente propia.

La metodología es una herramienta cualitativa – cuantitativa que permite evaluar cada variable de los elementos del puente de manera ordenada mediante el uso de una escala de vulnerabilidad que se pondera con una escala de severidad.

La escala de evaluación de vulnerabilidad (Tabla 10) es aquella que se completa *in situ* por el usuario de la metodología, mediante la inspección visual de cada variable para reflejar la condición actual de cada una de ellas. Se recomienda que el usuario sea un profesional del área, preferiblemente con experiencia.

Tabla 10. Escalas de evaluación de la vulnerabilidad de las variables de un puente.

Escala de evaluación de vulnerabilidad				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

Fuente propia.

Por otro lado, la escala de vulnerabilidad es ponderada mediante el grado de severidad (Tabla 11), que se encarga de asignar diferentes pesos a cada valor del conjunto de variables de los elementos para reflejar su importancia relativa. Este parámetro es asignado en la metodología por lo que no debe ser modificada por el usuario.

Tabla 11. Grado de severidad de las variables de un puente.

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

Fuente propia.

Esta evaluación se aplica para cada uno de los puentes obteniendo así los siguientes índices:

- Índice de vulnerabilidad estructural (I_E): es el resultado parcial de la evaluación de las variables relacionadas con la subestructura y la superestructura. Se refiere a elementos como estribos, pilas, fundaciones y aletas con respecto a la subestructura, y deformaciones en el pavimento, deformaciones en el tablero/armadura y en los terraplenes de acceso con respecto a la superestructura.
- Índice de vulnerabilidad de socavación (I_S): es el resultado de la evaluación de los diferentes tipos de socavación que pueden afectar al puente y que pueden ser diagnosticados mediante inspección visual. Entre estos tipos se incluyen la socavación en estribos, la socavación en pilas y la socavación en curvas.
- Índice de vulnerabilidad de agradación (I_A): se refiere a la evaluación del ascenso de la cota del lecho del río. Es importante señalar que el índice de vulnerabilidad de socavación (I_S) y el índice de vulnerabilidad de agradación (I_A) son mutuamente excluyentes.
- Índice de vulnerabilidad de estabilidad (I_{Es}): se refiere al resultado de analizar la estabilidad del cauce en campo, la estabilidad de un cauce puede ser determinada analizando la estabilidad general, estabilidad lateral y estabilidad vertical.
- Índice de vulnerabilidad del entorno (I_{En}): es el resultado de analizar los parámetros del entorno que afectan a la estructura, entre los parámetros tenemos: formas del río, ángulo de esviaje, material disponible para transporte, medidas de protección, características de la cuenca como tamaño, forma, topografía y uso de la tierra; material y cobertura vegetal de márgenes y lecho el cauce.

El resultado final va a estar dado por la sumatoria de los índices que son corregidos por un multiplicador que permite reflejar la importancia de cada elemento.

$$I_{VP} = x \cdot I_E + 2x \cdot I_S + 2x \cdot I_A + 0,5x \cdot I_{Es} + 0,75 \cdot x \cdot I_{En} \quad (\text{Ec. 1})$$

Para garantizar que resultado tenga como límite máximo 100, el valor del multiplicador x debe ser igual a 0,23269.

En la Ec. 1 se puede observar que el índice de Socavación tiene una mayor importancia con respecto al índice estructural y al índice del entorno, mientras que el índice de estabilidad tiene un menor aporte en el resultado final.

El resultado será entonces un valor comprendido entre 3,2 y 100, donde aquellos puentes poco vulnerables a daños tendrán un resultado que tienden a 3,2, mientras aquellos que se encuentren más vulnerables a daños tendrán un resultado que tiende a 100, como se muestra en la Figura 28.



Figura 28. Resultados de la metodología de evaluación. Fuente propia.

El instrumento de recolección de información fue diseñado considerando los siguientes parámetros de análisis:

1. La estructura analizada salva un cauce hidráulico
2. Vida útil de la estructura
3. Geometría de la sección transversal
4. Pendiente del cauce, para discriminar si el curso de agua es de montaña o de llanura
5. Luz del puente
6. Elementos de la subestructura
7. Estribos, y si estos están en contacto con el agua
8. ¿El puente tiene pila central o pilas intermedias?
9. ¿Qué forma tienen las pilas?
10. Tipo de fundación:
 - Superficiales: cuadradas, rectangulares, circulares, en tira
 - Profundas: pilas, pilotes, micropilotes
 - Profundidad de fundación
11. Socavación en estribos, pilas y curvas
12. Estabilidad del río, general, lateral y vertical
13. Luz del puente
14. Gálibo
15. Material de la subestructura: madera, metal, concreto, otros
16. Esviaje: alineamiento del puente con el río
17. Material disponible para transporte (capacidad de arrastre-inspección visual)
18. Estado/condiciones del entorno (vegetación, escombros, obstrucciones)
19. Continuidad o deformaciones del pavimento
20. Asentamientos (desplazamiento z)
21. Desplazamiento xy
22. Grietas (elementos y severidad)

Explicación de los parámetros analizados:

1. La planilla de evaluación presentada en este trabajo de grado solo aplica a aquellos puentes que salvan un **cauce hidráulico**, lo que quiere decir que se descartan todos aquellos puentes, elevados o viaductos que salvan depresiones topográficas.
2. Toda estructura es diseñada con una **vida de útil** en la que se garantiza el funcionamiento de esta, es importante revisar el periodo de diseño de cada estructura a analizar, pues si

la vida útil ya ha sido cumplida las características y condiciones con las que fue diseñada puede que ya no cumplan con las demandas actuales.

3. Las **dimensiones de la geometría** de la sección transversal son necesarias para posteriormente estimar parámetros como socavación y estabilidad del cauce.
4. Para comprender mejor el comportamiento del cauce es importante determinar la **pendiente del cauce** en el punto de estudio, es decir donde está ubicado el puente, de esta manera puede clasificarse el curso de agua como un río de montaña o un río de llanura.
5. La **luz del puente** es un parámetro importante que nos permite determinar rápidamente si el puente cuenta o no con pilas intermedias.
6. Si bien todos los elementos de los puentes son importantes para su correcto funcionamiento, en el presente trabajo se resaltan los elementos de la **subestructura** pues son aquellos que están en contacto con el agua y pueden verse directamente afectados por la misma. En este apartado se analiza la posición, material y forma de elementos como estribos, pilas, aletas, fundaciones, entre otros.
7. Se sugiere estimar la **socavación general y la estabilidad del cauce**. Estos valores nos permiten compararlos con los valores actuales del cauce, lo que contribuye a tomar decisiones más acertadas, ver apartado 3.6. Caso “Crítico”. Estimación de la socavación y estabilidad del cauce.
8. El **gálibo** es un parámetro crucial que, aunque depende del diseño de la estructura, es importante analizar. Si no es lo suficientemente alto, el material arrastrado por el cauce durante una crecida puede impactar el puente y debilitarlo, lo que podría llevar finalmente al fallo de la estructura.
9. Analizar el **tipo de material** con el que se construyó el puente es importante, pues esto nos permite estar atentos a su posible comportamiento.
10. Se debe determinar el ángulo de **esviaje** del puente con respecto al río pues aquellos puentes cuya perpendicular con la trayectoria del cauce es menor es donde ocurren las mayores alteraciones de las líneas de corriente, lo que acelera el proceso de socavación.
11. Es fundamental realizar una inspección visual del entorno, con especial atención a los elementos arrastrados por el cauce. Esto permite evaluar la **capacidad de arrastre** del cauce y determinar si hay riesgo de taponamiento, dado que elementos de gran tamaño podrían no pasar por el gálibo.
12. La **presencia de vegetación u otros elementos externos** en el cauce puede alterar las líneas de flujo de la corriente, intensificando fenómenos como la socavación.
13. A pesar de que el **pavimento** es un elemento que pertenece a la superestructura es importante inspeccionar su continuidad o presencia de deformaciones, pues esto puede ser un indicador de **asentamientos (z)** o **desplazamientos (xy)** de elementos de la subestructura como pilas y estribos.
14. La aparición de **grietas** en pilas y estribos puede ser indicativa de asentamientos en el terreno, lo cual genera tensiones en los elementos estructurales y provoca la formación de dichas grietas.

3.5. Procedimiento

Para la aplicación de la metodología de evaluación primaria de puentes, basada en la consideración de criterios hidráulicos se puede hablar de tres etapas generales, tal como se muestra en la Figura 29. En la Figura 30 se presenta el diagrama de flujo simplificado de la aplicación de la metodología propuesta.

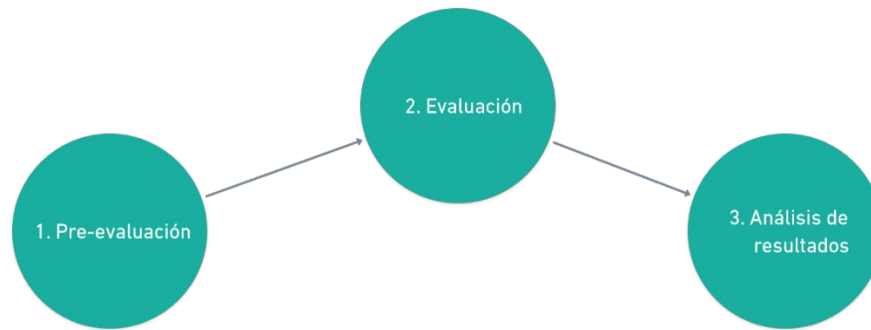


Figura 29. Etapas generales de la metodología de evaluación. Fuente propia.

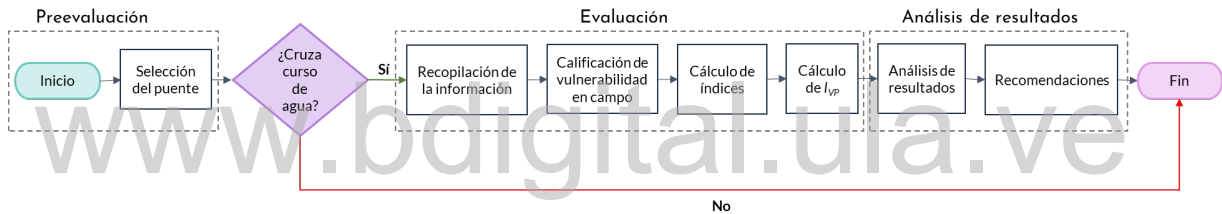


Figura 30. Esquema de aplicación de la metodología de evaluación. Fuente propia.

1. **Preevaluación:** consiste en la búsqueda y revisión de información previa tanto del área en estudio como de la estructura, esto se refiere a los criterios de diseño con los que fue construido como levantamientos topográficos, planos estructurales, mapas topográficos de años anteriores, entre otros.

Es fundamental señalar que, aunque la etapa número 1 no es obligatoria, la disponibilidad de información y datos sobre cada puente puede variar o incluso no existir. No obstante, completar esta etapa contribuye a aumentar la credibilidad de los resultados obtenidos, lo que facilita una toma de decisiones más precisa.

En caso de que no se pueda llevar a cabo la etapa 1, el ingeniero encargado de la evaluación debe realizar una inspección visual *in situ* para establecer una condición inicial del puente (condición cero). Esto incluye analizar aspectos como la forma de la pila, la fundación y las marcas de agua en la estructura, con el objetivo de evaluar la evolución del lecho del río.

2. **Evaluación:** se refiere a la aplicación in situ de la metodología propuesta en el Anexo 2, sin embargo, para facilitar la recolección de datos en campo se recomienda llevar en físico las tablas mostradas en el Anexo 1.

La metodología se compone de seis elementos, cada uno de los cuales incluye variables definidas para evaluar la vulnerabilidad de estructura, los mencionados elementos se describen en la Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16.

Cada variable descrita en dichas tablas se pondera asignándole un valor según el grado de severidad, tal como se establece en la Tabla 11. Los valores específicos de severidad para cada variable se detallan en la Tabla 17. Estos valores de severidad son asignados en la metodología y no deben ser modificados por el usuario.

Tabla 12. Variables del elemento Geometría.

01. Geometría	
Variable	Significado
Tipo de puente	Se refiere a la tipología de puente analizado, este puede ser de vigas, atirantado, volados sucesivos, armadura. Otros.
Ancho (B)	Es el ancho de la sección transversal bajo el puente, expresado en metros.
Profundidad normal (Y_n)	Es el tirante de agua normal del cauce, expresado en metros.
Pendiente (s)	Es la pendiente del cauce en el punto de interés, expresado en porcentaje.
Tipo de río	Se refiere a la clasificación del río dependiendo de la pendiente del cauce en el punto de interés, si son pendientes menores a 1 % se tendrán ríos de llanura, de lo contrario ríos de montaña.
Gálibo	Es la distancia desde el la cota inferior del tablero hasta la superficie del agua, expresado en metros.

Fuente propia.

Tabla 13. Variables del elemento Estructura.

02. Estructura	
Variable	Significado
Subestructura	
Estribos	Inspeccionar los estribos izquierdo y derecho de la estructura, evaluando aspectos como el contacto con el agua, el material de construcción, su estado actual y la presencia de grietas.
Pilas	Inspeccionar las pilas del puente evaluando aspectos como forma, ancho, el material de construcción, su estado actual y la presencia de grietas.
Fundaciones	Identificar si la fundación de la estructura corresponde a una fundación superficial o profunda.
Aletas	Inspeccionar las aletas del puente, evaluando aspectos como el contacto con el agua, el material de construcción, su estado actual y la presencia de grietas.
Superestructura	
Deformaciones del pavimento	Inspeccionar la continuidad o deformaciones del pavimento, pues puede indicar asentamientos de estribos y pilas.
Deformaciones en el tablero/armadura	Inspeccionar la continuidad del tablero/armadura, pues puede indicar asentamientos de estribos y pilas.
Terraplenes de acceso	Inspeccionar la continuidad en los terraplenes de acceso, dado que podrían revelar asentamientos en estribos.

Fuente propia.

Tabla 14. Variables del elemento Socavación.

03. Socavación	
Variable	Significado
Socavación local en estribos	Inspeccionar el lecho del río en la zona de los estribos para determinar si ha habido un descenso en la cota del lecho.
Socavación local en pilas	Inspeccionar el lecho del río en la zona de las pilas para determinar si ha habido un descenso en la cota del lecho.
Socavación en curvas	Inspeccionar el lugar de construcción del puente, para determinar si su ubicación coincide con una curva en el cauce.
Agradación	Examinar la sección transversal bajo el puente para identificar la posible acumulación de sedimentos y verificar si ha ocurrido una elevación en el nivel del cauce.

Fuente propia.

Tabla 15. Variables del elemento Estabilidad.

05. Estabilidad	
Variable	Significado
Estabilidad general	Observar la presencia de parámetros como: abanicos de deyección, presas o reservorios, derivaciones, rectificación de cauces, entre otros.
Estabilidad lateral	Se refiere a la erosión de las márgenes del cauce, deslizamiento rotacional o la posible migración lateral del cauce.
Estabilidad vertical	Hace referencia a la disminución o aumento de la cota del lecho del río.

Fuente propia.

3. Analizar los resultados obtenidos en el paso número 2 “Evaluación” complementar la información con la información obtenida del paso número 1 “Preevaluación” y afinar los resultados y conclusiones obtenidos de la información recopilada.

Una vez completadas las tres etapas generales de la metodología de evaluación primaria de puentes se obtiene como resultado el Índice de Vulnerabilidad del Puente (I_{VP}) que permite ubicar al puente dentro de la clasificación de mantenimientos mostrada en la Tabla 18.

Finalmente, se propone soportar la evaluación primaria de puentes con un informe fotográfico que permita llevar registro histórico de las condiciones de los elementos evaluados, y permite evaluar su evolución.

Se recomienda realizar el registro fotográfico siguiendo el esquema presentado en la Figura 31. No obstante, se deben incluir todas aquellas fotografías que el usuario considere relevantes para complementar la información evaluada.

Tabla 16. Variables del elemento Entorno.

06. Entorno	
Variable	Significado
Forma del río	Observar el comportamiento del río en las cercanías de Puente para determinar si es un río recto, sinuoso, meandroso, o trenzado.
Ángulo de incidencia	Se refiere al ángulo de incidencia del cauce con respecto a la alineación del puente, es importante destacar que el impacto será mayor cuando el ángulo de incidencia es mayor.
Material disponible para transporte	Inspeccionar el entorno en búsqueda de material removido por el río, como rocas de gran magnitud, troncos y vegetación que puede ser transportado por el río e impactar la estructura. Se recomienda inspeccionar 100 m aguas arriba y 100 m aguas abajo del punto de interés para obtener una puntuación general.
Medidas de protección del cauce	Observar los alrededores del punto de interés, en búsqueda de medidas de protección existentes y su vulnerabilidad.
Tamaño de la cuenca	Se refiere al tamaño de la cuenca que alimenta el cauce que salva el puente en estudio, clasificándose en cuencas menores a 500 Ha y mayores a 500 Ha.
Forma de la cuenca	Se refiere a la clasificación de la cuenca con respecto a su forma: estas pueden ser endorreicas o exorreicas.
Topografía	Identificar si la mayoría de la superficie de la cuenca aportante corresponde a una topografía accidentada, media o llana.
Grado de deforestación	Identificar el grado de deforestación de la cuenca aportante, y clasificarla en las siguientes alto, moderado, medio, bajo.
Material predominante del lecho	Inspeccionar de manera visual y aproximada el material del lecho del río.
Material predominante de las márgenes	Inspeccionar de manera visual y aproximada el material de las márgenes del río.
Cobertura vegetal en el cauce	Examinar la presencia de cobertura vegetal en el cauce del río.
Cobertura vegetal en las márgenes	Examinar la presencia de cobertura vegetal en las márgenes del río.

Fuente propia.

Tabla 17. Asignación del grado de severidad a cada variable.

Elemento	Variable	Severidad
Estribos	En contacto con agua	2
	Material	2
	Grado de deterioro	3
	Grietas	3
Pilas	Forma	3
	Factor de alargamiento	3
	Material	2
	Grado de deterioro	3
	Grietas	3
Fundaciones	Fundación de estribos	3
	Fundación de pilas	3
Aletas	En contacto con agua	2
	Material	2
	Grado de deterioro	3
	Grietas	3
Superestructura	Deformaciones del pavimento	1
	Deformaciones en tablero/armadura	1
	Terraplenes de acceso	1
Socavación	Socavación local en estribos	3
	Socavación local en pilas	3
	Socavación en curvas	3
Agradación	Agradación	3
Estabilidad	Estabilidad General	2
	Estabilidad Lateral	2
	Estabilidad Vertical	2
Entorno	Forma natural del río	1
	Ángulo de incidencia	3
	Material disponible para transporte	3
	Medidas de protección	2
	Material predominante del lecho	2
	Material predominante de las márgenes	2
	Cobertura vegetal en el cauce	1
	Cobertura vegetal en las márgenes	1
	Tamaño	2
	Forma	2
	Topografía	1
	Grado de deforestación	1

Fuente propia.

Tabla 18. Evaluación de puentes en términos de Índice de Vulnerabilidad del Puente (I_{VP}).

I_{VP}	Clasificación	Observaciones	Recomendaciones
$3.2 \leq I_{VP} \leq 20$	Buena	No hay factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente. Se recomienda realizar una inspección y mantenimiento mínimo anual.	Plan de mantenimiento mínimo/preventivo
$20 < I_{VP} \leq 30$	Media	Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas con el puente. Se recomienda hacer mantenimiento preventivo para conservar las condiciones de la estructura.	
$30 < I_{VP} \leq 40$	Mala	Hay factores importantes que afectan el puente. Se recomienda tomar precauciones, realizar un mantenimiento correctivo, y monitorear el comportamiento de la estructura.	Mantenimiento correctivo
$I_{VP} > 40$	Crítica	Hay factores muy importantes que afectan el puente, se deben tomar medidas de emergencia y hacer un estudio más detallado de la estructura.	Medidas de emergencia, estudios más detallados, evaluación comprobatoria posterior

Fuente propia.

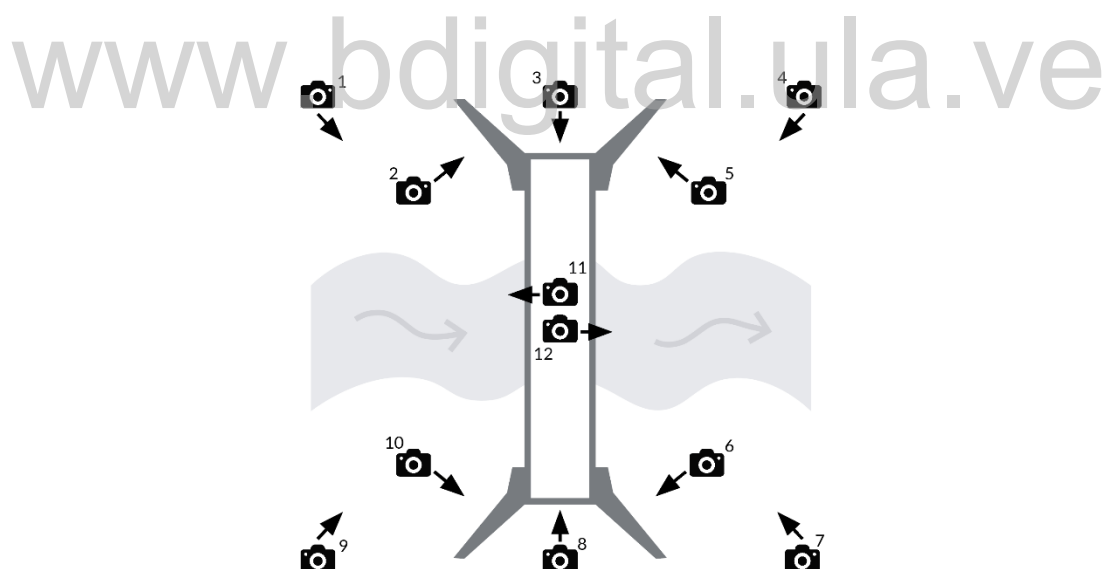


Figura 31. Puntos para el registro fotográfico. Adaptado de Fonseca (2021).

3.6. Caso “Crítico”. Estimación de la socavación y estabilidad del cauce

A aquellos puentes que caen en la categoría “Crítica” ($I_{vp} > 40$) se sugiere realizar un estudio más detallado con relación a la estimación de la socavación y estabilidad del cauce (para mayor detalle, ver Anexo 6).

La socavación general y transversal del cauce puede ser estimada mediante diversos métodos. Para este caso se propone la estimación mediante el método de Lischtván – Levediev por ser uno de los más usados, con las siguientes ecuaciones:

1. Cauces definidos, suelos no cohesivos:

$$H_S = \left(\frac{\alpha' \cdot y_n^{5/3}}{0,68 \cdot d^{0,28} \cdot \beta} \right)^{\frac{1}{1+x}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\alpha' = \frac{Qd}{y_m^{5/3} \cdot B_e \cdot C_e} \quad \text{Ec. 3}$$

2. Cauces definidos, suelos cohesivos:

$$H_S = \left(\frac{\alpha' \cdot y_n^{5/3}}{0,60 \cdot \gamma_s^{1,18} \cdot \beta} \right)^{\frac{1}{1+x}} \quad \text{Ec. 4}$$

3. Cauces indefinidos

$$H_S = \left(\frac{\alpha' \cdot y_n^{5/3}}{V_{CL}} \right)^{0,83} \quad \text{Ec. 5}$$

Para suelos no cohesivos: $f(d_m, y_m)$. Ver Anexo 6.

Para suelos cohesivos: $f(\text{tipo de suelo, compactación, } y_m)$. Ver Anexo 6.

Hay transporte de sedimentos en suspensión cuando se cumple:

$$\frac{U_*}{w_{50}} > 0,5 \quad \text{Ec. 6}$$

Para flujos que tienen sedimentos en suspensión, el denominador de las fórmulas anteriores debe afectarse por ψ (Ver Anexo 6), que depende del valor de γ_{mezcla} :

$$\gamma_{mezcla} = \frac{\gamma \cdot Q + \gamma_{ss} \cdot Q_{ss}}{Q + Q_{ss}} \quad \text{Ec. 7}$$

Por otro lado, de acuerdo a Flores y Aguirre (2006) para estimar los valores de estabilidad de cauces se puede hacer mediante los siguientes métodos:

- **Método de Blench:**

Entre 1939 y 1941. Blench divide el factor de lodos en dos: factor de fondo, F_f , y factor lateral, F_L , estando ambos factores relacionados con el sedimento transportado, el tamaño del material, y la resistencia del fondo a la erosión.

$$F_f = F_{fo} \cdot (1 + 0,012 \cdot C) \quad \text{Ec. 8}$$

$$F_{fo} = 60,1 \cdot d_m^{0,5} \quad \text{Ec. 9}$$

$$F_L = \frac{F_{fL}}{8} \quad \text{Ec. 10}$$

$$T = 1,81 \cdot \sqrt{\frac{F_f \cdot Q}{F_L}} \quad \text{Ec. 11}$$

$$Y_n = 1,02 \cdot \left(\frac{F_L \cdot Q}{F_f^2} \right)^{1/3} \quad \text{Ec. 12}$$

$$S = \frac{0,56 \cdot F_f^{5/6} \cdot F_L^{1/12}}{K \cdot Q^{1/6}} \cdot f'(C) \quad \text{Ec. 13}$$

$$K = \frac{6,6 \cdot g}{v^{1/4}} \quad \text{y} \quad f'(C) = \frac{1}{1 + \frac{C}{2330}} \quad \text{Ec. 14}$$

Cuando no se dispone de información el autor propone los siguientes valores de referencia:

- Para sedimentos finos: $d_m < 0,5 \text{ mm} \rightarrow F_f = 0,8$
- Para sedimentos gruesos: $d_m > 0,5 \text{ mm} \rightarrow F_f = 1,2$
- Materiales con poca cohesión: $F_L = 0,1$
- Materiales moderadamente cohesivos: $F_L = 0,2$
- Materiales arcillosos: $F_L = 0,3$

- **Método de Altunin:**

Desarrollado para materiales gruesos, tales como gravas y cantos rodados, pero funciona razonablemente para arenas. No es apto para materiales cohesivos. Sirve para ríos de llanura y de montaña. El método no exige datos de transporte de sedimentos, que son muy difíciles de obtener en la práctica, lo que presenta una ventaja a la hora de aplicar el método.

$$S = \left(\frac{V_\phi^{\frac{5+2\alpha}{4}} \cdot a^{3/2}}{11^{(\alpha+1)} \cdot Q_f^{\left(\frac{0,5-\alpha}{2}\right)}} \right)^{1/E} \quad \text{Ec. 15}$$

$$y_n = \left(\frac{a \cdot V_\phi}{11 \cdot S^{1/3}} \right)^{\frac{1}{0,5-\alpha}} \quad \text{Ec. 16}$$

$$T = \frac{A \cdot Q_f^{0,5}}{S^{0,2}} \quad \text{Ec. 17}$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{V_\phi}} \quad \text{Ec. 18}$$

$$E = 0,2 \cdot \left(\frac{1}{2} - \alpha \right) + \frac{1}{3} \cdot (\alpha + 1) \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

S : Pendiente longitudinal en $[m/m]$

V_ϕ : Velocidad máxima no erosiva $\rightarrow$ Ver Anexo 6

$$\alpha = 1/3 \quad \text{si } y_n \leq 1,5 \text{ m} \quad \text{Ec. 20}$$

$$\alpha = 1/4 \quad \text{si } 1,5 \text{ m} < y_n < 2,5 \text{ m} \quad \text{Ec. 21}$$

$$\alpha = 1/5 \quad \text{si } y_n \geq 2,5 \text{ m} \quad \text{Ec. 22}$$

- Para ríos de llanura: $\alpha = 1,15$
- Para ríos de montaña: $\alpha = 1,00$

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 4. Resultados y discusión

4.1. Presentación y análisis de los resultados

Para la validación de la metodología se analizaron 4 aspectos hidráulicos que permiten obtener el índice de vulnerabilidad de la estructura, para esto utilizaron tres casos de estudio:

1. Puente Balsa
2. Puente El Anís – Quebrada San Pablo
3. Puente Cruz verde

Evaluación puente Balsa – Caño Balsa

La metodología de evaluación primaria de puentes fue aplicada al puente Balsa, ubicado en el municipio Alberto Adriani, estado Mérida (Figura 4 y Figura 5).



Figura 32. Puente Balsa. Fuente propia.

Se pudo observar en campo, que a pesar de que de acuerdo con el proyecto diseñado corresponde a dos puentes gemelos, uno para cada sentido, solo fue finalizado y puesto en

servicio uno de ellos, aquel ubicado aguas arriba (Figura 32). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Estructura, en esta sección se deben inspeccionar todos aquellos elementos de la subestructura y algunos de la superestructura (véase muestra de cálculo en Figura 33) para obtener el índice de vulnerabilidad estructural I_E . Se pudo observar que, al momento de la inspección, los estribos no estaban en contacto con el agua (Figura 34), el material de construcción es de concreto, que parece estar en buen estado sin grietas visibles. Con respecto a las pilas (Figura 35) se trata de un grupo de pilas de concreto, de forma circular, en buen estado del material, aunque se encontró un pequeño daño en la pila aguas arriba probablemente resultado del desencofrado de la misma o posible impacto al momento de una crecida, sin poner en riesgo su funcionamiento y donde no se ve exposición del acero estructural. Con respecto a las aletas no se encuentran en contacto con el cauce al momento de la inspección. No hay deformaciones en el pavimento, tablero o terraplenes que pudieran ser indicadores de algún asentamiento diferencial en pilas y estribos. El resultado del índice I_E fue de 26 y los cálculos de la evaluación de este índice pueden encontrarse en el Anexo 3.

SUBESTRUCTURA

1.1 Estribos

Estribo izquierdo				
		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	No	0	2	0
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				0

Estribo Derecho				
		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	No	0	2	0
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				0

1.2 Pilas

Cantidad Si

1

Pila 1				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma	Circular	1	3	3
Factor de alargamiento	$L/b=1$	1	3	3
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				10

Pila 2				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma	Circular	1	3	3
Factor de alargamiento	$L/b=1$	1	3	3
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				10

1.3 Fundaciones

		Evaluación	Severidad	Resultado
Fundación de estribos	Profunda	1	3	3
Fundación de pilas	Profunda	1	3	3
Sub-total				6

1.4 Aletas

		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	No	0	2	0
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				0

SUPERESTRUCTURA

	Evaluación	Severidad	Resultado
Deformaciones del pavimento	0	1	0
Deformaciones en tablero/armadura	0	1	0
Terraplenes de acceso	0	1	0
Sub-total			0

Figura 33. Evaluación de las variables de la categoría Estructura, puente Balsa. Fuente propia.



Figura 34. Estribo derecho, puente Balsa. Fuente propia.



Figura 35. Pilas de puente Balsa. Fuente propia.

Socavación, a pesar de que al momento de la inspección los estribos ni pilas estaban en contacto con el agua, hubo evidencia de que al momento de crecidas el agua sí entra en contacto con el estribo derecho donde se pudo observar una ligera socavación (Figura 34), de poca importancia pues se conoce que la fundación tanto de estribos como de las pilas es mediante pilotes. No se observó socavación en las pilas (Figura 35). Es importante resaltar que, aunque el puente gemelo de aguas abajo no está finalizado ni puesto en servicio se pudo observar en el estribo izquierdo una socavación moderada de por lo menos 1,5 m (Figura 37 y Figura 38), lo que pudo dar una idea de la capacidad de socavación del río. No se observó socavación en curvas. La evaluación de las variables puede observarse en la Figura 36. El resultado del índice I_s fue de 3 y el cálculo de la evaluación de este índice pueden encontrarse en el Anexo 3.

SOCAVACIÓN			
Socavación local en estribos			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Estribo izquierdo	0	3	0
Estribo derecho	1	3	3
Sub-total			3

SOCAVACIÓN			
Socavación local en pilas			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Pila 1	0	3	0
Pila 2	0	3	0
Sub-total			0

SOCAVACIÓN			
Socavación en curvas			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Socavación en curvas	0	3	0
Sub-total			0

Alteraciones del Cauce	
Razones Humanas Modificación del cauce ☐ Canalización ☐ Dragado ☐ Cortes de meandros ☐ Extracción de grava y arena ☐ Desviación de caudal ☐ Uso de la tierra ☐	Razones Naturales Cortes naturales de meandros ☐ Actividad sísmica ☐ Cambios climáticos ☐

Observaciones
La vía esta compuesta por dos puentes gemelos uno para cada sentido de circulación, sin embargo solo esta en funcionamiento el puente aguas arriba, mientras que el puente aguas abajo no fue finalizado, y esta aun en proceso de finalización. Es importante destacar que el estribo izquierdo del puente aguas abajo presenta socavación de aproximadamente 1.5 m.

Figura 36. Evaluación de las variables de la categoría Socavación, puente Balsa. Fuente propia.



Figura 37. Estribo izquierdo, puente aguas abajo Caño Balsa. Fuente propia.



Figura 38. Detalle de socavación. Estribo izquierdo, puente aguas abajo Caño Balsa. Fuente propia.

Estabilidad, para la valoración en campo de la estabilidad fue necesario el uso de herramientas como *Google Earth*. No se observó la presencia de conos de deyección ni de reservorios en las cercanías del puente. No se observó erosión en las márgenes, sin embargo, existía la presencia de desplazamiento lateral aguas arriba del puente (Figura 40), lo que podría generar cambios en la dirección del flujo. Con respecto a la estabilidad vertical se pudo notar que existía erosión en el estribo izquierdo del puente aguas abajo. En la Figura 39 puede apreciarse la evaluación de las variables de esta categoría. El índice de vulnerabilidad de

estabilidad I_{Es} dio como resultado un valor de 12 y los resultados de la evaluación de este índice pueden encontrarse en el Anexo 3.

ESTABILIDAD DEL CAUCE: Valoración en campo			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad General	1	2	2
	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad Lateral	2	2	4
	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad Vertical	3	2	6
Observaciones			

Figura 39. Evaluación de las variables de la categoría Estabilidad, puente Balsa. Fuente propia.

www.bdigital.ula.ve



Figura 40. Evolución del cauce Caño Balsa. Adaptado de Google Earth (2024).

Entorno, se analizaron diferentes parámetros relacionados con el entorno, se observó que se trata de un río trenzado con un ángulo de incidencia no mayor a 15° con respecto al eje de la vía y donde existía material disponible para transporte que podría impactar la estructura, la forma de la cuenca se consideró redondeada con suelos cubiertos por bosques, lo que indicó poco grado de deforestación. Se observó alta presencia de vegetación en las márgenes y en el lecho del río. Para esta categoría se puede apreciar en la Figura 41 la evaluación de las variables. El índice de vulnerabilidad del entorno I_{En} dio como resultado un valor de 38 y los detalles y resultados completos de esta evaluación se encuentran disponibles en el Anexo 3.

ENTORNO				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma natural del río	Trenzado	4	1	4
Ángulo de incidencia	$0^\circ < \alpha < 15^\circ$	1	3	3
Material disponible para transporte	Sí	2	3	6
Medidas de protección	No		2	0
Sub-total				13

		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma natural del río	Trenzado	4	1	4
Ángulo de incidencia	$0^\circ < \alpha < 15^\circ$	1	3	3
Material disponible para transporte	Sí	2	3	6
Medidas de protección	No		2	0
Sub-total				13

Características de la cuenca aportante		Evaluación	Severidad	Resultado
Tamaño	> 500 Ha	1	2	2
Forma	Redondeada	3	2	6
Topografía	Llana	1	1	1
Grado de deforestación	Poco	1	1	1
Sub-total				10

Contornos		Evaluación	Severidad	Resultado
Material d_{50} del lecho	Arenas	3	2	6
Material d_{50} de las márgenes	Gravas	2	2	4
Cobertura vegetal en el cauce	Sí	3	1	3
Cobertura vegetal en las márgenes	Sí	2	1	2
Sub-total				15

Entrevista a habitantes		
Según una entrevista con un transeúnte, ya ha pasado un largo período sin que se registre una crecida en el Caño Balsa.		

Recomendaciones		
Variable	Condición	Evaluación
Material disponible	$< 1\text{ m}$	2
para transporte: rocas	$1 < d < 2$	3
de tamaño	$> 2\text{ m}$	4

Figura 41. Evaluación de las variables de la categoría Entorno, puente Balsa. Fuente propia.

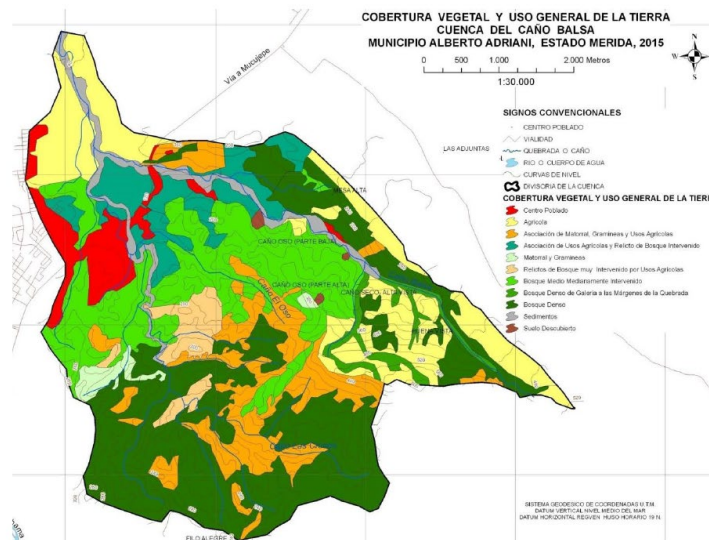


Figura 42. Uso de la tierra y cuenca de Caño Balsa. Propiedad de DCI C.A. (2016).

Evaluación puente El Anís – quebrada San Pablo

La metodología de evaluación primaria de puentes también fue aplicada al puente El Anís, ubicado en el municipio Sucre, dentro del eje metropolitano, estado Mérida (Figura 8 y Figura 9).

Se trata de una estructura apoyada en vigas pre-esforzadas como se muestra en la Figura 43. Los resultados obtenidos en la evaluación de criterios hidráulicos fueron los siguientes:



Figura 43. Puente El Anís. Fuente propia.

Estructura, ni los estribos ni las pilas se encontraron en contacto con el agua, sin embargo, hubo evidencia de que en periodos de crecida el agua entró en contacto con ellos. El material de ambos es concreto en buen estado, y no presentaron grietas. Las aletas no se encontraron en contacto con el agua al momento de la inspección y no se observaron deformaciones en el pavimento o terraplenes de acceso, ni tampoco deformaciones en el tablero, pero sí es importante resaltar que las vigas aguas arriba sufrieron daño total por abrasión e impacto que originó el material arrastrado por la quebrada, y donde las vigas restantes se mantienen sufriendo daños actualmente debido al sobreesfuerzo resultante de la ausencia de aquellas dañadas (Figura 46).

Es importante destacar que el puente fue rehabilitado tras la crecida ocurrida entre marzo y abril de 2023. Se observó que 6 de las 14 vigas del puente sufrieron daños totales debido a la abrasión causada por los sedimentos arrastrados por la crecida. Además, la primera pila del puente, ubicada aguas arriba, perdió aproximadamente el 70 % de su sección debido al impacto de dichos sedimentos. Afortunadamente, la misma fue rehabilitada, recuperando casi por

completo sus condiciones de diseño. Sin embargo, aún no se han reparado las vigas correspondientes al carril ubicado aguas arriba (véanse Figura 44 y Figura 45).

El resultado del índice I_E obtenido fue de 60 y los resultados de la evaluación de este índice pueden encontrarse en el Anexo 4.



Figura 44. Vigas y pila de puente El Anís. Fuente propia.



Figura 45. Reparación de pila aguas arriba de puente El Anís. Fuente propia.



Figura 46. Daños en las vigas adyacentes a las vigas dañadas del puente El Anís. Fuente propia.

Agradación, en este caso en particular no se observó un proceso activo de socavación, los estribos no estaban en contacto con el agua (Figura 47), y las pilas no presentaron evidencia de socavación. Por el contrario, se pudo observar un proceso de agradación (Figura 48), el cauce fue capaz de arrastrar sedimentos que impactaron la estructura causando graves daños en el puente.



Figura 47. Estribo izquierdo, puente El Anís. Fuente propia.



Figura 48. Pilas puente El Anís. Fuente propia.

El resultado del índice I_A fue de 12 y los cálculos de la evaluación de este índice pueden apreciarse en el Anexo 4.

Estabilidad, al analizar las condiciones presentes en las cercanías del puente se pudo observar la presencia de pequeños conos de deyección. Adicionalmente, se observaron derivaciones de aguas con arrastre de sedimentos aguas arriba de la estructura, de donde se infiere provienen los sedimentos arrastrados por la corriente (Figura 49). Con respecto a la

estabilidad lateral, el cauce no es capaz de desplazarse lateralmente debido a la topografía del lugar, sin embargo, se observó que las márgenes del cauce no son muy estables y son altamente erosionables (Figura 50).



Figura 49. Zona aguas arriba de la estructura. Fuente: Gobernación del estado Mérida (2023).



Figura 50. Lecho y márgenes de la quebrada San Pablo, El Anís. Fuente propia.

El índice de vulnerabilidad de estabilidad I_{Es} dio como resultado un valor de 18 y los detalles de su estimación se encuentran en el Anexo 4.

Entorno, al analizar los parámetros correspondientes al elemento del entrono se observó que la forma que presentó el río fue sinuosa con un ángulo de incidencia menor a 15° con respecto al eje de la vía, con gran cantidad de material disponible para el transporte. La forma

de la cuenca es alargada (Figura 51), y en el uso de la tierra predominaron los pastos de pastoreo en un 80 % del área de la cuenca. Se observó que las protecciones existentes están altamente deterioradas y que hubo alta presencia de vegetación en las márgenes y baja presencia de vegetación en el lecho del cauce. El índice de vulnerabilidad del entorno I_{En} dio como resultado un valor de 36 y los cálculos de la evaluación de este índice pueden encontrarse en el Anexo 4.

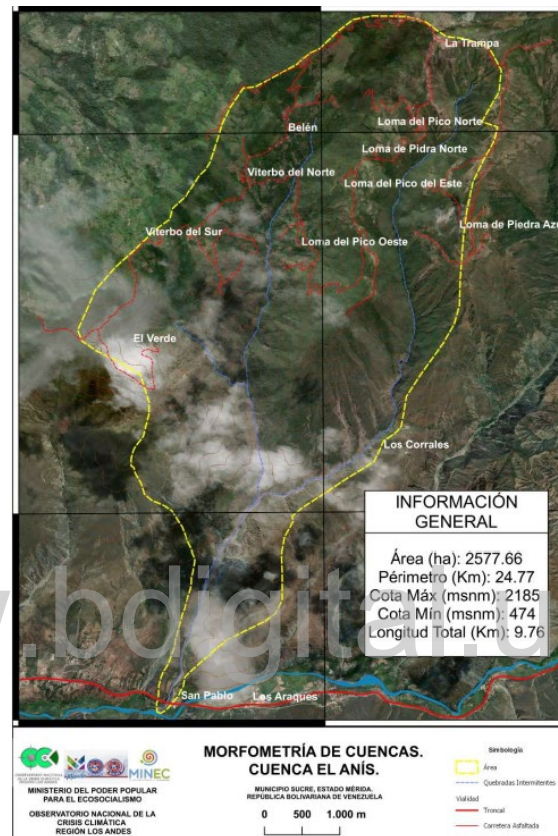


Figura 51. Forma de la cuenca quebrada San Pablo. Fuente: Gobernación del estado Mérida (2023).

Evaluación puente Cruz Verde – río Albarregas

La metodología de evaluación primaria de puentes finalmente fue aplicada al puente Cruz Verde, ubicado en la ciudad de Mérida, en el municipio Libertador, en la parroquia El Llano específicamente en el sector Cruz Verde (Figura 12 y Figura 13).

Se trata de un puente de vigas apoyadas en los estribos y sin pila central (Figura 52). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:



Figura 52. Puente Cruz Verde, visto desde aguas abajo. Fuente propia.

Estructura, al inspeccionar los elementos de la subestructura y algunos de la superestructura se obtuvo el índice de vulnerabilidad estructural I_E del puente Cruz Verde. Se observó que los estribos estaban en contacto con el agua, contruidos en concreto. Cabe destacar que ambos estribos presentaron grietas, específicamente el estribo derecho tenía una grieta de notables dimensiones y características (Figura 52) que pudiera poner en riesgo la integridad del elemento de soporte del puente. Igualmente, el estribo izquierdo poseía una grieta que se muestra en la Figura 55. No se observan deformaciones en el tablero o pavimento, pero es importante resaltar que la vía ha sido recientemente pavimentada, por lo que no reflejó los posibles desplazamientos de los estribos. El índice de vulnerabilidad estructural I_E dio como resultado un valor de 51, y puede detallarse en el Anexo 5.

Socavación, se observó un proceso de socavación activo en ambos estribos siendo más importante la socavación en el estribo izquierdo, y una socavación menor en el estribo derecho, (véanse Figura 53 y Figura 55). No se observó socavación en curvas pues el lugar del ponteadero se encuentra en un tramo recto del cauce. Se obtuvo un índice de vulnerabilidad de socavación I_s con un valor de 42 y los resultados de la evaluación de este índice pueden encontrarse en el Anexo 5.



Figura 53. Estribo derecho, puente Cruz Verde. Fuente propia.



Figura 54. Detalle de estribo derecho, puente Cruz Verde. Fuente propia.



Figura 55. Estribo izquierdo, puente Cruz Verde. Fuente propia.

Estabilidad, para la valoración en campo de la estabilidad general fue necesario el uso de la herramienta *Google Earth*. No se observaron reservorios ni conos de deyección, las márgenes son moderadamente estables y sí se presentó erosión vertical. El índice de vulnerabilidad de estabilidad I_{Es} dio como resultado un valor de 8 y los cálculos de la evaluación de este índice puede encontrarse en el Anexo 5.

Entorno, al analizar los parámetros correspondientes al elemento del entrono se observó que la forma que presentaba el río era sinuosa, con un ángulo de incidencia menor a 15° entre el cauce y el eje de la vía y la forma de la cuenca es alargada. Se observa presenció de material disponible para transporte y vegetación abundante en las márgenes, no se observó vegetación en el lecho del cauce. El índice de vulnerabilidad del entorno I_{En} dio como resultado un valor de 34 y los cálculos de la evaluación de este índice puede encontrarse en el Anexo 5.

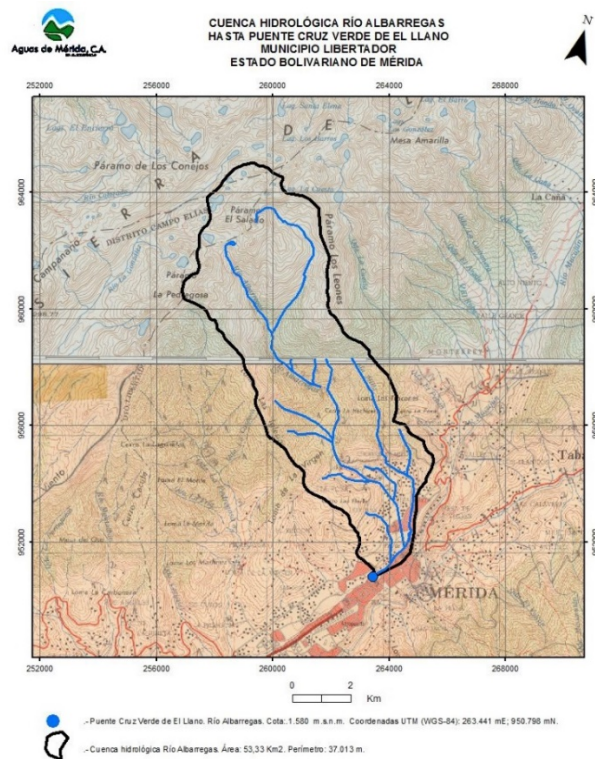


Figura 56. Cuenca del río Albarregas, hasta el puente Cruz Verde. Fuente: Aguas de Mérida (2018).



Figura 57. Vegetación en márgenes y lecho, río Albarregas, aguas arriba del puente Cruz Verde. Fuente propia.



Figura 58. Vegetación en márgenes y lecho, río Albarregas, aguas arriba del puente Cruz Verde. Fuente propia.

www.bdigital.ula.ve

4.2. Discusión

Después de aplicar la metodología de evaluación primaria de daños de origen hidráulico en los puentes seleccionados, se obtiene el resultado final del índice de vulnerabilidad del puente (I_{VP}) mediante la Ec. 1. Los resultados de los puentes analizados se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de evaluación de puentes

Puente evaluado	I_E	I_S	I_A	I_{Es}	I_{En}	I_{VP}
Balsa – caño Balsa	26	3	0	12	38	15,5
El Anís – quebrada San Pablo	60	0	12	18	36	27,9
Cruz Verde – río Albarregas	51	12	0	10	34	24,5

Fuente propia.

Al comparar el resultado de I_{VP} con el rango de valores de la Tabla 18, se obtienen las siguientes clasificaciones:

Tabla 20. Clasificación y recomendaciones para los puentes evaluados.

Puente evaluado	I_{VP}	Clasificación	Recomendaciones
Balsa	15,5	Buena	Mantenimiento mínimo e inspección anual
El Anís – Quebrada San Pablo	27,9	Media	Mantenimiento preventivo
Cruz Verde	24,5	Media	Mantenimiento preventivo

Fuente propia.

Los resultados en la Tabla 20 muestran las condiciones actuales de los puentes analizados. Del análisis de estos valores se tiene que:

Para puente Balsa, el I_{VP} dio como resultado un valor de 15,5 lo que posiciona a la estructura en la clasificación “Buena”, en este caso no hay factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente, y que puedan ponerlo en riesgo inmediato. Se recomienda realizar un mantenimiento mínimo, como remoción de vegetación y escombros en la sección transversal del puente, y una inspección anual para monitorear su comportamiento con especial atención a la curvatura formada aguas arriba del puente pues esta puede ser la causante de un posible cambio de dirección del flujo y ángulo de incidencia del río.

Por otro lado, para el Puente El Anís – Quebrada San Pablo, el I_{VP} dio como resultado un valor de 27,9 lo que posiciona a la estructura en la clasificación “Media”. Existen factores hidráulicos que afectan al puente, evidenciados por los problemas actuales que presenta la subestructura y relacionados directamente con los graves y fuertes problemas de agradación que evidencia el cauce en el sitio de emplazamiento del puente. Se recomienda realizar un mantenimiento correctivo de los daños ocasionados por el arrastre del sedimento de las vigas, y adicionalmente un mantenimiento preventivo para preservar las condiciones de la estructura,

especialmente porque el valor del I_{VP} se encuentra cercano al límite superior, lo que podría indicar un posible cambio de clasificación a “Mala” en un futuro cercano. El principal problema de este puente no es la erosión del cauce sino, por el contrario, la agradación. Es por esta razón que deben plantearse estrategias como programas de canalización del cauce y estructuras de control de sedimentos, donde se debe considerar un diseño que permita el fácil mantenimiento de estas obras, además se recomienda la implementación de un plan de inspección y mantenimiento con una frecuencia de, por lo menos, cada 6 meses en las zonas aguas arriba de la estructura, o después de grandes crecidas. Sin embargo, es importante hacer notar que la pila del puente, aquella mayormente afectada por la crecida de marzo 2023, fue rehabilitada y sus condiciones fueron recuperadas, sin embargo, el cabezal y las 6 vigas del puente, ubicadas hacia aguas arribas no han sido rehabilitadas por lo que el carril sentido Mérida – El Vigía, está inutilizado, se recomienda hacer la rehabilitación lo más pronto posible siguiendo las recomendaciones de un ingeniero estructural. Se sugiere además mejorar la señalización en la vía, indicando claramente la inhabilitación del carril durante la reparación de las vigas faltantes, a fin de evitar accidentes y prevenir un mayor deterioro de la estructura.

Finalmente, al inspeccionar el puente Cruz Verde, el I_{VP} dio como resultado un valor de 24,5 lo que posiciona a la estructura en la clasificación “Media”, indicando que hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero que aún no hay problemas mayores con la estructura. Se recomienda hacer mantenimiento preventivo para conservar las condiciones de la estructura, con especial atención a la socavación existente de ambos estribos. Para esto se sugiere realizar la protección de las márgenes aguas arriba y los estribos en estudio para mejorar la orientación del flujo sobre la estructura, esta protección puede ser realizada mediante algún método de revestimiento como el riprap. Se recomienda también efectuar la limpieza del cauce aguas arriba y aguas abajo de la estructura para mejorar el flujo por el cauce, o incluso ejecutar labores de canalización que pretendan aumentar la capacidad hidráulica de conducción. Adicionalmente se aconseja realizar inspecciones cada 6 meses o después crecidas importantes.

En el caso de que fuera necesario priorizar el mantenimiento de los puentes, se debería comenzar por aquellos con el valor de I_{VP} más alto. En este análisis en particular, la reparación prioritaria correspondería al puente El Anís – quebrada San Pablo, al tener el I_{VP} más elevado del grupo estudiado. A continuación, seguiría el puente Cruz Verde – río Albarregas, y finalmente el puente Balsa – caño Balsa, que requeriría un mantenimiento anual.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La metodología de evaluación primaria de puentes desarrollada en este trabajo de grado se presenta como una herramienta útil y práctica para conocer el estado actual de las estructuras existentes. Este enfoque no solo permite realizar un diagnóstico rápido de los puentes en peligro, sino que también facilita la priorización de recursos al identificar las estructuras que requieren atención inmediata.

Al aplicar la metodología y calcular cada uno de los índices es posible obtener una idea clara del estado actual de cada estructura según el área evaluada. Esto se refleja en los resultados de los índices estudiados, los cuales se agrupan en cuatro grandes categorías: índice estructural, índice de socavación / agradación, índice de estabilidad e índice del entorno.

La metodología establecida permitió definir una categorización de las estructuras en función al grado de daño hidráulico (I_{VP}) de los puentes que va desde buena, media, mala y crítica. Los límites de clasificación fueron establecidos en los siguientes rangos: entre $3.2 \leq I_{VP} \leq 20$ para una clasificación "Buena", entre $20 < I_{VP} \leq 30$ para "Media", entre $30 < I_{VP} \leq 40$ para "Mala", y $I_{VP} > 40$ para "Crítica".

La implementación de esta metodología permite la creación de un inventario nacional de puentes fluviales, proporcionando un registro detallado de su estado y comportamiento a lo largo del tiempo.

En el caso del índice de vulnerabilidad estructural (I_E), el escenario hipotético más desfavorable tendría una puntuación de 244. En el análisis de los puentes en estudio, el puente El Anís presentó el valor más alto con 60 puntos, mientras que el puente Balsa obtuvo el valor más bajo con 26 puntos. Para el índice de socavación (I_S), el peor escenario arrojaría un valor de 60, y para el índice de agradación (I_A), un valor de 12. En el análisis, el puente Cruz Verde alcanzó el valor más alto en socavación con 12 puntos, mientras que el puente Balsa registró el más bajo con 3 puntos. En cuanto al índice de agradación, el puente El Anís obtuvo un valor de 12, coincidiendo con mayor valor posible en este campo.

Con respecto al índice de estabilidad (I_{Es}), el valor máximo en un escenario desfavorable sería de 24 puntos. En los puentes analizados, el resultado más alto correspondió al puente El Anís con 18 puntos, mientras que el mínimo fue de 10 puntos para el puente Cruz Verde. Finalmente, para el índice de vulnerabilidad del entorno (I_{En}), el valor máximo observado fue de 38 puntos en el puente Balsa, y el mínimo fue de 34 puntos en el puente Cruz Verde. Comparado con el escenario más desfavorable, donde el índice podría alcanzar un valor de 77, estos resultados evidencian una menor vulnerabilidad en los puentes evaluados.

Al analizar y comparar los puentes, se obtuvo el índice final denominado "índice de vulnerabilidad del puente" (I_{VP}), cuyo valor máximo puede alcanzar los 100 puntos. En los casos analizados, el puente El Anís, sobre la quebrada San Pablo, obtuvo la mayor puntuación con 27,9 puntos, seguido por el puente Cruz Verde, sobre el río Albarregas, con 24,5 puntos, y finalmente, el puente Balsa, sobre el caño Balsa, con un I_{VP} de 15,5 puntos.

De acuerdo con estos rangos, el puente Balsa fue clasificado como "Bueno", mientras que los puentes El Anís y Cruz Verde se clasificaron como "Medio", dando simultáneamente la jerarquización para la toma de decisiones con respecto a la gestión de recursos. Es importante recordar que cada puente analizado es un caso particular lo que implica que los resultados obtenidos serán específicos para cada estructura. Por ello, es fundamental analizar detalladamente cada valor de los índices de vulnerabilidad y el índice final de vulnerabilidad del puente para poder determinar con precisión el tipo de mantenimiento más adecuado y las actividades que deben llevarse a cabo en cada uno.

Además, el análisis realizado equilibra de manera efectiva la relevancia de la vialidad y los indicadores hidráulicos asociados a cada puente, ofreciendo así un soporte adicional en la toma de decisiones.

Recomendaciones

Es importante señalar que el estado Mérida no cuenta con un inventario de sus puentes ni de su condición actual. Por ello, sería una buena práctica aplicar la metodología a los puentes fluviales del estado, lo que permitiría jerarquizarlos de acuerdo con sus condiciones hidráulicas actuales y, a partir de ello, desarrollar un plan de mantenimiento. Esta recomendación podría ampliarse a nivel nacional e internacional según las necesidades de cada región, lo que permitiría contar con un inventario y un registro del comportamiento y mantenimiento de las estructuras a lo largo del tiempo.

Se recomienda que la metodología sea aplicada por un profesional en el área, preferiblemente con experiencia, esto facilitará la recolección de datos en el campo. Es importante destacar que siempre se obtendrán resultados más acertados si se cuenta con los criterios de diseño de los puentes, lo que permite tener resultados más confiables. Sin embargo, la metodología de evaluación primaria de puentes está diseñada para también ser utilizada sin la información de diseño de la estructura, solo con herramientas al alcance de cualquier usuario con acceso a internet.

Desarrollar una aplicación basada en este modelo pues fortalecería aún más la capacidad de monitoreo y gestión de puentes fluviales, asegurando que los esfuerzos de mantenimiento se enfoquen en las estructuras más vulnerables, garantizando así su durabilidad y seguridad. Se recomienda pueda ser utilizada por el usuario con o sin conexión a internet para así poder realizar inspecciones en zonas remotas donde la señal de internet no esté siempre presente.

Capítulo 6. Referencias bibliográficas

- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica, 6a Edición*. Caracas, Venezuela: Editorial EPISTEME, C.A.
- Camacho, F. (2005). *Actualización de criterios para el diseño hidráulico-fluvial de puentes*. Caracas: Fundación Juan José Aguerreverre.
- Diseño y Construcciones Integrados C.A. (2016). *ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL PUENTE SOBRE EL CAÑO Balsa, ESTADO Mérida*. Mérida, Venezuela.
- Diseño y Construcciones Integrados C.A. (2016). *PROYECTO ESTRUCTURAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE Balsa, MUNICIPIO ALBERTO ADRIANI, ESTADO Mérida*. Mérida, Venezuela.
- Flores, I., & Aguirre, J. (2006). *Hidráulica Fluvial*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Fonseca, J. S. (Diciembre de 2021). Metodología para la evaluación hidráulica y priorización de puentes. Costa Rica.
- González, J., & Downing, E. (1991). *Instrucctivo para la Evaluación de Puentes*. Caracas: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Grases, J. (2006). *Ingenieria Forense y Estudios de Sitio, Guía para la prevención y Gestion de riesgos*. Caracas: Consulibris 83 GV, C.A.
- Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México DF: McGraw Hill.
- Jugo B., A. (2014). ¿Cuánt nos cuesta tener malos pavimentos? *Sísmica Magazine*, 16-19.
- León, G., & Entralgo, E. (Junio de 2023). *Métodos Estadísticos Básicos*. Mérida, Venezuela.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G., & Miller, J. P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. W.H. Freeman and Company.
- Martín, J. (2003). *Ingeniería de ríos*. México D.F.: Alfaomega.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones República del Perú. (2006). *Guia para inspeccion de Puentes*. Perú.
- Ministerio Popular de Obras Públicas. (2017). *Inventario de Puentes Existentes del Estado Mérida*. Mérida, Venezuela.
- Ministerio Popular para el Transporte. (Febrero de 1978). Puente Quebrada El Anis Km 12+0.50. *Planos Dirección Obras Especiales*. Venezuela.
- Moreno, A., & Moreno, M. (2019). *Diseño de nuevo puente sobre el río Albarregas, en el enlace la Cruz Verde, de la ciudad de Mérida, Venezuela. (Trabajo especial de grado)*. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Questionpro, S. p. (2024). *Questionpro*. Recuperado el 22 de Mayo de 2024, de https://www.questionpro.com/blog/es/metodos-de-evaluacion-de-desempeno-mas-importantes/#6_Escala_de_calificaciones
- R&Q Ingenieria. (21 de Diciembre de 2021). El clave de los puentes para conectar al país. *Diario Financiero*, 25.
- Rocha, A. (2010). COMENTARIOS SOBRE ASPECTOS HIDRÁULICOS DEL MANUAL DE DISEÑO DE PUENTES. *IV CONGRESO INTERNACIONAL INGENIERÍA ESTRUCTURAL, SÍSMICA Y PUENTES*, (pág. 16). Lima.
- Rocha, A. (2013). *Introducción a la Hidráulica de Obras Viales, 3ra edición*. Peru: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Shirole, A. M., & Holt, R. C. (1991). *Planning for a Comprehensive Bridge Safety Assurance Program*. Washington, USA: Transportation research record 1290.
- Tonias, D. E., & Zhao, J. J. (2007). *Bridge Engineering, second Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Torres, R., Fernando, S., & Inglessis, P. (S/F). Evaluación general de puentes existentes. *VI Jornadas Científico Técnicas de la Facultad de Ingeniería*, 54-62.
- Torres, R., Sarmiento, F., & Inglessis, P. (2008). Evaluación y Rehabilitación de puentes. *XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*. Santiago de Chile.
- U.S. Department of Transportation. (17 de March de 2024). *Bureau of Transportation Statistics*.
Obtenido de https://geodata.bts.gov/datasets/5e58970e89934e818f38772859addf43_0/explore?showTable=true

Universidad Nacional de Colombia. (2006). *Manual para la inspección visual de puentes y pontones*. Bogotá.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador UPEL. (2014). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 7. Anexos

Anexo 1: Hoja de recolección de datos	78
Anexo 2: Metodología de evaluación primaria de puentes	82
Anexo 3: Recolección de datos y cálculos puente Balsa	94
Anexo 4: Recolección de datos y cálculos puente El Anís	106
Anexo 5: Recolección de datos y cálculos puente Cruz Verde	118
Anexo 6: Tablas de socavación y estabilidad de cauces	130

www.bdigital.ula.ve

Anexo 1: Hoja de recolección de datos

www.bdigital.ula.ve

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

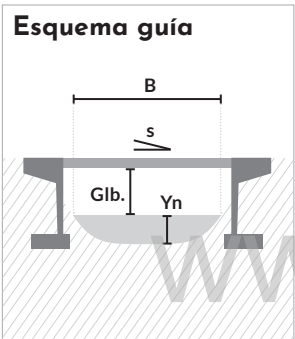
Recolección de datos

Identificación de la estructura

Nombre del puente:	
Ubicación:	
Nombre del río:	
Tipo de puente:	Año de construcción: Longitud:
Vigas ☐ Atirantado ☐ Volados sucesivos ☐ Armadura ☐ Otros ☐	

Nombre del inspector:
Fecha de inspección:
/ /

1. Geometría de la estructura



Croquis del puente

Geometría de la sección transversal	
B (m)	
Yn (m)	
s (%)	
Galíbo (m)	

Dimensiones de las pilas

Nº pilas:	Ancho (m)
	Largo (m)

Pila 1	Pila 2	Pila 3
--------	--------	--------

Pila 4

2. Subestructura

Estribo izquierdo	Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad alta		
	¿En contacto con agua?		Deterioro		
	Sí ☐ No ☐		0 1 2 3 4		
	Material		Grietas		
Concreto ☐ Madera ☐ Metal ☐ Otro ☐		Sí ☐ No ☐		0 1 2 3 4	

Estribo derecho	Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad alta		
	¿En contacto con agua?		Deterioro		
	Sí ☐ No ☐		0 1 2 3 4		
	Material		Grietas		
Concreto ☐ Madera ☐ Metal ☐ Otro ☐		Sí ☐ No ☐		0 1 2 3 4	

Observaciones

--

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Recolección de datos

Pila 1

Forma	☐ Circular	☐ Lenticular	☐ Elíptica	☐ Ojival	☐ Rectangular	☐ Otra
Factor de alargamiento	☐ $L/b=1$	☐ $1<L/b<2$	☐ $2<L/b<3$	☐ $L/b\geq 4$	Deterioro	Sin vulnerabilidad 0 1 2 3 4 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Material	☐ Concreto	☐ Madera	☐ Metal	☐ Otro	Grietas	0 1 2 3 4 Sí ☐ No ☐

Pila 2

Forma	☐ Circular	☐ Lenticular	☐ Elíptica	☐ Ojival	☐ Rectangular	☐ Otra
Factor de alargamiento	☐ $L/b=1$	☐ $1<L/b<2$	☐ $2<L/b<3$	☐ $L/b\geq 4$	Deterioro	Sin vulnerabilidad 0 1 2 3 4 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Material	☐ Concreto	☐ Madera	☐ Metal	☐ Otro	Grietas	0 1 2 3 4 Sí ☐ No ☐

Fundaciones

Fundación de estribos: Superficial ☐ Profunda ☐

Fundación de pilas: Superficial ☐ Profunda ☐

Aletas

¿En contacto con agua?	Sí ☐ No ☐	Deterioro	Sin vulnerabilidad 0 1 2 3 4 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐			
Material	☐ Concreto	☐ Madera	☐ Metal	☐ Otro	Grietas	0 1 2 3 4 Sí ☐ No ☐

2. Superestructura

	Sin vulnerabilidad	Vulnerabilidad alta			
	0	1	2	3	4
Deformaciones del pavimento	☐	☐	☐	☐	☐
Deformaciones en tablero/armadura	☐	☐	☐	☐	☐
Terraplenes de acceso	☐	☐	☐	☐	☐

3. Socavación

	Sin vulnerabilidad	Vulnerabilidad alta			
	0	1	2	3	4
Socavación local en estribos	Estribo izquierdo	☐	☐	☐	☐
	Estribo derecho	☐	☐	☐	☐
Socavación local en pilas	Pila 1	☐	☐	☐	☐
	Pila 2	☐	☐	☐	☐
Socavación en curvas		☐	☐	☐	☐

4. Agradación

	Sin vulnerabilidad	Vulnerabilidad alta			
	0	1	2	3	4
Agradación	☐	☐	☐	☐	☐

5. Estabilidad del cauce

	Sin vulnerabilidad	Vulnerabilidad alta			
	0	1	2	3	4
Estabilidad general	☐	☐	☐	☐	☐
Estabilidad lateral	☐	☐	☐	☐	☐
Estabilidad vertical	☐	☐	☐	☐	☐

Observaciones

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Recolección de datos

Alteraciones del cauce por socavación o agradación

Razones humanas	☐ Modificación del cauce	☐ Cortes de meandros
	☐ Canalización	☐ Extracción de grava y arena
	☐ Dragado	☐ Desviación del caudal
	☐ Uso de la tierra	

Razones naturales	☐ Cortes naturales de meandros
	☐ Actividad sísmica
	☐ Cambios climáticos

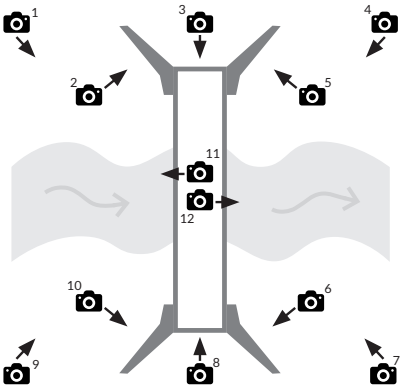
6. Entorno

Características del río	Forma natural ☐ Recto ☐ Sinuoso ☐ Meandroso ☐ Trenzado ☐ Mixto	Caract. cuenca aportante	Tamaño ☐ < 500 Ha ☐ > 500 Ha	Topografía ☐ Accidentada ☐ Media ☐ Llana	
	Ángulo de incidencia ☐ $0^\circ < \alpha < 15^\circ$ ☐ $15^\circ < \alpha < 30^\circ$ ☐ $30^\circ < \alpha < 45^\circ$ ☐ $\alpha > 45^\circ$		Material disponible para transporte Sí ☐ No ☐ Sin vulnerabilidad 0 1 2 3 4 Vulnerabilidad alta 0 1 2 3 4	Forma ☐ Alargada ☐ Redondeada	Grado de deforestación ☐ Alto ☐ Moderado ☐ Medio ☐ Poco
	Medidas de protección Sí ☐ No ☐ 0 1 2 3 4				
Contornos	Material d_{50} del lecho ☐ Peñones o canto rodado ☐ Gravas ☐ Arenas ☐ Limos ☐ Arcillas	Cobertura vegetal en el cauce Sí ☐ No ☐ Sin vulnerabilidad 0 1 2 3 4 Vulnerabilidad alta 0 1 2 3 4	Cobertura vegetal en los márgenes Sí ☐ No ☐ 0 1 2 3 4		
	Material d_{50} de las márgenes ☐ Peñones o canto rodado ☐ Gravas ☐ Arenas ☐ Limos ☐ Arcillas				

Entrevista a habitantes

Apuntar experiencia + nombre y tiempo en la zona

Puntos de fotografías



Observaciones

Anexo 2: Metodología de evaluación primaria de puentes

www.bdigital.ula.ve

EVALUACIÓN PRIMARIA DE DAÑOS DE ORIGEN HIDRÁULICO EN PUENTES

ÍNDICE

00	<u>Instructivo de uso</u>
01	<u>Geometría</u>
02	<u>Estructura</u>
02a	<u>Pilas</u>
03	<u>Socavación</u>
04	<u>Agradación</u>
05	<u>Estabilidad</u>
06	<u>Entorno</u>
07	<u>Resultados</u>



ING. LAURA DÁVILA
davilalaurae@gmail.com



CIDIAT. Mérida, Venezuela
Octubre, 2024

V01

C.C. RECONOCIMIENTO NO COMPARTIR

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Sí

No

Material de los elementos		Tipos de Puentes	Tipos de río	Forma de las Pilas		Factor de alargamiento	
Concreto	2	Vigas	Montaña	Circular	1	$L/b=1$	1
Madera	3	Atirantado	Llanura	Lenticular	2	$1<L/b<2$	2
Metal	4	Volados sucesivos		Elíptica	3	$2<L/b<3$	3
Otro	4	Armadura		Ojival	1	$L/b \geq 4$	4
		Otros		Rectangular	4		
				Otros	4		

Formas natural del río		Grado de deterioro	Tipos de Cauce	Tipo de Suelo	Angulo de incidencia		Tipo de Fundación	
Recto	1	Bajo	Definido	Cohesivo	$0^{\circ} < \alpha < 15^{\circ}$	1	Superficial	3
Sinuoso	1	Medio	Indefinido	No cohesivo	$15^{\circ} < \alpha < 30^{\circ}$	2	Profunda	1
Meandroso	4	Alto			$30^{\circ} < \alpha < 45^{\circ}$	3		
Trenzado	4				$\alpha > 45^{\circ}$	4		
Mixto	4							

Clasificación de sedimentos		CUENCAS		Tamaño		Topografía		Grado de deforestación	
		Tipo de cuencas							
		Alargada	1	< 500 Ha	1	Accidentada	3	Alto	4
Peñones o cantos rodados	1	Redondeada	3	> 500 Ha	2	Media	2	Moderado	3
Gravas	2					Llana	1	Medio	2
Arenas	3							Poco	1
Limos	4								
Arcillas	4								

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Instructivo de uso

[Ir al índice](#)

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

La metodología de evaluación primaria de puentes es una herramienta cualitativa – cuantitativa que permite evaluar cada variable de los elementos del puente de manera ordenada mediante el uso de una escala de vulnerabilidad que se pondera con una escala de severidad. El usuario debe completar las celdas de color azul, rellenar la ficha identificativa de la primera pestaña y rellenar los campos de desarrollo que se indican.

Leyenda de colores

Celda	Significado
	Celdas de evaluacion de la variable, deben ser completadas por el usuario
	Celdas de severidad de la variable, estan preestablecidas por la metodologia y no deben ser modificadas por el usuario
	Celdas de resultados, indica el resultado parcial de la variable

Índice de vulnerabilidad de estabilidad (IEs)

Se refiere al resultado de analizar la estabilidad del cauce en campo, la estabilidad de un cauce puede ser determinada analizando la estabilidad general, estabilidad lateral y estabilidad vertical.

Índice de vulnerabilidad del entorno (IEn)

Es el resultado de analizar los parámetros del entorno que afectan a la estructura, entre los parámetros tenemos: formas del río, ángulo de esviaje, material disponible para transporte, medidas de protección, características de la cuenca como tamaño, forma, topografía y uso de la tierra; material y cobertura vegetal de márgenes y lecho el cauce.

Índice de vulnerabilidad del puente (Ivp)

Se refiere al resultado final de la estructura, que refleja el estado actual de la estructura. Es un valor comprendido entre los valores 3.2 y 100, siendo aquellos puentes que tienden al limite superior, aquellos puentes en peor estado.

Toma de datos y transcripción

El usuario, en campo, recogerá los datos solicitados en las hojas de "Recolección de datos" y luego en trabajo de mesa los transcribirá en esta herramienta.

Informe fotográfico

Las variables evaluadas deben ser soportadas con un registro fotográfico, en la Fig. 1 se muestra un esquema de recomendación donde deben ser tomadas las fotografías y uniformizar la información. Adjuntar cualquier fotografía adicional que el usuario considere pertinente.

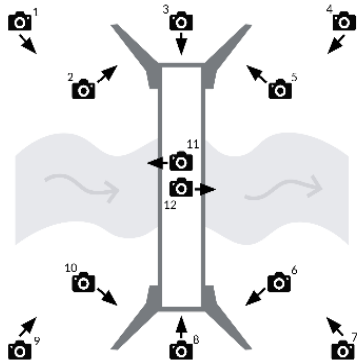


Fig. 1. Puntos de fotografías

Evaluación de vulnerabilidad

La evaluación se determinará mediante la inspección visual en campo de cada una de las variables de los elementos, la evaluación corresponde a un rango que varía de 0 a 4, donde aquellos valores que tienden a cero corresponden a aquellas evaluación poco vulnerables y por el contrario aquellas evaluaciones cercanas a 4, corresponden a vulnerabilidades altas.

Severidad

El grado de severidad permite ponderar la evaluación de vulnerabilidad de cada variable, según su importancia. El grado de severidad es un parámetro establecido por la metodología y no deber ser modificado por el usuario.

Resultado

Es el resultado parcial de cada variable afectado por el grado de severidad.

Índice de vulnerabilidad estructural (IE)

Es el resultado parcial de la evaluación de las variables relacionadas con la subestructura y la superestructura. Se refiere a elementos como estribos, pilas, fundaciones y aletas con respecto a la subestructura, y deformaciones en el pavimento, deformaciones en el tablero/armadura y en los terraplenes de acceso con respecto a la superestructura.

Índice de vulnerabilidad de socavación (IS)

Es el resultado de la evaluación de los diferentes tipos de socavación que pueden afectan al puente y que pueden ser diagnosticados mediante inspección visual. Entre estos tipos se incluyen la socavación en estribos, la socavación en pilas y la socavación en curvas.

Índice de vulnerabilidad de agradación (IA)

Se refiere a la evaluación del ascenso de la cota del lecho del río. Es importante señalar que el índice de vulnerabilidad de socavación (IS) y el índice de vulnerabilidad de agradación (IA) son mutuamente excluyentes.

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

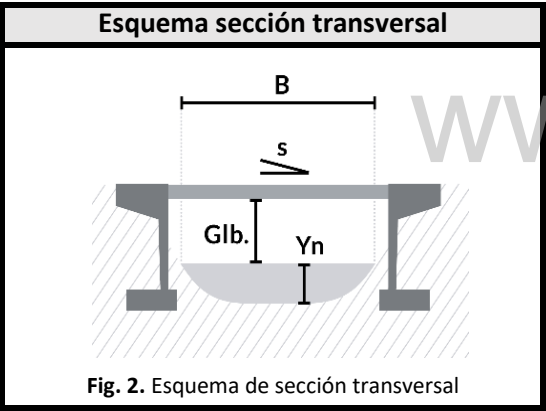
Nombre del puente		Año de construcción	
Ubicación		Longitud	
Nombre del río		Fecha de inspección	
Tipo de puente		Nombre del inspector	

Tipo de Puente		
----------------	--	--

[Ir al índice](#)

Geometría de la sección transversal	
B (m)	
Yn (m)	
s (%)	
Tipo de río	Llanura
Gálibo	

Dimensiones de las pilas			
Pila 1		Pila 2	
Ancho (m)		Ancho (m)	
Largo (m)		Largo (m)	



Croquis de la estructura

www.bdigital.ula.ve

Fotografías

--	--

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	0	Año de construcción	0
Ubicación	0	Longitud	0
Nombre del río	0	Fecha de inspección	0
Tipo de puente	0	Nombre del inspector	0

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SUBESTRUCTURA

2.1 Estribos

Estribo izquierdo				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
En contacto con agua	0	2	0	
Material	0	2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Estribo Derecho				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
En contacto con agua	0	2	0	
Material	0	2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad estructural
0

Observaciones

2.2 Pilas

Cantidad

Pila 1				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma	0	3	0	
Factor de alargamiento	0	3	0	
Material	0	2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila 2				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma	0	3	0	
Factor de alargamiento	0	3	0	
Material	0	2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Fotografías

2.3 Fundaciones

	Evaluación	Severidad	Resultado	
Fundación de estribos	0	3	0	
Fundación de pilas	0	3	0	
Sub-total			0	

2.4 Aletas

	Evaluación	Severidad	Resultado	
En contacto con agua	0	2	0	
Material	0	2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

SUPERESTRUCTURA

	Evaluación	Severidad	Resultado	
Deformaciones del pavimento		1	0	
Deformaciones en tablero/armadura		1	0	
Terraplenes de acceso		1	0	
Sub-total			0	

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	0	Año de construcción	0
Ubicación	0	Longitud	0
Nombre del río	0	Fecha de inspección	0
Tipo de puente	0	Nombre del inspector	0

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SUBESTRUCTURA -PILAS

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

Índice de vulnerabilidad de las pilas
0

Observaciones

Fotografías

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	0	Año de construcción	0
Ubicación	0	Longitud	0
Nombre del río	0	Fecha de inspección	0
Tipo de puente	0	Nombre del inspector	0

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SOCACACIÓN

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Socavación local en estribos			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Estribo izquierdo		3	0
Estribo derecho		3	0
Sub-total			0

Socavación local en pilas			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Pila 1		3	0
Pila 2		3	0
Sub-total			0

Índice de vulnerabilidad de socavación	
0	

Socavación en curvas			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Socavación en curvas		3	0
Sub-total			0

Alteraciones del Cauce por Socavación

Razones Humanas	
Modificación del cauce	☐
Canalización	☐
Dragado	☐
Cortes de meandros	☐
Extracción de grava y arena	☐
Desviación de caudal	☐
Uso de la tierra:	

Razones Naturales	
Cortes naturales de meandros	☐
Actividad sísmica	☐
Cambios climáticos	☐

Observaciones

Fotografías

--	--

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	0	Año de construcción	0
Ubicación	0	Longitud	0
Nombre del río	0	Fecha de inspección	0
Tipo de puente	0	Nombre del inspector	0

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

AGRADACIÓN

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Agradación			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Agradación		3	0
Sub-total			0

Índice de vulnerabilidad de agradación
0

Alteraciones del Cauce por Agradación

Razones Humanas	
Modificación del cauce	☐
Canalización	☐
Dragado	☐
Cortes de meandros	☐
Extracción de grava y arena	☐
Desviación de caudal	☐
Uso de la tierra	☐

Razones Naturales	
Cortes naturales de meandros	☐
Actividad sísmica	☐
Cambios climáticos	☐

Observaciones

Fotografías	

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	0	Año de construcción	0
Ubicación	0	Longitud	0
Nombre del río	0	Fecha de inspección	0
Tipo de puente	0	Nombre del inspector	0

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

Estabilidad del cauce: Valoración en campo

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad General		2	0

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad Lateral		2	0

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad Vertical		2	0

Grado de Severidad

1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad de estabilidad

0

Fotografías

Observaciones

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	0	Año de construcción	0
Ubicación	0	Longitud	0
Nombre del río	0	Fecha de inspección	0
Tipo de puente	0	Nombre del inspector	0

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

ENTORNO

	Evaluación	Severidad	Resultado
Forma natural del río	0	1	0
Ángulo de incidencia	0	3	0
Material disponible para transporte	3	3	0
Medidas de protección		2	0
Sub-total			0

Características de la cuenca aportante			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Tamaño	0	2	0
Forma	0	2	0
Topografía	0	1	0
Grado de deforestación	0	1	0
Sub-total			0

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad del entorno
0

Recomendaciones		
Variable	Condición	Evaluación
Material disponible para transporte: rocas de tamaño	< 1 m	2
	1 < d < 2	3
	> 2 m	4

Contornos			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Material predominante del lecho	0	2	0
Material predominante de las márgenes	0	2	0
Cobertura vegetal en el cauce		1	0
Cobertura vegetal en las márgenes		1	0
Sub-total			0

Observaciones

Entrevista a habitantes

--

Fotografías

--	--

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	0	Año de construcción	0
Ubicación	0	Longitud	0
Nombre del río	0	Fecha de inspección	0
Tipo de puente	0	Nombre del inspector	0

Resultado de evaluación del puente					
I_E	I_S	I_A	I_{Es}	I_{En}	I_{VP}
0	0	0	0	0	0.0

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad estructural	I_E	x
Índice de vulnerabilidad de socavación	I_S	$2x$
Índice de vulnerabilidad de agradación	I_A	$2x$
Índice de vulnerabilidad de estabilidad	I_{Es}	$0.5x$
Índice de vulnerabilidad del entorno	I_{En}	$0.75x$

$$x \cdot I_E + 2x \cdot I_S + 2x \cdot I_A + 0.5x \cdot I_{Es} + 0.75x \cdot I_{En} = I_{VP}$$

Donde $x = 0.23269$

$$\therefore I_{VP} = 0.23269 \cdot I_E + 0.46539 \cdot I_S + 0.46539 \cdot I_A + 0.11635 \cdot I_{Es} + 0.17452 \cdot I_{En}$$

Valor del multiplicador	x	0.23269
-------------------------	-----	---------

www.bdigital.ula.ve

I_{VP}	Clasificación	Recomendaciones
$3.5 < I_{VP} < 20$	Bueno	No hay factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente. Se recomienda realizar una inspección y mantenimiento mínimo anual.
$20 < I_{VP} < 30$	Media	Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas con el puente. Se recomienda hacer mantenimiento preventivo para conservar las condiciones de la estructura.
$30 < I_{VP} < 40$	Mala	Hay factores importantes que afectan el puente. Se recomienda tomar precauciones, realizar un mantenimiento correctivo, y monitorear el comportamiento de la estructura.
$I_{VP} > 40$	Crítica	Hay factores muy importantes que afectan el puente, se deben tomar medidas de emergencia y hacer un estudio mas detallado de la estructura.

Anexo 3: Recolección de datos y cálculos puente Balsa

www.bdigital.ula.ve

EVALUACIÓN PRIMARIA DE DAÑOS DE ORIGEN HIDRÁULICO EN PUENTES

ÍNDICE

00	<u>Instructivo de uso</u>
01	<u>Geometría</u>
02	<u>Estructura</u>
02a	<u>Pilas</u>
03	<u>Socavación</u>
04	<u>Agradación</u>
05	<u>Estabilidad</u>
06	<u>Entorno</u>
07	<u>Resultados</u>



ING. LAURA DÁVILA
davilalaurae@gmail.com



CIDIAT. Mérida, Venezuela
Octubre, 2024

V01

C.C. RECONOCIMIENTO NO COMPARTIR

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Sí

No

Material de los elementos		Tipos de Puentes	Tipos de río	Forma de las Pilas		Factor de alargamiento	
Concreto	2	Vigas	Montaña	Circular	1	$L/b=1$	1
Madera	3	Atirantado	Llanura	Lenticular	2	$1<L/b<2$	2
Metal	4	Volados sucesivos		Elíptica	3	$2<L/b<3$	3
Otro	4	Armadura		Ojival	1	$L/b \geq 4$	4
		Otros		Rectangular	4		
				Otros	4		

Formas natural del río		Grado de deterioro	Tipos de Cauce	Tipo de Suelo	Angulo de incidencia		Tipo de Fundación	
Recto	1	Bajo	Definido	Cohesivo	$0^{\circ} < \alpha < 15^{\circ}$	1	Superficial	3
Sinuoso	1	Medio	Indefinido	No cohesivo	$15^{\circ} < \alpha < 30^{\circ}$	2	Profunda	1
Meandroso	4	Alto			$30^{\circ} < \alpha < 45^{\circ}$	3		
Trenzado	4				$\alpha > 45^{\circ}$	4		
Mixto	4							

Clasificación de sedimentos		CUENCAS		Tamaño		Topografía		Grado de deforestación	
		Tipo de cuencas							
		Alargada	1	< 500 Ha	1	Accidentada	3	Alto	4
Peñones o cantos rodados	1	Redondeada	3	> 500 Ha	2	Media	2	Moderado	3
Gravas	2					Llana	1	Medio	2
Arenas	3							Poco	1
Limos	4								
Arcillas	4								

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Instructivo de uso

[Ir al índice](#)

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

La metodología de evaluación primaria de puentes es una herramienta cualitativa – cuantitativa que permite evaluar cada variable de los elementos del puente de manera ordenada mediante el uso de una escala de vulnerabilidad que se pondera con una escala de severidad. El usuario debe completar las celdas de color azul, rellenar la ficha identificativa de la primera pestaña y rellenar los campos de desarrollo que se indican.

Leyenda de colores

Celda	Significado
	Celdas de evaluacion de la variable, deben ser completadas por el usuario
	Celdas de severidad de la variable, estan preestablecidas por la metodologia y no deben ser modificadas por el usuario
	Celdas de resultados, indica el resultado parcial de la variable

Índice de vulnerabilidad de estabilidad (IEs)

Se refiere al resultado de analizar la estabilidad del cauce en campo, la estabilidad de un cauce puede ser determinada analizando la estabilidad general, estabilidad lateral y estabilidad vertical.

Índice de vulnerabilidad del entorno (IEn)

Es el resultado de analizar los parámetros del entorno que afectan a la estructura, entre los parámetros tenemos: formas del río, ángulo de esviaje, material disponible para transporte, medidas de protección, características de la cuenca como tamaño, forma, topografía y uso de la tierra; material y cobertura vegetal de márgenes y lecho el cauce.

Índice de vulnerabilidad del puente (Ivp)

Se refiere al resultado final de la estructura, que refleja el estado actual de la estructura. Es un valor comprendido entre los valores 3.2 y 100, siendo aquellos puentes que tienden al limite superior, aquellos puentes en peor estado.

Toma de datos y transcripción

El usuario, en campo, recogerá los datos solicitados en las hojas de "Recolección de datos" y luego en trabajo de mesa los transcribirá en esta herramienta.

Informe fotográfico

Las variables evaluadas deben ser soportadas con un registro fotográfico, en la Fig. 1 se muestra un esquema de recomendación donde deben ser tomadas las fotografías y uniformizar la información. Adjuntar cualquier fotografía adicional que el usuario considere pertinente.

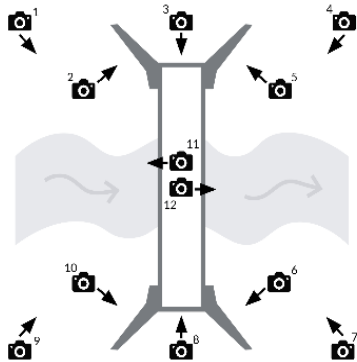


Fig. 1. Puntos de fotografías

Evaluación de vulnerabilidad

La evaluación se determinará mediante la inspección visual en campo de cada una de las variables de los elementos, la evaluación corresponde a un rango que varía de 0 a 4, donde aquellos valores que tienden a cero corresponden a aquellas evaluación poco vulnerables y por el contrario aquellas evaluaciones cercanas a 4, corresponden a vulnerabilidades altas.

Severidad

El grado de severidad permite ponderar la evaluación de vulnerabilidad de cada variable, según su importancia. El grado de severidad es un parámetro establecido por la metodología y no deber ser modificado por el usuario.

Resultado

Es el resultado parcial de cada variable afectado por el grado de severidad.

Índice de vulnerabilidad estructural (IE)

Es el resultado parcial de la evaluación de las variables relacionadas con la subestructura y la superestructura. Se refiere a elementos como estribos, pilas, fundaciones y aletas con respecto a la subestructura, y deformaciones en el pavimento, deformaciones en el tablero/armadura y en los terraplenes de acceso con respecto a la superestructura.

Índice de vulnerabilidad de socavación (IS)

Es el resultado de la evaluación de los diferentes tipos de socavación que pueden afectan al puente y que pueden ser diagnosticados mediante inspección visual. Entre estos tipos se incluyen la socavación en estribos, la socavación en pilas y la socavación en curvas.

Índice de vulnerabilidad de agradación (IA)

Se refiere a la evaluación del ascenso de la cota del lecho del río. Es importante señalar que el índice de vulnerabilidad de socavación (IS) y el índice de vulnerabilidad de agradación (IA) son mutuamente excluyentes.

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

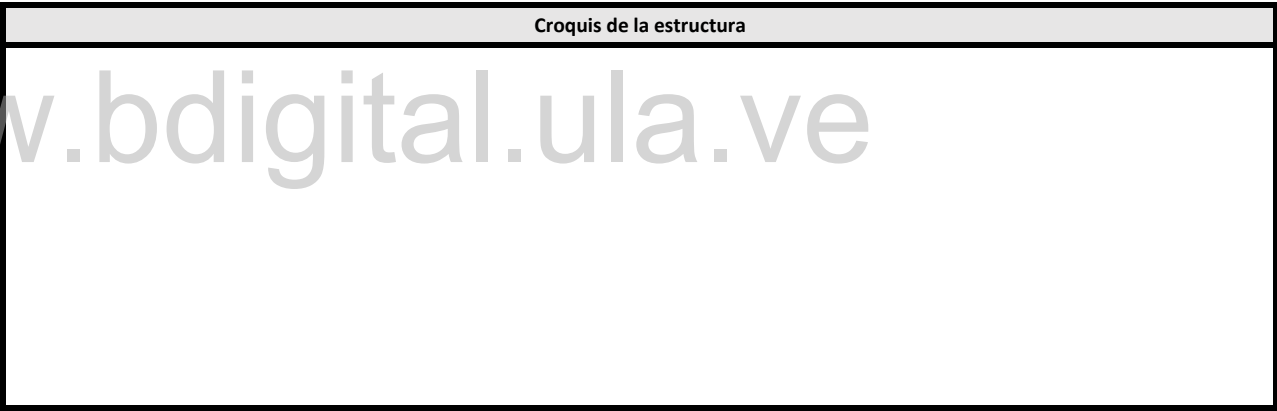
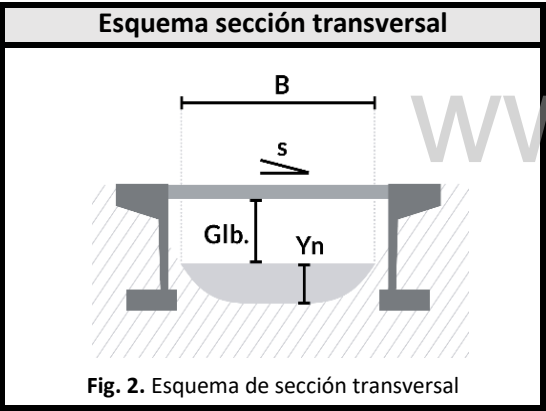
Nombre del puente	Puente Caño Balsa	Año de construcción	2019
Ubicación	El Vigía, Mérida	Longitud	56 m
Nombre del río	Caño Balsa	Fecha de inspección	14/9/2024
Tipo de puente	Vigas presforzadas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Tipo de Puente	Vigas
----------------	-------

[Ir al índice](#)

Geometría de la sección transversal	
B (m)	37.5
Yn (m)	0.3
s (%)	3.1
Tipo de río	Montaña
Gálibo (m)	1.5

Dimensiones de las pilas			
Pila 1		Pila 2	
Ancho (m)	1.43	Ancho (m)	
Largo (m)	1.43	Largo (m)	



Fotografías



Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Puente Caño Balsa	Año de construcción	2019
Ubicación	El Vigía, Mérida	Longitud	56 m
Nombre del río	Caño Balsa	Fecha de inspección	14/9/2024
Tipo de puente	Vigas presforzadas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SUBESTRUCTURA

2.1 Estribos

Estribo izquierdo				
		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	No	0	2	0
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				0

Estribo Derecho				
		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	No	0	2	0
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				0

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad estructural
26

Observaciones

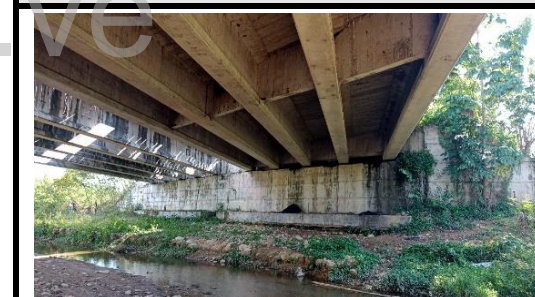
En el momento de la inspección los estribos no están en contacto con el agua, pero hay evidencias de que si han estado en contacto con el agua

2.2 Pilas	Sí
Cantidad	1

Pila 1				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma	Circular	1	3	3
Factor de alargamiento	$L/b=1$	1	3	3
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				10

Pila 2				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma	Circular	1	3	3
Factor de alargamiento	$L/b=1$	1	3	3
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				10

Fotografías



2.3 Fundaciones

		Evaluación	Severidad	Resultado
Fundación de estribos	Profunda	1	3	3
Fundación de pilas	Profunda	1	3	3
Sub-total				6

2.4 Aletas

		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	No	0	2	0
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				0

SUPERESTRUCTURA

	Evaluación	Severidad	Resultado
Deformaciones del pavimento	0	1	0
Deformaciones en tablero/armadura	0	1	0
Terraplenes de acceso	0	1	0
Sub-total			0



Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Puente Caño Balsa	Año de construcción	2019
Ubicación	El Vigía, Mérida	Longitud	56 m
Nombre del río	Caño Balsa	Fecha de inspección	14/9/2024
Tipo de puente	Vigas presforzadas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SUBESTRUCTURA -PILAS

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0	3	0
Factor de alargamiento		0	3	0
Material		0	2	0
Grado de deterioro			3	0
Grietas			3	0
Sub-total				0

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0	3	0
Factor de alargamiento		0	3	0
Material		0	2	0
Grado de deterioro			3	0
Grietas			3	0
Sub-total				0

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0	3	0
Factor de alargamiento		0	3	0
Material		0	2	0
Grado de deterioro			3	0
Grietas			3	0
Sub-total				0

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0	3	0
Factor de alargamiento		0	3	0
Material		0	2	0
Grado de deterioro			3	0
Grietas			3	0
Sub-total				0

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0	3	0
Factor de alargamiento		0	3	0
Material		0	2	0
Grado de deterioro			3	0
Grietas			3	0
Sub-total				0

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0	3	0
Factor de alargamiento		0	3	0
Material		0	2	0
Grado de deterioro			3	0
Grietas			3	0
Sub-total				0

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad de las pilas	
0	

Observaciones	

Fotografías

--	--

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Puente Caño Balsa	Año de construcción	2019
Ubicación	El Vigía, Mérida	Longitud	56 m
Nombre del río	Caño Balsa	Fecha de inspección	14/9/2024
Tipo de puente	Vigas presforzadas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SOCACACIÓN

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Socavación local en estribos			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Estribo izquierdo	0	3	0
Estribo derecho	1	3	3
Sub-total			3

Socavación local en pilas			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Pila 1	0	3	0
Pila 2	0	3	0
Sub-total			0

Índice de vulnerabilidad de socavación
3

Socavación en curvas			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Socavación en curvas	0	3	0
Sub-total			0

Alteraciones del Cauce por Socavación

Razones Humanas	
Modificación del cauce	☐
Canalización	☐
Dragado	☐
Cortes de meandros	☐
Extracción de grava y arena	☐
Desviación de caudal	☐
Uso de la tierra:	

Razones Naturales	
Cortes naturales de meandros	☐
Actividad sísmica	☐
Cambios climáticos	☐

Observaciones

La vía esta compuesta por dos puentes gemelos uno para cada sentido de circulación, sin embargo solo esta en funcionamiento el puente aguas arriba, mientras que el puente aguas abajo no fue finalizado, y esta aun en proceso de finalización. Es importante destacar que el estribo izquierdo del puente aguas abajo presenta socavacion de aproximadamnetes 1.5 m.

Fotografías



Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Puente Caño Balsa	Año de construcción	2019
Ubicación	El Vigía, Mérida	Longitud	56 m
Nombre del río	Caño Balsa	Fecha de inspección	14/9/2024
Tipo de puente	Vigas presforzadas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

AGRADACIÓN

Agradación			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Agradación		3	0
Sub-total			0

Grado de Severidad

1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad de agradación

0

Alteraciones del Cauce por Agradación

Razones Humanas

Modificación del cauce	☐
Canalización	☐
Dragado	☐
Cortes de meandros	☐
Extracción de grava y arena	☐
Desviación de caudal	☐
Uso de la tierra	☐

Razones Naturales

Cortes naturales de meandros	☐
Actividad sísmica	☐
Cambios climáticos	☐

Observaciones

Fotografías

--	--

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Puente Caño Balsa	Año de construcción	2019
Ubicación	El Vigía, Mérida	Longitud	56 m
Nombre del río	Caño Balsa	Fecha de inspección	14/9/2024
Tipo de puente	Vigas presforzadas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

Estabilidad del cauce: Valoración en campo

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad General	1	2	2

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad Lateral	2	2	4

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad Vertical	3	2	6

Grado de Severidad

1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad de estabilidad

12

Fotografías



Observaciones

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Puente Caño Balsa	Año de construcción	2019
Ubicación	El Vigía, Mérida	Longitud	56 m
Nombre del río	Caño Balsa	Fecha de inspección	14/9/2024
Tipo de puente	Vigas presforzadas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

ENTORNO

		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma natural del río	Trenzado	4	1	4
Ángulo de incidencia	$0^\circ < \alpha < 15^\circ$	1	3	3
Material disponible para transporte	Sí	2	3	6
Medidas de protección	No		2	0
Sub-total				13

Características de la cuenca aportante				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Tamaño	> 500 Ha	1	2	2
Forma	Redondeada	3	2	6
Topografía	Llana	1	1	1
Grado de deforestación	Poco	1	1	1
Sub-total		10		

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad del entorno
38

Recomendaciones		
Variable	Condición	Evaluación
Material disponible para transporte: rocas de tamaño	$< 1\text{ m}$	2
	$1 < d < 2$	3
	$> 2\text{ m}$	4

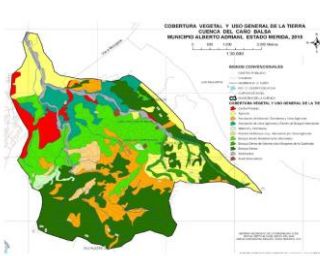
Contornos				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Material predominante del lecho	Arenas	3	2	6
Material predominante de las márgenes	Gravas	2	2	4
Cobertura vegetal en el cauce	Sí	3	1	3
Cobertura vegetal en las márgenes	Sí	2	1	2
Sub-total		15		

Observaciones

Entrevista a habitantes

Según una entrevista con un transeúnte, ya ha pasado un largo período sin que se registre una crecida en el Caño Balsa.

Fotografías



Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Puente Caño Balsa	Año de construcción	2019
Ubicación	El Vigía, Mérida	Longitud	56 m
Nombre del río	Caño Balsa	Fecha de inspección	14/9/2024
Tipo de puente	Vigas presforzadas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Resultado de evaluación del puente					
I_E	I_S	I_A	I_{Es}	I_{En}	I_{VP}
26	3	0	12	38	15.5

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad estructural	I_E	x
Índice de vulnerabilidad de socavación	I_S	$2x$
Índice de vulnerabilidad de agradación	I_A	$2x$
Índice de vulnerabilidad de estabilidad	I_{Es}	$0.5x$
Índice de vulnerabilidad del entorno	I_{En}	$0.75x$

$$x \cdot I_E + 2x \cdot I_S + 2x \cdot I_A + 0.5x \cdot I_{Es} + 0.75x \cdot I_{En} = I_{VP}$$

$$\text{Donde } x = 0.23269$$

$$\therefore I_{VP} = 0.23269 \cdot I_E + 0.46539 \cdot I_S + 0.46539 \cdot I_A + 0.11635 \cdot I_{Es} + 0.17452 \cdot I_{En}$$

Valor del multiplicador	x	0.23269
-------------------------	-----	---------

www.bdigital.ula.ve

I_{VP}	Clasificación	Recomendaciones
$3.5 < I_{VP} < 20$	Bueno	No hay factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente. Se recomienda realizar una inspección y mantenimiento mínimo anual.
$20 < I_{VP} < 30$	Media	Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas con el puente. Se recomienda hacer mantenimiento preventivo para conservar las condiciones de la estructura.
$30 < I_{VP} < 40$	Mala	Hay factores importantes que afectan el puente. Se recomienda tomar precauciones, realizar un mantenimiento correctivo, y monitorear el comportamiento de la estructura.
$I_{VP} > 40$	Crítica	Hay factores muy importantes que afectan el puente, se deben tomar medidas de emergencia y hacer un estudio mas detallado de la estructura.

Anexo 4: Recolección de datos y cálculos puente El Anís

www.bdigital.ula.ve

EVALUACIÓN PRIMARIA DE DAÑOS DE ORIGEN HIDRÁULICO EN PUENTES

ÍNDICE

00	<u>Instructivo de uso</u>
01	<u>Geometría</u>
02	<u>Estructura</u>
02a	<u>Pilas</u>
03	<u>Socavación</u>
04	<u>Agradación</u>
05	<u>Estabilidad</u>
06	<u>Entorno</u>
07	<u>Resultados</u>



ING. LAURA DÁVILA
davilalaurae@gmail.com



CIDIAT. Mérida, Venezuela
Octubre, 2024

V01

C.C. RECONOCIMIENTO NO COMPARTIR

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Sí

No

Material de los elementos		Tipos de Puentes	Tipos de río	Forma de las Pilas		Factor de alargamiento	
Concreto	2	Vigas	Montaña	Circular	1	$L/b=1$	1
Madera	3	Atirantado	Llanura	Lenticular	2	$1<L/b<2$	2
Metal	4	Volados sucesivos		Elíptica	3	$2<L/b<3$	3
Otro	4	Armadura		Ojival	1	$L/b \geq 4$	4
		Otros		Rectangular	4		
				Otros	4		

Formas natural del río		Grado de deterioro	Tipos de Cauce	Tipo de Suelo	Angulo de incidencia	Tipo de Fundación	
Recto	1	Bajo	Definido	Cohesivo	$0^\circ < \alpha < 15^\circ$	1	Superficial 3
Sinuoso	1	Medio	Indefinido	No cohesivo	$15^\circ < \alpha < 30^\circ$	2	Profunda 1
Meandroso	4	Alto			$30^\circ < \alpha < 45^\circ$	3	
Trenzado	4				$\alpha > 45^\circ$	4	
Mixto	4						

Clasificación de sedimentos		CUENCAS		Tamaño		Topografía		Grado de deforestación	
		Tipo de cuencas							
		Alargada	1	< 500 Ha	1	Accidentada	3	Alto	4
Peñones o cantos rodados	1	Redondeada	3	> 500 Ha	2	Media	2	Moderado	3
Gravas	2					Llana	1	Medio	2
Arenas	3							Poco	1
Limos	4								
Arcillas	4								

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Instructivo de uso

[Ir al índice](#)

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

La metodología de evaluación primaria de puentes es una herramienta cualitativa – cuantitativa que permite evaluar cada variable de los elementos del puente de manera ordenada mediante el uso de una escala de vulnerabilidad que se pondera con una escala de severidad. El usuario debe completar las celdas de color azul, rellenar la ficha identificativa de la primera pestaña y rellenar los campos de desarrollo que se indican.

Leyenda de colores

Celda	Significado
	Celdas de evaluacion de la variable, deben ser completadas por el usuario
	Celdas de severidad de la variable, estan preestablecidas por la metodologia y no deben ser modificadas por el usuario
	Celdas de resultados, indica el resultado parcial de la variable

Índice de vulnerabilidad de estabilidad (IEs)

Se refiere al resultado de analizar la estabilidad del cauce en campo, la estabilidad de un cauce puede ser determinada analizando la estabilidad general, estabilidad lateral y estabilidad vertical.

Índice de vulnerabilidad del entorno (IEn)

Es el resultado de analizar los parámetros del entorno que afectan a la estructura, entre los parámetros tenemos: formas del río, ángulo de esviaje, material disponible para transporte, medidas de protección, características de la cuenca como tamaño, forma, topografía y uso de la tierra; material y cobertura vegetal de márgenes y lecho el cauce.

Índice de vulnerabilidad del puente (Ivp)

Se refiere al resultado final de la estructura, que refleja el estado actual de la estructura. Es un valor comprendido entre los valores 3.2 y 100, siendo aquellos puentes que tienden al limite superior, aquellos puentes en peor estado.

Toma de datos y transcripción

El usuario, en campo, recogerá los datos solicitados en las hojas de "Recolección de datos" y luego en trabajo de mesa los transcribirá en esta herramienta.

Informe fotográfico

Las variables evaluadas deben ser soportadas con un registro fotográfico, en la Fig. 1 se muestra un esquema de recomendación donde deben ser tomadas las fotografías y uniformizar la información. Adjuntar cualquier fotografía adicional que el usuario considere pertinente.

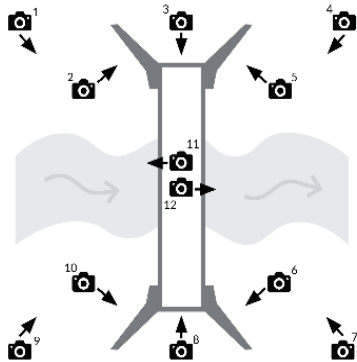


Fig. 1. Puntos de fotografías

Evaluación de vulnerabilidad

La evaluación se determinará mediante la inspección visual en campo de cada una de las variables de los elementos, la evaluación corresponde a un rango que varía de 0 a 4, donde aquellos valores que tienden a cero corresponden a aquellas evaluación poco vulnerables y por el contrario aquellas evaluaciones cercanas a 4, corresponden a vulnerabilidades altas.

Severidad

El grado de severidad permite ponderar la evaluación de vulnerabilidad de cada variable, según su importancia. El grado de severidad es un parámetro establecido por la metodología y no deber ser modificado por el usuario.

Resultado

Es el resultado parcial de cada variable afectado por el grado de severidad.

Índice de vulnerabilidad estructural (IE)

Es el resultado parcial de la evaluación de las variables relacionadas con la subestructura y la superestructura. Se refiere a elementos como estribos, pilas, fundaciones y aletas con respecto a la subestructura, y deformaciones en el pavimento, deformaciones en el tablero/armadura y en los terraplenes de acceso con respecto a la superestructura.

Índice de vulnerabilidad de socavación (IS)

Es el resultado de la evaluación de los diferentes tipos de socavación que pueden afectan al puente y que pueden ser diagnosticados mediante inspección visual. Entre estos tipos se incluyen la socavación en estribos, la socavación en pilas y la socavación en curvas.

Índice de vulnerabilidad de agradación (IA)

Se refiere a la evaluación del ascenso de la cota del lecho del río. Es importante señalar que el índice de vulnerabilidad de socavación (IS) y el índice de vulnerabilidad de agradación (IA) son mutuamente excluyentes.

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

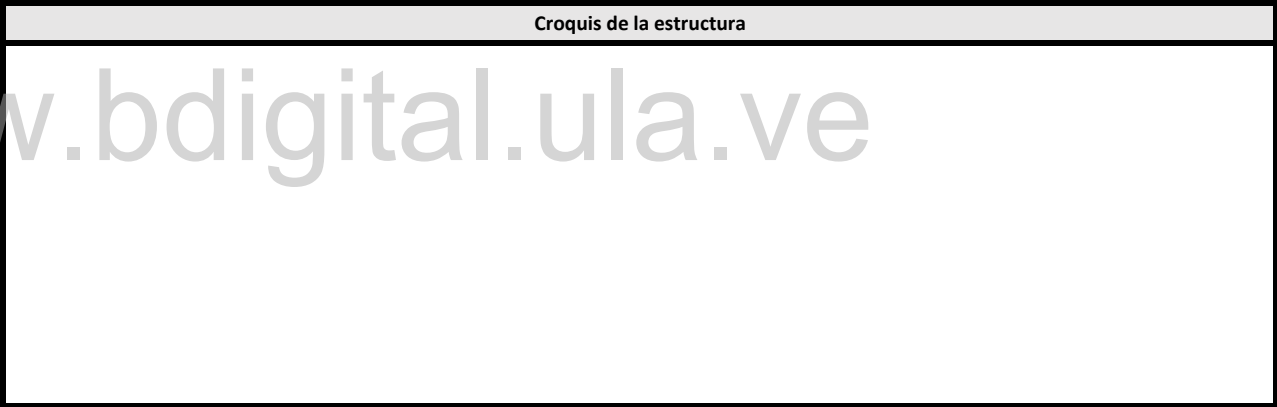
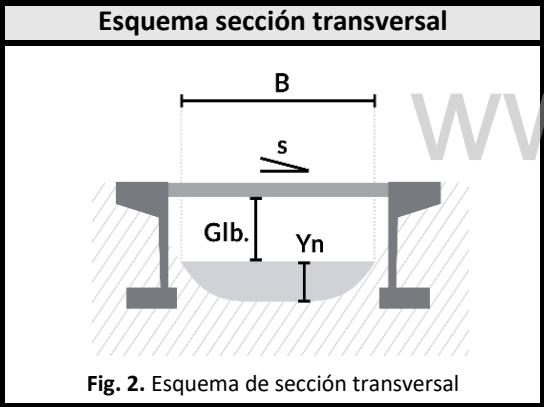
Nombre del puente	El Anis - San Pablo	Año de construcción	1978
Ubicación	El Anis, Mérida	Longitud	40.5 m
Nombre del río	Quebrada San Pablo	Fecha de inspección	14/09/2024
Tipo de puente	Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Tipo de Puente	Vigas
----------------	-------

[Ir al índice](#)

Geometría de la sección transversal	
B (m)	30
Yn (m)	0.05
s (%)	
Tipo de río	Llanura
Gálibo (m)	

Dimensiones de las pilas			
Pila 1		Pila 2	
Ancho (m)		Ancho (m)	
Largo (m)		Largo (m)	



Fotografías



Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	El Anis - San Pablo	Año de construcción	0
Ubicación	El Anis, Mérida	Longitud	0
Nombre del río	Quebrada San Pablo	Fecha de inspección	0
Tipo de puente	Vigas	Nombre del inspector	0

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SUBESTRUCTURA

2.1 Estribos

Estribo izquierdo				
		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	No	0	2	0
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				0

Estribo Derecho				
		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	No	0	2	0
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				0

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad estructural	
60	

2.2 Pilas

Cantidad

Pila 1				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma	Circular	1	3	3
Factor de alargamiento	$L/b=1$	1	3	3
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		2	3	6
Grietas	Sí	2	3	6
Sub-total				22

Pila 2				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma	Circular	1	3	3
Factor de alargamiento	$L/b=1$	1	3	3
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		2	3	6
Grietas	Sí	2	3	6
Sub-total				22

Observaciones

Se observan que la pila aguas arribas fue rehabilitada después de la crecida marzo-abril del 2023. Perdidas importantes en la sección de 6 vigas aguas arriba. Grietas en la viga #4 debido al exceso de esfuerzo producido por la ausencia de las 3 primeras vigas. Al momento de la inspección, los estribos no están en contacto con el agua, sin embargo hay evidencia de que sí han estado en contacto con el agua.

Fotografías



2.3 Fundaciones

		Evaluación	Severidad	Resultado
Fundación de estribos	Superficial	3	3	9
Fundación de pilas	Profunda	1	3	3
Sub-total				12

2.4 Aletas

		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	No	0	2	0
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		0	3	0
Grietas	No		3	0
Sub-total				0

SUPERESTRUCTURA

	Evaluación	Severidad	Resultado
Deformaciones del pavimento	0	1	0
Deformaciones en tablero/armadura	4	1	4
Terraplenes de acceso	0	1	0
Sub-total			4

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	El Anis - San Pablo	Año de construcción	0
Ubicación	El Anis, Mérida	Longitud	0
Nombre del río	Quebrada San Pablo	Fecha de inspección	0
Tipo de puente	Vigas	Nombre del inspector	0

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SUBESTRUCTURA -PILAS

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

Índice de vulnerabilidad de las pilas
0

Observaciones

Fotografías

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	El Anis - San Pablo	Año de construcción	1978
Ubicación	El Anis, Mérida	Longitud	40.5 m
Nombre del río	Quebrada San Pablo	Fecha de inspección	14/09/2024
Tipo de puente	Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SOCACACIÓN

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Socavación local en estribos			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Estribo izquierdo		3	0
Estribo derecho		3	0
Sub-total			0

Socavación local en pilas			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Pila 1		3	0
Pila 2		3	0
Sub-total			0

Índice de vulnerabilidad de socavación
0

Socavación en curvas			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Socavación en curvas		3	0
Sub-total			0

Alteraciones del Cauce por Socavación

Razones Humanas	
Modificación del cauce	☐
Canalización	☐
Dragado	☐
Cortes de meandros	☐
Extracción de grava y arena	☐
Desviación de caudal	☐
Uso de la tierra:	

Razones Naturales	
Cortes naturales de meandros	☐
Actividad sísmica	☐
Cambios climáticos	☐

Observaciones

Fotografías

--	--

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	El Anis - San Pablo	Año de construcción	1978
Ubicación	El Anis, Mérida	Longitud	40.5 m
Nombre del río	Quebrada San Pablo	Fecha de inspección	14/09/2024
Tipo de puente	Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

AGRADACIÓN

Agradación			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Agradación	4	3	12
Sub-total			12

Grado de Severidad

1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad de agradación

12

Alteraciones del Cauce por Agradación

Razones Humanas

Modificación del cauce	☐
Canalización	☐
Dragado	☐
Cortes de meandros	☐
Extracción de grava y arena	☐
Desviación de caudal	☐
Uso de la tierra	☐

Razones Naturales

Cortes naturales de meandros	☐
Actividad sísmica	☐
Cambios climáticos	☐

Observaciones

Fotografías

--	--

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	El Anis - San Pablo	Año de construcción	1978
Ubicación	El Anis, Mérida	Longitud	40.5 m
Nombre del río	Quebrada San Pablo	Fecha de inspección	14/09/2024
Tipo de puente	Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

Estabilidad del cauce: Valoración en campo

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad General	3	2	6

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad Lateral	2	2	4

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad Vertical	4	2	8

Grado de Severidad

1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad de estabilidad

18

Fotografías



Observaciones

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	El Anís - San Pablo	Año de construcción	1978
Ubicación	El Anís, Mérida	Longitud	40.5 m
Nombre del río	Quebrada San Pablo	Fecha de inspección	14/09/2024
Tipo de puente	Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

ENTORNO

		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma natural del río	Sinuoso	1	1	1
Ángulo de incidencia	$0^\circ < \alpha < 15^\circ$	1	3	3
Material disponible para transporte	Sí	4	3	12
Medidas de protección	Sí	3	2	6
Sub-total				22

Características de la cuenca aportante				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Tamaño	> 500 Ha	1	2	2
Forma	Alargada	1	2	2
Topografía	Media	2	1	2
Grado de deforestación	Medio	2	1	2
Sub-total				8

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad del entorno
36

Recomendaciones		
Variable	Condición	Evaluación
Material disponible para transporte: rocas de tamaño	< 1 m	2
	$1 < d < 2$	3
	> 2 m	4

Contornos				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Material predominante del lecho	Peñones	1	2	2
Material predominante de las márgenes	Peñones	1	2	2
Cobertura vegetal en el cauce	No	1	1	0
Cobertura vegetal en las márgenes	Sí	2	1	2
Sub-total				6

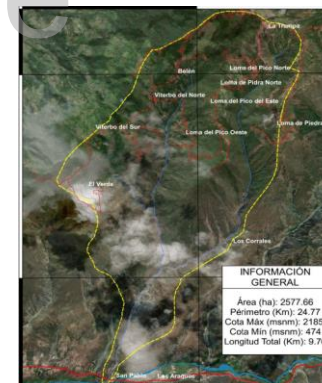
Entrevista a habitantes

En las crecidas de Marzo-Abril 2023 el caudal de crecida alcanzó la altura del tablero y pasó por encima de él.

Fotografías



Observaciones



Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	El Anis - San Pablo	Año de construcción	1978
Ubicación	El Anis, Mérida	Longitud	40.5 m
Nombre del río	Quebrada San Pablo	Fecha de inspección	14/09/2024
Tipo de puente	Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Resultado de evaluación del puente					
I_E	I_S	I_A	I_{Es}	I_{En}	I_{VP}
60	0	12	18	36	27.9

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad estructural	I_E	x
Índice de vulnerabilidad de socavación	I_S	$2x$
Índice de vulnerabilidad de agradación	I_A	$2x$
Índice de vulnerabilidad de estabilidad	I_{Es}	$0.5x$
Índice de vulnerabilidad del entorno	I_{En}	$0.75x$

$$x \cdot I_E + 2x \cdot I_S + 2x \cdot I_A + 0.5x \cdot I_{Es} + 0.75x \cdot I_{En} = I_{VP}$$

$$\text{Donde } x = 0.23269$$

$$\therefore I_{VP} = 0.23269 \cdot I_E + 0.46539 \cdot I_S + 0.46539 \cdot I_A + 0.11635 \cdot I_{Es} + 0.17452 \cdot I_{En}$$

Valor del multiplicador	x	0.23269
-------------------------	-----	---------

www.bdigital.ula.ve

I_{VP}	Clasificación	Recomendaciones
$3.5 < I_{VP} < 20$	Bueno	No hay factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente. Se recomienda realizar una inspección y mantenimiento mínimo anual.
$20 < I_{VP} < 30$	Media	Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas con el puente. Se recomienda hacer mantenimiento preventivo para conservar las condiciones de la estructura.
$30 < I_{VP} < 40$	Mala	Hay factores importantes que afectan el puente. Se recomienda tomar precauciones, realizar un mantenimiento correctivo, y monitorear el comportamiento de la estructura.
$I_{VP} > 40$	Crítica	Hay factores muy importantes que afectan el puente, se deben tomar medidas de emergencia y hacer un estudio mas detallado de la estructura.

Anexo 5: Recolección de datos y cálculos puente Cruz Verde

www.bdigital.ula.ve

EVALUACIÓN PRIMARIA DE DAÑOS DE ORIGEN HIDRÁULICO EN PUENTES

ÍNDICE

00	<u>Instructivo de uso</u>
01	<u>Geometría</u>
02	<u>Estructura</u>
02a	<u>Pilas</u>
03	<u>Socavación</u>
04	<u>Agradación</u>
05	<u>Estabilidad</u>
06	<u>Entorno</u>
07	<u>Resultados</u>



ING. LAURA DÁVILA
davilalaurae@gmail.com



CIDIAT. Mérida, Venezuela
Octubre, 2024

V01

C.C. RECONOCIMIENTO NO COMPARTIR

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Sí

No

Material de los elementos		Tipos de Puentes	Tipos de río	Forma de las Pilas		Factor de alargamiento	
Concreto	2	Vigas	Montaña	Circular	1	$L/b=1$	1
Madera	3	Atirantado	Llanura	Lenticular	2	$1<L/b<2$	2
Metal	4	Volados sucesivos		Elíptica	3	$2<L/b<3$	3
Otro	4	Armadura		Ojival	1	$L/b \geq 4$	4
		Otros		Rectangular	4		
				Otros	4		

Formas natural del río		Grado de deterioro	Tipos de Cauce	Tipo de Suelo	Angulo de incidencia		Tipo de Fundación	
Recto	1	Bajo	Definido	Cohesivo	$0^{\circ} < \alpha < 15^{\circ}$	1	Superficial	3
Sinuoso	1	Medio	Indefinido	No cohesivo	$15^{\circ} < \alpha < 30^{\circ}$	2	Profunda	1
Meandroso	4	Alto			$30^{\circ} < \alpha < 45^{\circ}$	3		
Trenzado	4				$\alpha > 45^{\circ}$	4		
Mixto	4							

Clasificación de sedimentos		CUENCAS		Tamaño		Topografía		Grado de deforestación	
		Tipo de cuencas							
		Alargada	1	< 500 Ha	1	Accidentada	3	Alto	4
Peñones o cantos rodados	1	Redondeada	3	> 500 Ha	2	Media	2	Moderado	3
Gravas	2					Llana	1	Medio	2
Arenas	3							Poco	1
Limos	4								
Arcillas	4								

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Instructivo de uso

[Ir al índice](#)

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

La metodología de evaluación primaria de puentes es una herramienta cualitativa – cuantitativa que permite evaluar cada variable de los elementos del puente de manera ordenada mediante el uso de una escala de vulnerabilidad que se pondera con una escala de severidad. El usuario debe completar las celdas de color azul, rellenar la ficha identificativa de la primera pestaña y rellenar los campos de desarrollo que se indican.

Leyenda de colores

Celda	Significado
	Celdas de evaluacion de la variable, deben ser completadas por el usuario
	Celdas de severidad de la variable, estan preestablecidas por la metodologia y no deben ser modificadas por el usuario
	Celdas de resultados, indica el resultado parcial de la variable

Índice de vulnerabilidad de estabilidad (IEs)

Se refiere al resultado de analizar la estabilidad del cauce en campo, la estabilidad de un cauce puede ser determinada analizando la estabilidad general, estabilidad lateral y estabilidad vertical.

Índice de vulnerabilidad del entorno (IEn)

Es el resultado de analizar los parámetros del entorno que afectan a la estructura, entre los parámetros tenemos: formas del río, ángulo de esviaje, material disponible para transporte, medidas de protección, características de la cuenca como tamaño, forma, topografía y uso de la tierra; material y cobertura vegetal de márgenes y lecho el cauce.

Índice de vulnerabilidad del puente (Ivp)

Se refiere al resultado final de la estructura, que refleja el estado actual de la estructura. Es un valor comprendido entre los valores 3.2 y 100, siendo aquellos puentes que tienden al limite superior, aquellos puentes en peor estado.

Toma de datos y transcripción

El usuario, en campo, recogerá los datos solicitados en las hojas de "Recolección de datos" y luego en trabajo de mesa los transcribirá en esta herramienta.

Informe fotográfico

Las variables evaluadas deben ser soportadas con un registro fotográfico, en la Fig. 1 se muestra un esquema de recomendación donde deben ser tomadas las fotografías y uniformizar la información. Adjuntar cualquier fotografía adicional que el usuario considere pertinente.

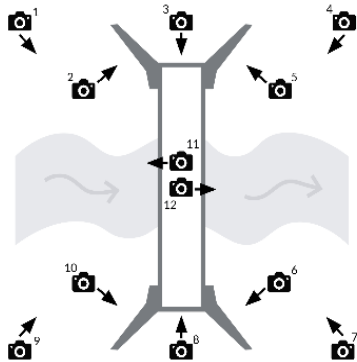


Fig. 1. Puntos de fotografías

Evaluación de vulnerabilidad

La evaluación se determinará mediante la inspección visual en campo de cada una de las variables de los elementos, la evaluación corresponde a un rango que varía de 0 a 4, donde aquellos valores que tienden a cero corresponden a aquellas evaluación poco vulnerables y por el contrario aquellas evaluaciones cercanas a 4, corresponden a vulnerabilidades altas.

Severidad

El grado de severidad permite ponderar la evaluación de vulnerabilidad de cada variable, según su importancia. El grado de severidad es un parámetro establecido por la metodología y no deber ser modificado por el usuario.

Resultado

Es el resultado parcial de cada variable afectado por el grado de severidad.

Índice de vulnerabilidad estructural (IE)

Es el resultado parcial de la evaluación de las variables relacionadas con la subestructura y la superestructura. Se refiere a elementos como estribos, pilas, fundaciones y aletas con respecto a la subestructura, y deformaciones en el pavimento, deformaciones en el tablero/armadura y en los terraplenes de acceso con respecto a la superestructura.

Índice de vulnerabilidad de socavación (IS)

Es el resultado de la evaluación de los diferentes tipos de socavación que pueden afectan al puente y que pueden ser diagnosticados mediante inspección visual. Entre estos tipos se incluyen la socavación en estribos, la socavación en pilas y la socavación en curvas.

Índice de vulnerabilidad de agradación (IA)

Se refiere a la evaluación del ascenso de la cota del lecho del río. Es importante señalar que el índice de vulnerabilidad de socavación (IS) y el índice de vulnerabilidad de agradación (IA) son mutuamente excluyentes.

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

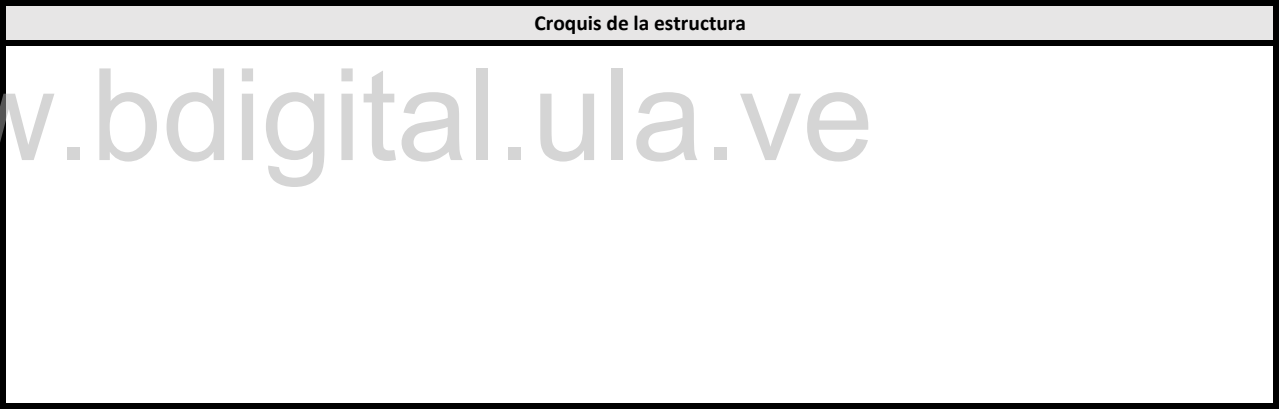
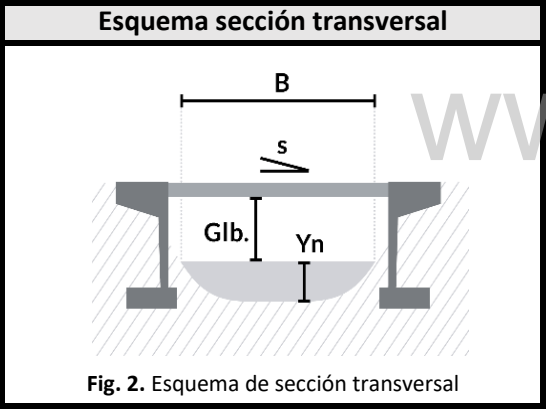
Nombre del puente	Enlace Cruz Verde	Año de construcción	1950
Ubicación	Mérida, Estado Mérida	Longitud	10 m
Nombre del río	Río Albarregas	Fecha de inspección	17/09/2024
Tipo de puente	Puente de Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Tipo de Puente	Vigas
----------------	-------

[Ir al índice](#)

Geometría de la sección transversal	
B (m)	12.2
Yn (m)	1.51
s (%)	9.25
Tipo de río	Montaña
Gálibo (m)	

Dimensiones de las pilas			
Pila 1		Pila 2	
Ancho (m)		Ancho (m)	
Largo (m)		Largo (m)	



Fotografías



Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Enlace Cruz Verde	Año de construcción	1950
Ubicación	Mérida, Estado Mérida	Longitud	10 m
Nombre del río	Río Albarregas	Fecha de inspección	17/09/2024
Tipo de puente	Puente de Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SUBESTRUCTURA

2.1 Estribos

Estribo izquierdo				
		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	Sí	1	2	2
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		1	3	3
Grietas	Sí	2	3	6
Sub-total				15

Estribo Derecho				
		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua	Sí	1	2	2
Material	Concreto	2	2	4
Grado de deterioro		3	3	9
Grietas	Sí	4	3	12
Sub-total				27

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad estructural
51

Observaciones

Se observa que la vialidad estuvo recientemente repavimentada por lo que no se pueden apreciar deformaciones en superestructura

2.2 Pilas

Cantidad

Pila 1				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma		0	3	0
Factor de alargamiento		0	3	0
Material		0	2	0
Grado de deterioro			3	0
Grietas			3	0
Sub-total				0

Pila 2				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma		0	3	0
Factor de alargamiento		0	3	0
Material		0	2	0
Grado de deterioro			3	0
Grietas			3	0
Sub-total				0

2.3 Fundaciones

		Evaluación	Severidad	Resultado
Fundación de estribos	Superficial	3	3	9
Fundación de pilas		0	3	0
Sub-total				9

2.4 Aletas

		Evaluación	Severidad	Resultado
En contacto con agua		0	2	0
Material		0	2	0
Grado de deterioro			3	0
Grietas			3	0
Sub-total				0

SUPERESTRUCTURA

	Evaluación	Severidad	Resultado
Deformaciones del pavimento	0	1	0
Deformaciones en tablero/armadura	0	1	0
Terraplenes de acceso	0	1	0
Sub-total			0

Fotografías



Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Enlace Cruz Verde	Año de construcción	1950
Ubicación	Mérida, Estado Mérida	Longitud	10 m
Nombre del río	Río Albarregas	Fecha de inspección	17/09/2024
Tipo de puente	Puente de Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SUBESTRUCTURA -PILAS

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Pila n=				
	Evaluación	Severidad	Resultado	
Forma		0 3	0	
Factor de alargamiento		0 3	0	
Material		0 2	0	
Grado de deterioro		3	0	
Grietas		3	0	
Sub-total			0	

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

Índice de vulnerabilidad de las pilas
0

Observaciones

Fotografías

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Enlace Cruz Verde	Año de construcción	1950
Ubicación	Mérida, Estado Mérida	Longitud	10 m
Nombre del río	Río Albarregas	Fecha de inspección	17/09/2024
Tipo de puente	Puente de Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

SOCAVACIÓN

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Socavación local en estribos			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Estribo izquierdo	3	3	9
Estribo derecho	1	3	3
Sub-total			12

Socavación local en pilas			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Pila 1		3	0
Pila 2		3	0
Sub-total			0

Índice de vulnerabilidad de socavación
12

Socavación en curvas			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Socavación en curvas		3	0
Sub-total			0

Alteraciones del Cauce por Socavación

Razones Humanas	
Modificación del cauce	☐
Canalización	☐
Dragado	☐
Cortes de meandros	☐
Extracción de grava y arena	☐
Desviación de caudal	☐
Uso de la tierra:	

Razones Naturales	
Cortes naturales de meandros	☐
Actividad sísmica	☐
Cambios climáticos	☐

Observaciones

Fotografías



Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Enlace Cruz Verde	Año de construcción	1950
Ubicación	Mérida, Estado Mérida	Longitud	10 m
Nombre del río	Río Albarregas	Fecha de inspección	17/09/2024
Tipo de puente	Puente de Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

AGRADACIÓN

Agradación			
	Evaluación	Severidad	Resultado
Agradación		3	0
Sub-total			0

Grado de Severidad

1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad de agradación

0

Alteraciones del Cauce por Agradación

Razones Humanas

- Modificación del cauce ☐
- Canalización ☐
- Dragado ☐
- Cortes de meandros ☐
- Extracción de grava y arena ☐
- Desviación de caudal ☐
- Uso de la tierra ☐

Razones Naturales

- Cortes naturales de meandros ☐
- Actividad sísmica ☐
- Cambios climáticos ☐

Observaciones

Fotografías

--	--

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Enlace Cruz Verde	Año de construcción	1950
Ubicación	Mérida, Estado Mérida	Longitud	10 m
Nombre del río	Río Albarregas	Fecha de inspección	17/09/2024
Tipo de puente	Puente de Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

Estabilidad del cauce: Valoración en campo

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad General	1	2	2

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad Lateral	2	2	4

	Evaluación	Severidad	Resultado
Estabilidad Vertical	2	2	4

Grado de Severidad

1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad de estabilidad

10

Fotografías



Observaciones

Se tiene conocimiento que el río tiende a erosionar la margen derecha del cauce, sin embargo, esta margen ha sido rehabilitada con rellenos en el pasado.

Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Enlace Cruz Verde	Año de construcción	1950
Ubicación	Mérida, Estado Mérida	Longitud	10 m
Nombre del río	Río Albarregas	Fecha de inspección	17/09/2024
Tipo de puente	Puente de Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Escala de evaluación				
0	1	2	3	4
Sin vulnerabilidad		Vulnerabilidad media		Vulnerabilidad alta

ENTORNO

		Evaluación	Severidad	Resultado
Forma natural del río	Sinuoso	1	1	1
Ángulo de incidencia	$0^\circ < \alpha < 15^\circ$	1	3	3
Material disponible para transporte	Sí	4	3	12
Medidas de protección	No		2	0
Sub-total				16

Características de la cuenca aportante				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Tamaño	> 500 Ha	1	2	2
Forma	Alargada	1	2	2
Topografía	Media	2	1	2
Grado de deforestación	Medio	2	1	2
Sub-total				8

Grado de Severidad		
1	2	3
Bajo	Medio	Alto

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad del entorno
34

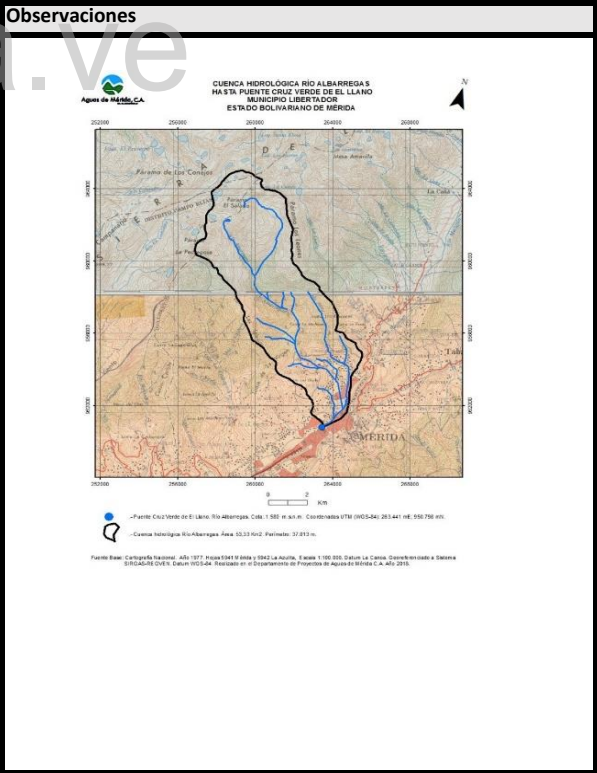
Recomendaciones		
Variable	Condición	Evaluación
Material disponible para transporte: rocas de tamaño	< 1 m	2
	$1 < d < 2$	3
	> 2 m	4

Contornos				
		Evaluación	Severidad	Resultado
Material predominante del lecho	Peñones	1	2	2
Material predominante de las márgenes	Gravas	2	2	4
Cobertura vegetal en el cauce	No	0	1	0
Cobertura vegetal en las márgenes	Sí	4	1	4
Sub-total				10

Entrevista a habitantes

Fotografías





Evaluación primaria de daños de origen hidráulico en puentes

Nombre del puente	Enlace Cruz Verde	Año de construcción	1950
Ubicación	Mérida, Estado Mérida	Longitud	10 m
Nombre del río	Río Albarregas	Fecha de inspección	17/09/2024
Tipo de puente	Puente de Vigas	Nombre del inspector	Ing. Laura Dávila

Resultado de evaluación del puente					
I_E	I_S	I_A	I_{Es}	I_{En}	I_{VP}
51	12	0	10	34	24.5

[Ir al índice](#)

Índice de vulnerabilidad estructural	I_E	x
Índice de vulnerabilidad de socavación	I_S	$2x$
Índice de vulnerabilidad de agradación	I_A	$2x$
Índice de vulnerabilidad de estabilidad	I_{Es}	$0.5x$
Índice de vulnerabilidad del entorno	I_{En}	$0.75x$

$$x \cdot I_E + 2x \cdot I_S + 2x \cdot I_A + 0.5x \cdot I_{Es} + 0.75x \cdot I_{En} = I_{VP}$$

$$\text{Donde } x = 0.23269$$

$$\therefore I_{VP} = 0.23269 \cdot I_E + 0.46539 \cdot I_S + 0.46539 \cdot I_A + 0.11635 \cdot I_{Es} + 0.17452 \cdot I_{En}$$

Valor del multiplicador	x	0.23269
-------------------------	-----	---------

www.bdigital.ula.ve

I_{VP}	Clasificación	Recomendaciones
$3.5 < I_{VP} < 20$	Bueno	No hay factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente. Se recomienda realizar una inspección y mantenimiento mínimo anual.
$20 < I_{VP} < 30$	Media	Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas con el puente. Se recomienda hacer mantenimiento preventivo para conservar las condiciones de la estructura.
$30 < I_{VP} < 40$	Mala	Hay factores importantes que afectan el puente. Se recomienda tomar precauciones, realizar un mantenimiento correctivo, y monitorear el comportamiento de la estructura.
$I_{VP} > 40$	Crítica	Hay factores muy importantes que afectan el puente, se deben tomar medidas de emergencia y hacer un estudio mas detallado de la estructura.

Anexo 6: Tablas de socavación y estabilidad de cauces

www.bdigital.ula.ve

ESTUDIO DETALLADO PARA DAÑOS DE ORIGEN HIDRÁULICO EN PUENTES

ÍNDICE

00 [Leyenda](#)

01 [Socavación](#)

02 [Tablas de socavación](#)

03 [Estabilidad del cauce](#)



ING. LAURA DÁVILA
davilalaurae@gmail.com



CIDIAT. Mérida, Venezuela
Octubre, 2024

V01

C.C. RECONOCIMIENTO NO COMPARTIR

ESTUDIO DETALLADO PARA DAÑOS DE ORIGEN HIDRÁULICO EN PUENTES

Leyenda

Q _{diseño}	Caudal de diseño
Y _n	Altura normal (m)
Be	Ancho efectivo del río
d ₅₀	Tamaño de las partículas
Tr	Tiempo de retorno
β	Coeficiente en función del tiempo de retorno
Y _m	Altura media
1/1+x'	
A	
T	
Cc	Coeficiente de contracción f(Ll, Vm)
V _{media}	Velocidad media del Cauce
Ll	Longitud libre entre pilas y estribos, medida sobre un plano perpendicular a la corriente
α'	Parámetro que considera la contracción debido a los obstáculos en la sección
Hs	Profundidad después de haberse producido la socavación (m)
SS	Pendiente longitudinal en [mm/mm]
V ϕ	Velocidad máxima no erosiva

ESTUDIO DETALLADO PARA DAÑOS DE ORIGEN HIDRÁULICO EN PUENTES

Nombre del puente		Año de construcción	
Ubicación		Longitud	
Nombre del río		Fecha de inspección	
Tipo de puente		Nombre del inspector	

[Ir al índice](#)

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL Y TRANSVERSAL: Método de Litchvan-Lebediev

Cauce
Tipo de Suelo

DATOS NECESARIOS

Parámetro	Valor	Unidad
$Q_{diseño}$		m^3/s
Y_n		m
B_e		m
T_r		años
β		-
Y_m	#DIV/0!	m
$1/1+x'$		-

CÁLCULOS Y RESULTADOS

Parámetro	Valor	Unidad
Y_m	#DIV/0!	m
α'	#DIV/0!	-
1. Cauces definidos, suelos no cohesivos		
d_{50}		mm
H_s	#DIV/0!	m
Y_n	#DIV/0!	m

ECUACIONES USADAS

1. Cauces definidos, suelos no cohesivos

$$H_s = \left(\frac{\alpha' \cdot y_n^{5/3}}{0.68 \cdot d^{0.28} \cdot \beta} \right)^{\frac{1}{1+x}} \quad Y_m = \frac{A}{T}$$

$$\alpha' = \frac{Qd}{y_m^{5/3} \cdot B_e \cdot C_e}$$

DATOS NECESARIOS

Parámetro	Valor	Unidad
Sección	Rectangular	
A		m^2
T		m
CC	Tabla 2	
V_{media}		m/s
L_L		m

2. Cauces definidos, suelos cohesivos

Parámetro	Valor	Unidad
γ_s		T/m^3
H_s	#DIV/0!	m
Y_n	#DIV/0!	m

2. Cauces definidos, suelos cohesivos

$$H_s = \left(\frac{\alpha' \cdot y_n^{5/3}}{0.60 \cdot \gamma_s^{1.18} \cdot \beta} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$

3. Cauces indefinidos

Parámetro	Valor	Unidad
V_{CL}		m/s
H_s	#DIV/0!	m
Y_n	#DIV/0!	m

3. Cauces indefinidos

$$H_s = \left(\frac{\alpha' \cdot y_n^{5/3}}{V_{CL}} \right)^{0.83}$$

OTRAS ECUACIONES

$$\frac{U_*}{w_{50}} > 0.5 \quad \psi = f(\gamma_{mezcla}) \quad \gamma_{mezcla} = \frac{\gamma \cdot Q + \gamma_{ss} \cdot Q_{ss}}{Q + Q_{ss}}$$

Tabla 1. Clasificación de los sedimentos. Adaptado de Flores y Aguirre (2006).[Ir al índice](#)

<i>Nombre</i>	<i>Rango de tamaños</i>		<i>Denominación del tamiz</i>	
	<i>mm</i>	<i>in</i>	<i>Tyler</i>	<i>USA Estándar</i>
Peñones muy grandes	4096 - 2048	160 - 80		
Peñones grandes	2048 - 1024	80 - 40		
Peñones medios	1024 - 512	40 - 20		
Peñones pequeños	512 - 256	20 - 10		
Cantos rodados grandes	256 - 128	10 - 5		
Cantos rodados pequeños	128 - 64	5 - 2.5		
Grava muy gruesa	64 - 32	2.5 - 1.3		
Grava gruesa	32 - 16	1.3 - 0.6		
Grava media	16 - 8	0.6 - 0.3	2 - 1/2	
Grava fina	8 - 4	0.3 - 0.16	5	5
Grava muy fina	4 - 2	0.16 - 0.08	9	10
Arena muy gruesa	2.0 - 1.0		16	18
Arena gruesa	1.0 - 0.5		32	35
Arena media	0.5 - 0.25		60	60
Arena fina	0.25 - 0.125		115	120
Arena muy fina	0.125 - 0.062		250	230
Limo grueso	0.062 - 0.031			
Limo medio	0.031 - 0.016			
Limo fino	0.016 - 0.008			
Limo muy fino	0.008 - 0.004			
Arcilla gruesa	0.004 - 0.002			
Arcilla media	0.002 - 0.001			
Arcilla fina	0.001 - 0.0005			
Arcilla muy fina	0.0005 - 0.00024			

ESTUDIO DETALLADO PARA DAÑOS DE ORIGEN HIDRÁULICO EN PUENTES

Tabla 2. Valores de Cc en función de Ll. Adaptado de Flores y Aguirre (2006).

Velocidad media <i>m/s</i>	Longitud libre entre estructuras (<i>m</i>)												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.50	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4.00 o mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Tabla 3. Coeficiente de corrección (Ψ) por transporte en suspensión. Adaptado de Flores y Aguirre (2006).

$\gamma_{mezcla} (T/m^3)$	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40
Ψ	1.06	1.13	1.20	1.27	1.34	1.42	1.50	1.60

Tabla 4. Valores de x y de (1/1+x) para suelos cohesivos y no cohesivos. Adaptado de Flores y Aguirre (2006).

Suelos cohesivos						Suelos NO cohesivos					
$\gamma_s (T/m^3)$	x	1/1+x	$\gamma_s (T/m^3)$	x	1/1+x	<i>d</i> (mm)	x	1/1+x	<i>d</i> (mm)	x	1/1+x
0.80	0.52	0.66	1.20	0.39	0.72	0.05	0.45	0.70	40	0.30	0.77
0.83	0.51	0.66	1.24	0.38	0.72	0.15	0.42	0.70	60	0.29	0.78
0.86	0.50	0.67	1.28	0.37	0.73	0.50	0.41	0.71	90	0.28	0.78
0.88	0.49	0.67	1.34	0.36	0.74	1.00	0.40	0.71	140	0.27	0.79
0.90	0.48	0.67	1.40	0.35	0.74	1.50	0.39	0.72	190	0.26	0.79
0.93	0.47	0.68	1.46	0.34	0.75	2.50	0.38	0.72	250	0.25	0.80
0.96	0.46	0.68	1.52	0.33	0.75	4.00	0.37	0.73	310	0.24	0.81
0.98	0.45	0.69	1.58	0.32	0.76	6.00	0.36	0.74	370	0.23	0.81
1.00	0.44	0.69	1.64	0.31	0.76	8.00	0.35	0.74	450	0.22	0.83
1.04	0.43	0.70	1.71	0.30	0.77	10.00	0.34	0.75	570	0.21	0.83
1.08	0.42	0.70	1.80	0.29	0.78	15.00	0.33	0.75	750	0.20	0.83
1.12	0.41	0.71	1.89	0.28	0.78	20.00	0.32	0.76	1000	0.19	0.84
1.16	0.40	0.71	2.00	0.27	0.79	25.00	0.31	0.76			

ESTUDIO DETALLADO PARA DAÑOS DE ORIGEN HIDRÁULICO EN PUENTES

Nombre del puente		Año de construcción	
Ubicación		Longitud	
Nombre del río		Fecha de inspección	
Tipo de puente		Nombre del inspector	

[Ir al índice](#)

Estimación de la estabilidad del cauce

Metodo de Blench

T	#DIV/0!	m
Y_n	#DIV/0!	m
K	#DIV/0!	
f^c	1	
s	#DIV/0!	
s	#DIV/0!	

Parámetro	Dimensiones reales	Dimensiones Estables	Es estable?
Ancho (B)	0	#DIV/0!	#DIV/0!
Profundidad (Y_n)	0	#DIV/0!	#DIV/0!
Pendiente (s)	0	#DIV/0!	#DIV/0!

Metodo de Altunin

s	#VALOR!	
Y_n	#VALOR!	m
T	#DIV/0!	m
A	#DIV/0!	
E	0.43	

Parámetro	Dimensiones reales	Dimensiones Estables	Es estable?
Ancho (B)	0	#DIV/0!	#DIV/0!
Profundidad (Y_n)	0	#VALOR!	#VALOR!
Pendiente (s)	0	#VALOR!	#VALOR!

Datos

Q_f		m^3/s
F_L		
F_F		
γ		t/m^3
c		

Datos

α		
a	Error	
V_ϕ		m/s

α	Si:
1/3	$yn \leq 1.5 m$
1/4	$1.5 m < yn < 2.5 m$
1/5	$yn \geq 2.5 m$

Tipo de río