

**PATOLOGÍA DEL PUENTE LA CABUYA, SOBRE EL RÍO CRAVO SUR,  
MUNICIPIO DE YOPAL, DEPARTAMENTO DE CASANARE.**

Raul A. Espinosa Alfonso, Fabián D. Salamanca Lemus & Guillermo Llano  
Palacios.

**Marzo De 2016**

Universidad Santo Tomas  
Departamento de Casanare  
Proyecto de grado – TPI

---

### **Dedicatoria**

A nuestros familiares que día a día nos han alentado para llevar a término este proyecto; a los profesionales del Instituto Nacional de Vías y contratistas relacionados con obras ejecutadas en el paciente por el apoyo permanente con el suministro de información y aclaraciones a las múltiples preguntas que surgieron; a los amigos y compañeros por su apoyo incondicional, gracias.

### **Agradecimientos**

A cada uno de los Ingenieros, Arquitectos, Químicos que conformaron el grupo de catedráticos del Programa Patología de La Construcción, por sus grandes aportes materializados en conocimientos y experiencias; al Instituto Nacional de Vías por el suministro de información relacionada con el paciente objeto de estudio, a las firmas contratistas CONSORCIO IPV, CIDEC INGENIERÍA SAS e Ing. Saúl Millán, que colocaron a nuestra disposición el resultados de sus estudios y diseños, e informes de interventoría y obra según el caso.

Por otra parte a nuestras familias, compañeros y amigos que nos motivaron y apoyaron de forma incondicional, a todos ellos un abrazo.

---

### **Prefacio**

Se solicita por escrito al Instituto Nacional de Vías – INVIAS, permiso para realizar la auscultación del puente La Cabuya ubicado sobre el Río Cravo Sur, en el Municipio de Yopal, Departamento de Casanare; el Permiso es otorgado con limitaciones a pruebas no destructivas, considerando ello se programa el desarrollo del estudio.

Inicialmente se realiza una primera visita al paciente, haciendo una inspección visual de cada uno de los elementos que lo componen, se determinan de forma general las lesiones que presenta, las que deben ser estudiadas a fondo mediante estudios específicos y determina el plan de trabajo.

Considerando que se trata de un ejercicio académico, y que se cuenta con el apoyo del Instituto Nacional de Vías en cuanto al suministro de información, se solicita a dicha entidad la entrega de los resultados de los estudios realizados, dentro de los cuales se puede relacionar estudio hidrológico y socavación, análisis estructural, levantamiento topográfico.

Se realiza levantamiento de las lesiones de la superficie de rodadura, y junto con las de los demás elementos (muerto, cables, vigas, pendolones, galápagos, elementos de anclaje, estribos, apoyos de vigas) se consolida un mapa de lesiones.

Se realiza un análisis de los resultados de los estudios obtenidos, y las lesiones identificadas de forma visual, generando un diagnóstico, un plan de intervención y mantenimiento; y resaltando que el paciente se localiza sobre una vía de orden nacional se complementa con un capítulo de seguridad industrial y plan de manejo de tránsito.

---

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN.....                                                                                          | 14 |
| Objetivo General.....                                                                                      | 14 |
| Objetivos Específicos .....                                                                                | 14 |
| 1. SELECCIÓN DEL PACIENTE OBJETO DE ESTUDIO. ....                                                          | 15 |
| 2. PREPARACIÓN Y PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO.....                                                             | 15 |
| 2.1. Inspección preliminar de la obra.....                                                                 | 15 |
| 2.2. Alcance del estudio .....                                                                             | 15 |
| 2.3. Definición de la información que se necesita recopilar o levantar .....                               | 16 |
| 2.4. Preparación de los formatos para levantamiento y recopilación de la información                       | 17 |
| 2.5. Selección de la forma de almacenar y tabular la información .....                                     | 17 |
| 2.6. Definición del proceso de recopilación de información en campo.....                                   | 19 |
| 2.7. Definición del alcance de la exploración y medios necesarios (apiques, calas, sondeos, etc.)          | 19 |
| 2.8. Permisos y autorizaciones que garanticen la accesibilidad y facilidad de exploración de la obra. .... | 20 |
| 2.9. Definición del equipo de trabajo que realizará la exploración.....                                    | 20 |
| 2.10. Definición de los medios para la realización de la exploración.....                                  | 22 |
| 2.11. Medidas preventivas a tener en cuenta durante la exploración.....                                    | 22 |
| 2.12. Servicios especializados para la exploración (laboratorios, maquinaria, personal, etc.)              | 23 |
| 3. HISTORIA CLINICA.....                                                                                   | 23 |
| 3.1. Datos específicos del estudio .....                                                                   | 23 |
| 3.2. Datos generales del paciente .....                                                                    | 24 |
| 3.3. Datos generales del entorno .....                                                                     | 25 |
| 3.3.1. Edificaciones u obras vecinas .....                                                                 | 25 |
| 3.3.2. Medio ambiente .....                                                                                | 28 |
| 3.4. Datos específicos del paciente .....                                                                  | 33 |
| 3.4.1. Intervenciones previas .....                                                                        | 38 |

---

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

---

|          |                                                                                         |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.2.   | Información existente. ....                                                             | 45  |
| 3.5.     | La estructura.....                                                                      | 46  |
| 3.5.1.   | Tipología estructural: cimentación y superestructura .....                              | 46  |
| 3.5.2.   | Constatación de estado .....                                                            | 49  |
| 3.5.3.   | Constatación de comportamiento .....                                                    | 51  |
| 3.5.4.   | Análisis de cargas.....                                                                 | 57  |
| 3.5.5.   | Análisis de vulnerabilidad sísmica .....                                                | 58  |
| 3.6.     | La cimentación.....                                                                     | 61  |
| 3.7.     | El Suelo.....                                                                           | 62  |
| 3.7.1.   | Geología.....                                                                           | 62  |
| 3.7.2.   | Subsuelo .....                                                                          | 62  |
| 3.8.     | Hidrología e Hidráulica.....                                                            | 63  |
| 3.9.     | Superficie de rodadura puente .....                                                     | 67  |
| 3.9.1.   | Zona 1.....                                                                             | 68  |
| 3.9.2.   | Zona 2 a zona 6.....                                                                    | 70  |
| 3.9.3.   | Zona 7 a zona 11.....                                                                   | 72  |
| 3.9.4.   | Zona 12 a zona 16.....                                                                  | 76  |
| 3.9.5.   | Zona 17 a zona 21.....                                                                  | 79  |
| 3.9.6.   | Zona 22 .....                                                                           | 82  |
| 3.10.    | Datos específicos de las lesiones .....                                                 | 92  |
| 3.10.1.  | Suciedad (física-primaria).....                                                         | 92  |
| 3.10.2.  | Organismos (química-secundaria).....                                                    | 93  |
| 3.10.3.  | Pérdida de recubrimiento en los cables - Oxidación – Corrosión (Química – Secundaria) . | 95  |
| 3.10.4.  | Fisuras tablero. ....                                                                   | 97  |
| 3.10.5.  | Parche (PCH), Perdida de Agregado (PA), Pulimento del agregado (PU) .....               | 98  |
| 3.10.6.  | Núcleos. ....                                                                           | 100 |
| 3.10.7.  | Eflorescencias.....                                                                     | 101 |
| 3.10.8.  | Fisuras en los alambres. ....                                                           | 102 |
| 3.10.9.  | Juntas frías (JF) – Hormigueros (HO).....                                               | 103 |
| 3.10.10. | Socavación.....                                                                         | 104 |
| 4.       | PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....                                                          | 105 |
| 4.1.     | Elementos a intervenir .....                                                            | 105 |

---

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2. Planteamiento de la Intervención .....                                           | 106 |
| 4.2.1. Macizos de anclaje y Estribos .....                                            | 106 |
| 4.2.2. Elementos metálicos cables, vigas, columnas torres, elementos conexiones. .... | 110 |
| 4.2.3. Tablero (superficie de rodadura) y guardaruedas.....                           | 112 |
| 5. PRESUPUESTO .....                                                                  | 117 |
| 6. PROGRAMA DE OBRA. ....                                                             | 118 |
| 7. CONCLUSIONES .....                                                                 | 119 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA .....                                                                 | 120 |

---

**LISTA DE ESQUEMAS**

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Esquema 1. Registro de lesiones tomadas en campo zona 1 .....       | 70 |
| Esquema 2. Registro de lesiones tomadas en campo zona 2 a 6. ....   | 72 |
| Esquema 3. Registro de lesiones tomadas en campo zona 7 a 11. ....  | 75 |
| Esquema 4. Registro de lesiones tomadas en campo.....               | 79 |
| Esquema 5. Registro de lesiones tomadas en campo zona 17 a 21 ..... | 82 |
| Esquema 6. Registro de lesiones tomadas en campo zona 1. ....       | 85 |

**LISTA DE IMAGENES**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Imagen 1. Zonificación puente colgante La cabuya. ....                                                                                                                                                                                                                                                                             | 18 |
| .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 26 |
| Imagen 1. Vista en planta edificaciones ubicadas en la zona occidental del puente, lado Yopal. Fuente: levantamiento topográfico Consorcio IPV. ....                                                                                                                                                                               | 26 |
| Imagen 2. Registro fotográfico edificaciones y otras obras en la zona occidental del puente. Fuente: Propia. ....                                                                                                                                                                                                                  | 26 |
| Imagen 3. Vista en planta edificaciones y otras obras ubicadas en la zona Oriental del puente. Fuente: edición plano levantamiento topográfico Consorcio IPV. ....                                                                                                                                                                 | 27 |
| Imagen 4. Registro fotografico edificaciones y otras obras en la zona Oriental del puente. Fuente: Propia. ....                                                                                                                                                                                                                    | 28 |
| Imagen 6. Zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av. Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, figura A.2.3-1. ....                                                                                                                                     | 31 |
| Imagen 8. Vista corte longitudinal puente La Cabuya. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. ....                                                                                                                                                                                                                       | 33 |
| Imagen 9. Superestructura, vigas transversales, vigas de rigidez y arriostramiento tipo K. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. ....                                                                                                                                                                                 | 34 |
| Imagen 10. Superestructura: tablero, vigas transversales, vigas longitudinales (apoyo de la losa de concreto). Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. ....                                                                                                                                                             | 34 |
| Imagen 11. Superestructura: Viga de rigidez, viga transversal y viga longitudinal. Las imágenes no están a escala. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. ....                                                                                                                                                         | 35 |
| Imagen 12. Superestructura: Corte transversal torres, sección elementos. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. ....                                                                                                                                                                                                   | 36 |
| Imagen 13. Superestructura: Corte transversal tablero, vigas transversales, vigas de rigidez, pendolones. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. ....                                                                                                                                                                  | 36 |
| Imagen 14. Zona 22. Macizo con ampliación margen izquierdo (lado Paz de Ariporo). Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. ....                                                                                                                                                                                          | 37 |
| Imagen 15. 1. Sistema de anclaje torones de 5/8”; 2. Paso de los torones por el galápago; 3. Paso de los torones de 5/8” y paquete de 95 alambres por las abrazaderas; 4. Ubicación paquete de 95 alambres de 4,21mm en reemplazo de cable principal de 2” fallado. Fuente: Consorcio IPV, Informe Diagnostico Estructural. ....   | 38 |
| Imagen 16. 1. Ampliación macizos y anclaje cables de 2 ¼”. 2. Acondicionamiento abrazaderas cables 2 ¼” zona pendolones; 3. Paso cables por galápago acondicionado. Fuente: 1 y 2 Propia; 3. Consorcio IPV, Informe diagnostico estructural. ....                                                                                  | 39 |
| Imagen 17. 1. Apoyo viga de rigidez, contacto de pernos con elemento guía; 2. Colocación de gato para elevar viga de rigidez; 3. Colocación de lámina de relleno bajo la parte fija de la viga de rigidez; 4. Se observa separación entre la cabeza de los remaches del elemento de la viga de rigidez y la sección de apoyo. .... | 40 |

---

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Imagen 18. Plataforma para lavado con chorro de agua parte inferior del tablero. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015.....                                                                                                                                                                                                                                             | 41 |
| Imagen 19. 1-2. Retiro de la baranda con equipo de oxicorte; 3. Preparación cintas de acero para refuerzo vigas de rigidez; 4. Refuerzo de las vigas de rigidez con cintas de acero ASTM A-36. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015 .....                                                                                                                              | 41 |
| Imagen 20. 1. Camión con viaje de rocas diámetros de 1 a 1,20 m; 2. Disposición de las rocas y protección de los taludes con polisombra; 3. Vista desde el puente de la disposición de las rocas previo acomodamiento con máquina; 4. Conformación enrocado aguas arriba y abajo del puente margen izquierdo. Fuente: 1-3 Propia; 4 Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015 ..... | 42 |
| Imagen 21. 1. Corte de los alambres deteriorados y amarre con alambre y abrazaderas; 2. Se observa zona cables deteriorados y reforzados con torones de 5/8” baja relación grado 270; 3. Detalle abrazaderas metálicas especiales y cuñas; 4-5. Vista zona deteriorada y personal realizando reparación. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015.....                     | 43 |
| Imagen 22. Reparación junta de dilatación losa de concreto tablero. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015. ....                                                                                                                                                                                                                                                         | 44 |
| Imagen 23. Reparación junta de expansión acceso puente. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015. ....                                                                                                                                                                                                                                                                     | 44 |
| Imagen 24. Toma de muestra de acero en columnas de torres y vigas de rigidez para ensayo de tensión. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. 2015, JPS Ingeniería. ....                                                                                                                                                                                                                     | 48 |
| Imagen 25. Probetas tomadas de las columnas de las torres del puente. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV, SM Ingenieros SAS, SENA. 2015. Ensayo tensión. ....                                                                                                                                                                                                                           | 48 |
| Imagen 26. Camiones de diseño proyecto original y repotenciaciones 2010 y 2015. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. 2015. Diagnostico estructural contrato 922-2015. ....                                                                                                                                                                                                               | 49 |
| Imagen 27. Secciones de la vigas de rigidez. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. 2015. Diagnostico estructural contrato 922-2015. ....                                                                                                                                                                                                                                                  | 50 |
| Imagen 28. Resumen resultados comportamiento puente ante esfuerzos de diferentes trenes de carga. Fuente: Cidec Ingeniería Ltda. Evaluación estructural puente la cabuya. 2010. ....                                                                                                                                                                                                                   | 54 |
| Imagen 29. Índices de sobreesfuerzo para diferentes cargas de diseño. Fuente: Cidec Ingeniería Ltda. Evaluación estructural puente la cabuya. 2010.....                                                                                                                                                                                                                                                | 55 |
| Imagen 30. Caudales máximos río Cravo Sur a la altura del Puente La Cabuya. Fuente: Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015.....                                                                                                    | 64 |
| Imagen 31. Niveles máximos río Cravo Sur a la altura del Puente La Cabuya. Fuente: Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015.....                                                                                                     | 65 |

---

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Imagen 32. Diámetro de diseño rocas enrocado. Fuente: Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015. ....                              | 65 |
| Imagen 33. Cuneta que descarga sobre talud aguas arriba margen izquierdo. Fuente: Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015. ....  | 66 |
| Imagen 34. Escorrentía borde vía y encharcamiento acceso margen izquierdo. Fuente: Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015. .... | 66 |
| Imagen 35. Resultados ensayos de compresión núcleos tablero de concreto. Fuente: Cidec Ingeniería SAS, ensayo de resistencia a la compresión de núcleos de concreto. ....                                                                                                                           | 67 |
| Imagen 36. Esquema general Z - 1 .....                                                                                                                                                                                                                                                              | 68 |
| Imagen 37. Esquema general Z - 1 .....                                                                                                                                                                                                                                                              | 68 |
| Imagen 38. Tapado o Parche Z - 1.....                                                                                                                                                                                                                                                               | 69 |
| Imagen 39. Cabezas Duras Z - 1.....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 69 |
| Imagen 40. Medidas Cabezas Duras Z - 1 .....                                                                                                                                                                                                                                                        | 69 |
| Imagen 41. Desprendimientos Z - 1 .....                                                                                                                                                                                                                                                             | 69 |
| Imagen 42. Desprendimientos Z - 1 .....                                                                                                                                                                                                                                                             | 69 |
| Imagen 43. Pérdida de material Z - 1 .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 69 |
| Imagen 44. Tapado o Parche Z-3.....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 71 |
| Imagen 45. PC y PCH Z-4.....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 71 |
| Imagen 46. PC y PCH Z-5.....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 71 |
| Imagen 47. PC y PCH Z-5.....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 71 |
| Imagen 48. PC y PCH Z-5.....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 72 |
| Imagen 49. Tapado o Parche .....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 74 |
| Imagen 50. PC y PCH.....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 74 |
| Imagen 51. Descascaramiento .....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 74 |
| Imagen 52. Parcheo .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 74 |
| Imagen 53. Descascaramiento .....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 74 |
| Imagen 54. PC y PCH.....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 74 |
| Imagen 55. Mediciones y parcheo .....                                                                                                                                                                                                                                                               | 75 |
| Imagen 56. Mediciones y núcleos .....                                                                                                                                                                                                                                                               | 75 |
| Imagen 57. Descascaramiento Z - 12 .....                                                                                                                                                                                                                                                            | 77 |
| Imagen 58. Parche y Baches Tapados .....                                                                                                                                                                                                                                                            | 77 |
| Imagen 59. PC y PCH Z-13.....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 77 |
| Imagen 60. PC y PCH Z-14.....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 77 |
| Imagen 61. PC y PCH Z-16.....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 78 |
| Imagen 62. PC y PCH Z-16.....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 78 |
| Imagen 63. PC y PCH Z-16.....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 78 |

---

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Imagen 64. PC y PCH Z-16.....                                                                                                                                                                  | 78  |
| Imagen 65. PC y PCH Z-18.....                                                                                                                                                                  | 81  |
| Imagen 66. PC y PCH Z-18.....                                                                                                                                                                  | 81  |
| Imagen 67. PC y PCH Z-19.....                                                                                                                                                                  | 81  |
| Imagen 68. Fisuras Transversales Z-19 .....                                                                                                                                                    | 81  |
| Imagen 69. Parche Tapado Z-20.....                                                                                                                                                             | 81  |
| Imagen 70. Parche Tapado Z-21.....                                                                                                                                                             | 81  |
| Imagen 71. Parche Tapado Z-20.....                                                                                                                                                             | 82  |
| Imagen 72. Parche Tapado Z-20.....                                                                                                                                                             | 82  |
| Imagen 73. PCH Z - 22.....                                                                                                                                                                     | 84  |
| Imagen 74. Baches Z - 22 .....                                                                                                                                                                 | 84  |
| Imagen 75. PCH y Baches Z - 22 .....                                                                                                                                                           | 84  |
| Imagen 76. Baches Z - 22 .....                                                                                                                                                                 | 84  |
| Imagen 77. PCH Z - 22.....                                                                                                                                                                     | 84  |
| Imagen 78. PCH Z - 22.....                                                                                                                                                                     | 84  |
| Imagen 79. Desprendimientos Z - 22 .....                                                                                                                                                       | 85  |
| Imagen 80. Bache - 22 .....                                                                                                                                                                    | 85  |
| Imagen 81. Resumen Índice de daño (Is) tramos evaluados superficie de rodadura<br>puente La Cabuya.....                                                                                        | 86  |
| Imagen 83. Cuadro con relación de mantenimientos requeridos según Is. ....                                                                                                                     | 86  |
| Imagen 84. Cuadro cálculo índice de daño (Is) zona 1.....                                                                                                                                      | 87  |
| Imagen 85. Cuadro cálculo índice de daño (Is) zona 2 a 6.....                                                                                                                                  | 88  |
| Imagen 86. Cuadro cálculo índice de daño (Is) zona 7 a11.....                                                                                                                                  | 89  |
| Imagen 87. Cuadro cálculo índice de daño (Is) zona 12 a 16.....                                                                                                                                | 90  |
| Imagen 88. Cuadro cálculo índice de daño (Is) zona 17 a 21.....                                                                                                                                | 91  |
| Imagen 89. Acumulación de suciedad en zona de galápagos, abrazaderas zona<br>intermedia (entre torres) y conexión pendolones a viga de rigidez en zona intermedia. ....                        | 92  |
| Imagen 90. Crecimiento de planta musgos, plantas con tallos definidos y líquenes<br>en cables, columnas torres, vigas y zona de anclaje. Fuente: Contrato 0922-2015 Invias.....                | 94  |
| Imagen 91. Oxidación y corrosión en cables, torones y pendolones. Registro de<br>zona Galápagos, abrazadera en zona intermedia (entre torres), pendolones. Fuente: Contrato 0922-<br>2015..... | 95  |
| Imagen 92. Grieta alrededor de guardarueda, acero de refuerzo fallado; Superficie<br>de rodadura con fisuramiento tipo piel de cocodrilo y parcheo. Fuente: Propia.....                        | 97  |
| Imagen 93. Tablero con presencia de parches, fisuras, pérdida y pulimiento de<br>agregado. Fuente: Propia.....                                                                                 | 98  |
| Imagen 94. Orificios de toma de núcleos en el tablero del puente y en el estribo<br>ubicado en el margen derecho del río. Fuente: Propia. ....                                                 | 100 |
| Imagen 95. Eflorescencias en el estribo margen derecho. Fuente: Propia. ....                                                                                                                   | 101 |
| Imagen 96. Rotura de alambres en cables de 2". Fuente: Contrato 0922-2015 Invias.<br>.....                                                                                                     | 102 |

---

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Imagen 97. Junta fría y hormigueros en muro de contención acceso puente margen derecho. Fuente: Propia.....                            | 103 |
| Imagen 98. Socavación Zona 1. Margen derecho río Cravo Sur.....                                                                        | 104 |
| Imagen 99. Socavación zona 22. Margen izquierdo río Cravo Sur. Fuente: Contrato 0922-2015 Invías.....                                  | 104 |
| Imagen 100. Sistema drenaje con material pétreo seleccionado - escorrentía subsuperficial. Fuente: Propia.....                         | 107 |
| Imagen 101. Detalle juntas. Fuente: Ivan Ricardo Sanchez. Taller diseño y construcción de juntas en pavimentos de concreto. 2011. .... | 114 |

---

## INTRODUCCIÓN

El puente La Cabuya, ubicado sobre el Río Cravo Sur en el Municipio de Yopal, Departamento de Casanare, es una estructura de gran importancia para la región, por donde se  **mueve** productos agrícolas, pecuarios y derivados de la industria petrolera, siendo indispensable mantener su buen funcionamiento.

Durante su vida útil se ha visto sometido a incrementos en el tránsito y tipo de cargas, afectándose algunos de sus elementos, por lo que el Instituto Nacional de Vías se ha visto en la obligación de realizar intervenciones para mejorar sus características físico – mecánicas, repotenciando la estructura y así garantizando la funcionalidad de la estructura y seguridad de los usuarios.

En el presente documento se relaciona la Historia Clínica, diagnóstico, propuesta de intervención, y propuesta de mantenimiento de acuerdo  **a evaluación** realizada del estado del paciente (Puente La Cabuya) para el **periodo** 2014 – 2015; adicionalmente se complementa con un capítulo sobre Seguridad Industrial, Plan de manejo de Tránsito de acuerdo a la normativa de Invia y considerando la necesidad de cierres parciales durante su futura intervención, y definición de los costos de la intervención con la respectiva evaluación de las diferentes fuentes de materiales.

## Objetivo General

Establecer a partir del diagnóstico obtenido, la intervención requerida y costos que garanticen el buen funcionamiento y durabilidad del paciente Puente La Cabuya, enmarcado en la realización de actividades de intervención seguras.

## Objetivos Específicos

- \_ Identificar las diferentes lesiones y determinar sus causas.
  - \_ Establecer la intervención o intervenciones que garanticen la funcionalidad y durabilidad del paciente.
  - \_ Determinar el presupuesto necesario para su ejecución.
  - \_ Realizar documentos de seguridad industrial y manejo de tránsito como complemento para garantizar la seguridad de los trabajadores y usuarios de la vía.
-

## **1. SELECCIÓN DEL PACIENTE OBJETO DE ESTUDIO.**

Considerando parámetros como localización del paciente afín con el lugar de permanencia de los estudiantes; presencia de diferentes tipos de lesiones que permitieran la aplicabilidad de los conocimientos adquiridos; la importancia de la estructura para la región; el acceso a información general a nivel de Estudios y Diseño, y procesos constructivos; se selecciona como paciente el Puente La Cabuya, ubicado sobre el río Cravo Sur, en la vía nacional Yopal – Paz de Ariporo, código 6513, PR 02+0300, Municipio de Yopal, Departamento de Casanare.

## **2. PREPARACIÓN Y PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **2.1. Inspección preliminar de la obra**

Una vez seleccionado el paciente, se realiza una primera visita de inspección el día 18 de Octubre de 2014, tomando un registro fotográfico de las diferentes lesiones identificadas, entre estas humedades, suciedad diferencial, fisuras en bordillos, rotura de cables, cultivo de musgo y líquenes en elementos de concreto, indicios de socavación en zona adyacente a los apoyos (estribos), corrosión entre otros.

Al identificar el tipo de lesiones en el paciente se establecen las diferentes mediciones a realizar, entre éstas se relaciona la instalación de testigos en algunos puntos de bordillos con presencia de fisuras, elementos de concreto a revisar con esclerómetro, medición de diámetros de cables y barras con pie de rey, medición de la humedad y temperatura local del paciente, revisión de niveles con el equipo de topografía, entre otros.

### **2.2. Alcance del estudio**

La realización de la patología del puente la Cabuya, enmarcado en un ejercicio académico, como opción para obtener el título de especialistas en Patología de la Construcción.

En el proceso de patología del paciente se define la realización de tres etapas bien definidas: Historia Clínica, Diagnostico (Lesiones y causas), Intervención (Reparación causas y lesiones, y mantenimiento).

---

Enmarcado en lo anterior, la realización de observación de los elementos constitutivos del paciente, identificación de las diferentes lesiones; toma de datos, análisis de información recopilada con la emisión del diagnóstico y la realización de las propuestas de intervención para la reparación y el mantenimiento.

Adicional a lo anterior con el fin de garantizar la seguridad en cada una de las actividades de intervención propuestas, se realizará documento de seguridad industrial y Plan de Manejo de Tránsito de acuerdo a la normativa del Ministerio de Transporte en lo relacionado con cierres parciales y totales en las vías nacionales del país.

### **2.3. Definición de la información que se necesita recopilar o levantar**

Para la realización del presente estudio, se requiere la recopilación y/o levantamiento de la siguiente información:

Fichas de identificación de lesiones

Topografía del paciente para determinar niveles.

Especificaciones técnicas de los materiales constructivos.

Estudio de suelos

Estudio hidrológico e hidráulico

Análisis estructural.

Planos

Estudio de tránsito

Historia de intervenciones realizadas en el tiempo.

Comportamiento del concreto ante la fenolftaleína – Carbonatación.

Ensayo de resistencia del concreto (esclerómetro, núcleos - compresión).

Ensayo de resistencia del acero en vigas y cables.

Instalación de testigos o Fisurómetros en elementos de concreto con presencia de fisuras.

---

## **2.4. Preparación de los formatos para levantamiento y recopilación de la información**

Para la recopilación de información de las diferentes lesiones, se realiza ficha de toma de datos y valoración con características especiales para el paciente particular, puente colgante La Cabuya. Dentro de la información considerada está: información general del paciente, localización de la lesión mediante zonificación y esquemas en planta y perfil, clasificación del tipo de lesión, columnas para establecer el orden (primaria, secundaria), el grado (leve, moderado, crítico), afectación del daño, nivel de recuperación.

Adicionalmente se establece espacio para imagen aérea de localización del paciente, plano en planta de localización a nivel municipal y local; espacio para esquemas en planta y perfil del elemento, y detalle de la zona en evaluación.

Por otra parte un espacio para relacionar el registro fotográfico, realización de observaciones, sintomatología, y determinación de las posibles causas.

La forma de diligenciar el formato se basa en el uso de la Matriz de elementos constitutivos del paciente (puente colgante), y un listado de las lesiones más frecuentes en las diferentes estructuras, (concreto, metálicas), colocando en la respectiva celda "X" cuando la lesión está identificada en el encabezado de la columna; cuando la lesión no se encuentra en el encabezado se registra la codificación de la lesión de acuerdo a las lesiones relacionadas en la sección Convenciones y Cuantificación de Daños del manual de Inspección Visual de Puentes del Instituto Nacional de Vías – INVIAS, tal relación de lesiones se localiza en la parte posterior de cada uno de los formatos, esto en razón a la imposibilidad de imprimir un formato que contenga el total de lesiones evaluadas para el tipo de paciente en estudio.

## **2.5. Selección de la forma de almacenar y tabular la información**

Para facilitar la recopilación de la información de lesiones, su almacenamiento, análisis y tabulación, se realiza zonificación del paciente (22 zonas), y codificación de los elementos constitutivos del mismo, a continuación se relaciona cuadro con la citada codificación:

---

| CODIFICACIÓN ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL PACIENTE |     |                              |     |
|---------------------------------------------------|-----|------------------------------|-----|
|                                                   |     |                              |     |
| <b>Losa</b>                                       | L   | <b>Sistema de Suspensión</b> | SS  |
| <b>Baranda</b>                                    | BA  | <b>Cables</b>                | CA  |
| <b>Soporte Pendolon</b>                           | SP  | <b>Pendolones</b>            | PEN |
| <b>Bordillo</b>                                   | BO  | <b>Fiadores</b>              | FI  |
| <b>Viga</b>                                       | VP  | <b>Abrazaderas</b>           | ABR |
| <b>Vigueta</b>                                    | V   |                              |     |
| <b>Riostra</b>                                    | R   | <b>Estribos</b>              | EST |
|                                                   |     |                              |     |
| <b>Portico</b>                                    | P   | <b>Muerto</b>                | MTO |
| <b>Elementos Vertical</b>                         | EV  |                              |     |
| <b>Elementos Horizontal</b>                       | EH  | <b>Gaviones</b>              | GAV |
| <b>Elementos Diagonal</b>                         | ED  |                              |     |
| <b>Apoyo</b>                                      | AP  |                              |     |
| <b>Galapago</b>                                   | GAL |                              |     |

Cuadro 1. Codificación elementos constitutivos del puente.

La zonificación se realiza considerando el espacio entre muerto y torres, torres y pendolones, y entre pendolones como áreas de estudio independientes, enumerándolas de zona 1 a zona 22, dando el Nombre de zona 1 a la sección Muerto – Torre del lado de Yopal, o derecho viendo aguas abajo; y enumeración en orden hasta la Zona 22 que corresponde a la sección Torre- Muerto, lado Paz de Ariporo o izquierdo viendo aguas abajo.

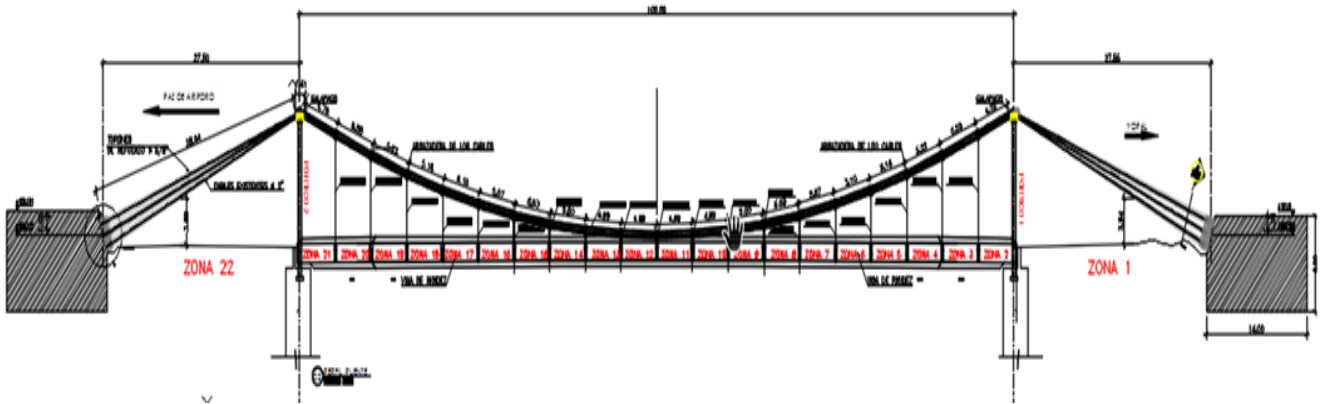


Imagen 1. Zonificación puente colgante La cabuya.

## **2.6. Definición del proceso de recopilación de información en campo**

Realización de visita de inspección preliminar con el fin de identificar los diferentes elementos constitutivos del paciente (Puente La Cabuya), identificación de los elementos con presencia de lesiones, determinación de zonificación y codificación de elementos del paciente para facilidad en la toma de datos, toma de registro fotográfico de las diferentes lesiones identificándolas con la zona y código de elemento, realización de descripción de la sintomatología de los elementos afectados, realización de la tipología de la lesión, Determinación de las posibles causas de acuerdo a la inspección visual realizada, colocación de testigos en elementos con fisuras o grietas para determinar su estado activo o inactivo, programación de ensayos a los elementos que lo requieran, programación de visitas periódicas para hacer seguimientos a las diferentes lesiones, realización de las fichas de toma de datos y valoración de lesiones.

Las actividades de visita a las diferentes entidades para recopilar los estudios y diseños existentes, es una actividad de importancia por cuanto son el apoyo para determinar el estado actual del puente y basados en esta información y los datos tomados en campo se formula el diagnóstico e intervención.

Es importante resaltar el apoyo de entidades como el Instituto Nacional de Vías, quienes suministraron los estudios y Diseños realizados para el puente hasta la fecha; además del apoyo de la firma CONSORCIO IPV a través del Ing. Saul Millan, quien ha participado en varias de las intervenciones realizadas al puente, y suministra la información histórica con que cuenta.

En el proceso de recopilación de información en campo se hace uso de los siguientes elementos y equipos: Cámara fotográfica, flexómetro, tabla acrílica, marcadores acrílicos, testigos de platina metálica, pegante universal, linterna, pie de rey, fisurómetro, bolsas tipo ziploc para toma de muestras, guantes, formatos de toma de datos.

## **2.7. Definición del alcance de la exploración y medios necesarios (apiques, calas, sondeos, etc.)**

Considerando que el paciente corresponde a un puente ubicado sobre una vía nacional, de gran importancia por cuanto comunica los municipios del departamento de Arauca y varios municipios del departamento de Casanare con el Departamento del Meta, Boyacá y en general interior del país, no fue posible obtener permiso para realizar pruebas destructivas (núcleos), limitando la exploración a la inspección visual de los elementos constitutivos del puente, y revisión de los resultados de estudios realizados por el Instituto Nacional de Vías a través de firmas contratistas en las áreas hidráulica, geología, **geotecnia** y estructuras.

---

## **2.8. Permisos y autorizaciones que garanticen la accesibilidad y facilidad de exploración de la obra.**

Se radica oficio en el Instituto Nacional de Vías, Dirección Territorial Casanare, solicitando permiso para la realización de ensayos destructivos y No destructivos con el fin de determinar el estado actual de los elementos constitutivos del paciente; como respuesta el INVIAS de forma verbal manifiesta que a menos de que la intervención cuente con un profesional especialista ya graduado y con capacidad de asumir la responsabilidad de cualquier eventualidad derivada de la realización de los ensayos, no podría otorgar tal permiso; en consecuencia se limita la auscultación a la inspección visual, y realización de pruebas no destructivas como prueba de presencia de carbonatación con fenolftaleína, localización de testigos para controlar fisuras, toma de muestras de eflorescencias para determinar contenido de sales, realización de mediciones mediante equipo topográfico, flexómetros y pie de rey; y el uso de los estudios y diseños contratados por la entidad para cada una de las disciplinas ( estructural, hidráulico, geológico, geotécnico).

Posteriormente mediante oficio DT CAS 16253 de fecha abril 13 de 2016, el Instituto Nacional de Vías autoriza la realización de la practica TPI - Patología del Puente la Cabuya ubicado sobre el rio Cravo Sur, en la vía nacional Yopal- Paz de Ariporo, restringiendo la realización de ensayos destructivos.

## **2.9. Definición del equipo de trabajo que realizará la exploración**

El equipo de trabajo que realiza la exploración de acuerdo a las limitaciones relacionadas en el numeral inmediatamente anterior se compone de tres profesionales formados en las aéreas de la Ingeniería Civil y Construcción de Arquitectura e Ingeniería, según la siguiente relación:

- Raúl Alfonso Espinosa Alfonso – Profesional en Construcción de Arquitectura e Ingeniería.
- Fabián Darío Salamanca Lemus – Profesional en Construcción de Arquitectura e Ingeniería.
- Guillermo Llano Palacios – Ingeniero Civil.

Los estudios suministrados por Invias, BP Exploration Company, Cidec Ingeniería Ltda, Saul H. Millán y que abarcan los aspectos hidráulicos, geológicos, geotécnicos y estructurales; se relacionan a continuación:

\_ Contrato No. 0046 de 2002, suscrito entre INVIAS y SAUL H. MILLAN G.

---

---

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

---

Objeto: Estudio e interventoría para la rehabilitación del puente Cravo Sur PR02+0385 de la carretera Yopal – Paz de Ariporo, ruta 65 tramo 6513.

Informe: Septiembre de 2003

Profesional responsable: Saúl H. Millán Gonzalez.

\_ MAMUT DE COLOMBIA S.A., Fabián E. Arias R. 2006. Revisión puente metálico para carga especial ruta: Yopal – Río Cravo Sur – El Morro, Puente la Cabuya sobre el Río Cravo Sur.

\_ Estudio realizado por CIDEK INGENIERÍA LTDA para BP EXPLORATION COMPANY

Objeto: Evaluación estructural del Puente La Cabuya Vía Yopal – Paz de Ariporo, Departamento de Casanare.

Fecha: Septiembre de 2010

Responsable: CIDEK INGENIERÍA LTDA

Profesionales: JAVIER ORLANDO MORALES LONDOÑO, Magister en Estructuras de la Universidad Nacional y JUAN BERNARDO CAÑON PARRA, Ingeniero civil Gerente CIDEK INGENIERÍA LTDA.

\_ Consultoría realizada en asocio por MAMUT DE COLOMBIA y COMANDE SAS para EQUION.

Objeto: Especificaciones técnicas generales para los trabajos de mantenimiento y reparación del puente colgante la cabuya sobre el río Cravo Sur.

Fecha: Junio de 2014

Responsable: MAMUT DE COLOMBIA y COMADE SAS.

\_ Contrato de Interventoría No. 1178 -2015, suscrito entre CONSORCIO PUENTE LA CABUYA 2015 e INVIAS.

Objeto: Interventoría para la rehabilitación y conservación del puente Cravo Sur (la cabuya) en la carretera Yopal – Paz de Ariporo.

Valor: \$ 219.634.748,00

Fecha de inicio: 21-08-2015

---

Fecha de terminación: 20-12-2015

\_ Contrato de Obra No. 922–2015, suscrito entre CONSORCIO IPV e INVIAS.

Objeto:

Valor: \$ 1.059.411.924,00

Fecha de inicio: 21-08-2015

Fecha de terminación: 20-12-2015

### **2.10. Definición de los medios para la realización de la exploración**

Considerando que el INVIAS no aprueba la realización de ensayos destructivos en el puente, pero apoya con el suministro de los estudios contratados hasta la fecha, se redefine el numeral como los medios para la obtención de los estudios realizados por la entidad Instituto Nacional De Vías, realización de inspección visual del puente y ensayos no destructivos.

- Aporte de instrumentos y equipos para la realización de la actividad de auscultamiento por parte de los integrantes del grupo de trabajo.
- Acercamiento al Instituto Nacional de Vías – INVIAS, Territorial Casanare para solicitar autorización para realizar la Patología del Puente y el Suministro de la información existente en la entidad hasta la fecha.
- Uso de la Guía de realización y presentación del Trabajo Profesional Integrado suministrado por la Universidad Santo Tomas.
- Revisión de los Estudios realizados por los contratistas de INVIAS.
- Aplicación de los conocimientos adquiridos para el desarrollo de las diferentes etapas del estudio.

### **2.11. Medidas preventivas a tener en cuenta durante la exploración**

Se hace uso de chalecos reflectivos, botas de seguridad, casco, señalización en la entrada y salida del puente de acuerdo a lo recomendado por INVIAS y alertando sobre personal en la vía.

---

### **2.12. Servicios especializados para la exploración (laboratorios, maquinaria, personal, etc.)**

Considerando la restricción del INVIAS en cuanto a la realización de ensayos destructivos, y que la misma entidad apoya el desarrollo de la práctica con el suministro de los estudios realizados hasta la fecha, los servicios especializados se limitan a contratación de laboratorio Químico, para la realización de los ensayos de contenido de sales de las muestras del material de eflorescencia tomado del muerto y estribo zona 1.

No se requiere el uso de ningún tipo de maquinaria.

Como personal especializado se considera cada uno de los profesionales que realizan los Estudios suministrados por el INVIAS, enmarcados en los contratos que se relacionan en el numeral 2.9; y los estudiantes del Programa Patología de la Construcción que hacen parte del grupo de evaluadores del paciente.

## **3. HISTORIA CLINICA**

### **3.1. Datos específicos del estudio**

El estudio es realizado por:

- Raúl Alfonso Espinosa Alfonso – Profesional en Construcción de Arquitectura e Ingeniería.
- Fabián Darío Salamanca Lemus – Profesional en Construcción de Arquitectura e Ingeniería.
- Guillermo Llano Palacios – Ingeniero Civil.
- Apoyo del Instituto Nacional de Vías con suministro de estudios realizados.

La evaluación del paciente se realiza durante el periodo Junio de 2014 a Mayo de 2016

El paciente puente la Cabuya, sobre el Rio Cravo Sur, en el Municipio de Yopal, Departamento de Casanare, hace parte de la infraestructura vial de la Carretera Yopal – Paz de Ariporo, Código 6513, vía Nacional a cargo del Instituto Nacional de Vías – INVIAS, entidad que mediante oficio DT CAS 16253 de fecha abril 13 de 2016 otorga permiso de auscultación sin realización de ensayos destructivos.

---

### **3.2. Datos generales del paciente**

Nombre: Puente La Cabuya

Fecha de construcción: hace 55 años aproximadamente, no se encuentran registros en Inviás de la fecha de construcción.

Localización (País, ciudad o municipio): Se localiza en Colombia, en el Departamento de Casanare, en el Municipio de Yopal, sobre la carretera Yopal – Paz de Ariporo código 6513, en el PR 02+0300.

Dirección: Carretera Yopal – Paz de Ariporo, código 6513 PR 02+0300, Municipio de Yopal, Departamento de Casanare.

Propietario: Infraestructura vía a cargo del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

Uso actual y previsto: Actualmente el paciente puente La Cabuya, sobre el Rio Cravo Sur es utilizado como único paso para comunicar el interior con los Municipios de Pore, Paz de Ariporo, Hato Corozal, Nunchia, El Morro, Sacama, La Salina, Orocue, Trinidad y los Municipios del Departamento de Arauca, este último zona de frontera que colinda con el municipio de El Amparo del estado de Apure de la República de Venezuela.

Importancia (Cultural, histórica, Funcional, etc.): Su importancia es más de tipo funcional, considerando que es el único paso sobre el Rio Cravo Sur, y comunica gran parte de los Municipios de Casanare y el departamento de Arauca con el interior del país, adicionalmente con la República de Venezuela a través del Municipio El Amparo del Estado de Apure, en la zona de frontera con Arauca.

Sistema estructural y constructivo: De acuerdo a los manuales de INVIAS se clasifica longitudinalmente como Tipo 03, puente colgante y transversalmente como Tipo 01 Losa sobre vigas.

Una superestructura con un sistema de apoyo en vigas de acero, y tablero tipo losa de concreto fundida in situ.

Normativa actual que lo rige: Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP 14; publicada mediante resolución No. 0000108 del 26 de enero de 2015 por el Ministerio de Transporte.

Es importante resaltar que en Colombia se utilizó la especificación americana “AASHTO” hasta el año 1994, fecha en la cual el Gobierno nacional encargó a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS producir un documento nacional que sirviera de reglamentación para los puentes del país, en 1995 la AIS mediante convenio con el Ministerio de

---

Transporte e INVIAS publica el código Colombiano de Diseño de Puentes - CCP 95, basado en la especificación AASTHO, edición de 1992.<sup>1</sup>

De acuerdo a lo anterior se ubica que para la época de construcción del puente La Cabuya (1961 aprox), muy probablemente se aplicó la reglamentación de la AASHO, posteriormente AASHTO.

### **3.3. Datos generales del entorno**

#### **3.3.1. Edificaciones u obras vecinas**

Se localiza en la zona occidental (lado Yopal) cuatro (04) edificaciones de un nivel, una de estas funcionando como restaurante de fin de semana; la más cercana a una distancia de 14m aprox., del punto de acceso al puente (torre 1), las siguientes a 23m, 34m y 45m respectivamente; todas en la zona aguas abajo del puente; aguas arriba se ubica una edificación de un nivel, a una distancia lineal de 45m aprox., esta vivienda es de uso habitacional, y comercial puesto que se presta el servicio de restaurante y miscelánea.

En la zona sur occidental también se puede observar la existencia de dos alcantarillas de 36”, complementadas con cunetas, dissipador de energía y descoles en piedra pegada, llevando el agua de escorrentía superficial desde las zonas adyacentes de la vía que conduce al Cerro el Venado (Quebrada la Calabozza) y zonas adyacentes a la vía nacional, hasta el cauce del rio Cravo Sur, en una longitud aproximada de 58m, de acuerdo al levantamiento topográfico, ver Imagen 1 y 2.<sup>2</sup>

En la zona oriental se localiza una edificación con uso habitacional adyacente a la vía que conduce al Morro y a una distancia de 45m aprox. del acceso del puente; en esta zona igualmente se observa la tubería de conducción de agua potable del acueducto urbano del municipio de Yopal, la tubería se encuentra adosada a las vigas de rigidez del puente aguas arriba y aguas abajo; aguas abajo y en la zona de acceso al puente se ubica una caja de inspección en concreto que hace parte del sistema de conducción del citado acueducto.

---

<sup>1</sup>República de Colombia, Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2014). Norma Colombiana de diseño de puentes – LRFD – CCP14: Prefacio, 2-3.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Vías, Territorial Casanare., Consorcio IPV. (2015). Levantamiento topográfico.

---

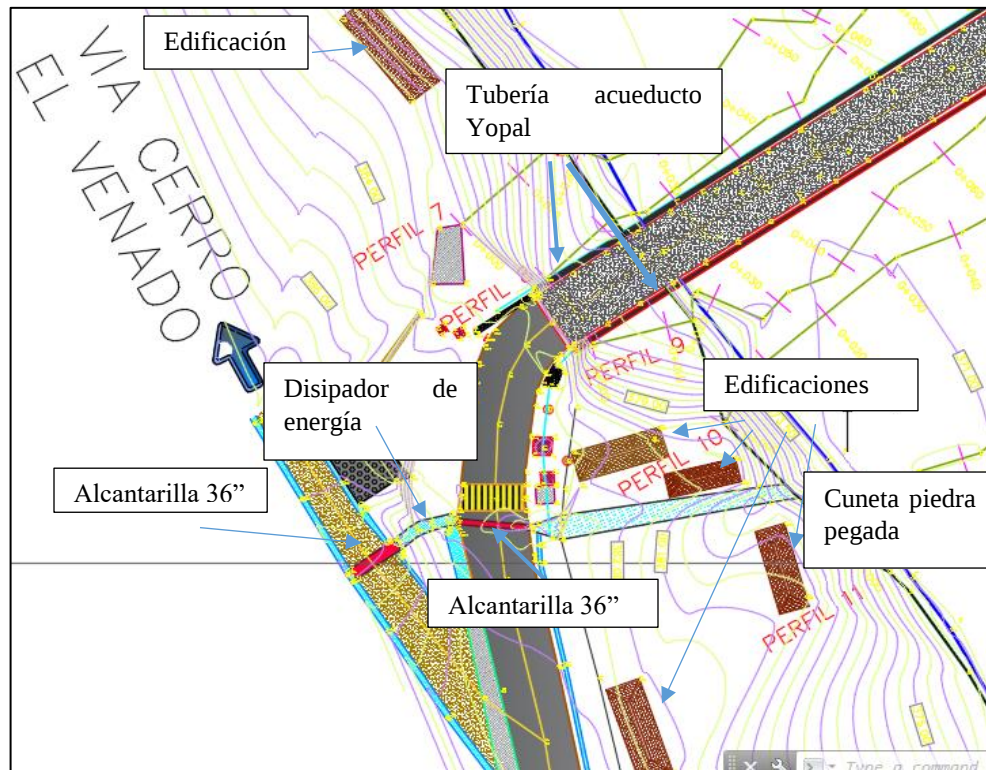


Imagen 1. Vista en planta edificaciones ubicadas en la zona occidental del puente, lado Yopal. Fuente: levantamiento topográfico Consorcio IPV.



Imagen 2. Registro fotográfico edificaciones y otras obras en la zona occidental del puente. Fuente: Propia.



## PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI

Sobre la vía nacional que conduce a Paz de Ariporo y a una distancia de 42m aprox., del acceso al puente se localiza un Box Culvert, complementado con cunetas revestidas en concreto del lado oriental de la vía que conducen el agua hasta el encole, y un descole en piedra pegada que conduce el agua captada hasta el cauce del Rio Cravo Sur. Ver imagen 3 y 4.

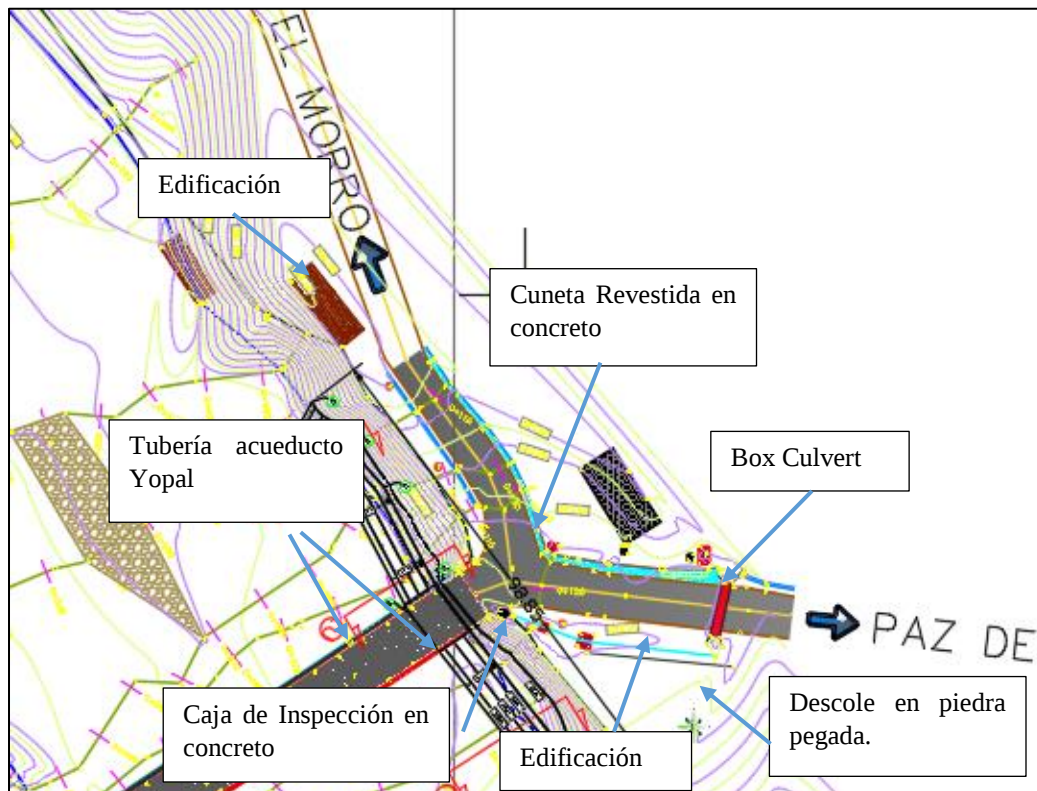


Imagen 3. Vista en planta edificaciones y otras obras ubicadas en la zona Oriental del puente. Fuente: edición plano levantamiento topográfico Consorcio IPV.

El estado general de las obras antes relacionadas es bueno, se observa presencia moderada de cultivos orgánicos líquenes y musgos en las estructuras en concreto; La caja de inspección del acueducto urbano del Municipio de Yopal presenta pérdida parcial de apoyo en la cimentación debido a socavación del talud del margen izquierdo del rio. Ver imagen 2.



Imagen 4. Registro fotografico edificaciones y otras obras en la zona Oriental del puente. Fuente: Propia.

### 3.3.2. Medio ambiente

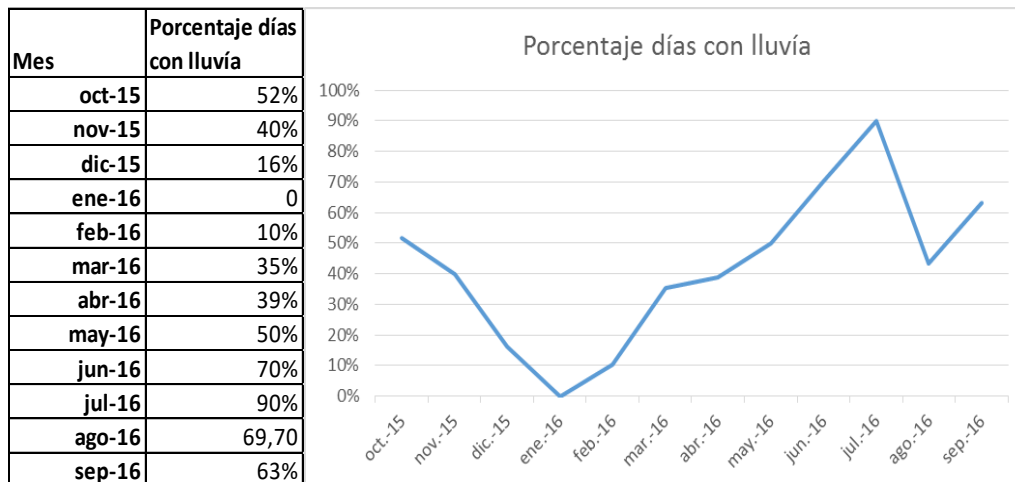
De acuerdo a los reportes del IDEAM, en su página web <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/pronosticos>, se realiza compilado y análisis de los registros de temperatura y precipitación para el periodo Octubre de 2015 a Septiembre de 2016, se calculan los valores máximos, mínimos y promedios para cada uno de los meses del periodo, obteniendo el siguiente cuadro resumen:

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

| Mes    | Precipitación<br>Máxima<br>(mm/día) | Precipitación<br>promedio<br>(mm/día) | Temperatura<br>máxima (°C) | Temperatura<br>mínima (°C) | Temperatura<br>máxima<br>promedio (°C) | Temperatura<br>mínima<br>promedio (°C) |
|--------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| oct-15 | 42,90                               | 6,52                                  | 34,40                      | 21,80                      | 32,55                                  | 23,64                                  |
| nov-15 | 131,30                              | 8,49                                  | 33,40                      | 22,00                      | 31,58                                  | 23,33                                  |
| dic-15 | 23,00                               | 1,48                                  | 33,60                      | 21,80                      | 32,20                                  | 23,46                                  |
| ene-16 | -                                   | -                                     | 36,40                      | 22,60                      | 34,50                                  | 25,00                                  |
| feb-16 | 9,10                                | 0,44                                  | 37,40                      | 24,40                      | 35,39                                  | 26,50                                  |
| mar-16 | 44,20                               | 4,04                                  | 38,00                      | 23,80                      | 36,40                                  | 26,40                                  |
| abr-16 | 90,60                               | 24,03                                 | 34,40                      | 22,40                      | 32,00                                  | 24,13                                  |
| may-16 | 129,00                              | 16,99                                 | 32,80                      | 11,20                      | 30,62                                  | 22,76                                  |
| jun-16 | 43,50                               | 9,08                                  | 33,40                      | 21,00                      | 29,57                                  | 22,63                                  |
| jul-16 | 87,80                               | 16,32                                 | 32,20                      | 21,00                      | 29,46                                  | 22,30                                  |
| ago-16 | 69,70                               | 7,64                                  | 33,00                      | 21,00                      | 31,06                                  | 23,08                                  |
| sep-16 | 116,60                              | 11,38                                 | 33,20                      | 21,20                      | 31,72                                  | 23,17                                  |

Cuadro 1. Temperatura y precipitación de agua, periodo Octubre 2015 a Septiembre de 2016. Fuente: realización propia, información tomada de <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/pronosticos>.

Se observa que el día de mayor precipitación se ubica en el mes de mayo de 2016 con 129mm, y la precipitación promedio más alta se da durante el mes de abril de 2016 con 24,03 mm; por otra parte se **análiza** los días de precipitación durante el mes, concluyendo que los meses con precipitación del 50% o mayores corresponden al periodo Mayo a Octubre, siendo el mes de Julio el que más días con lluvias presentó con un 90%; y los meses con menor precipitación Diciembre de 2015, Enero y Febrero de 2016. Ver cuadro 2.



Cuadro 2. Porcentaje días con precipitación de agua durante cada mes. Fuente: realización propia, información base tomada de <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/pronosticos>.

## PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI

Las temperaturas más altas se dieron durante los meses de enero, febrero y marzo con magnitudes de 36.4, 37.4 y 38 °C; por otra parte las temperaturas más bajas se registraron durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre con valores de 21 a 21,20 °C. Ver cuadro 1.

En la imagen 5 se puede observar el comportamiento de la temperatura y la precipitación durante el periodo octubre de 2015 a septiembre de 2016.

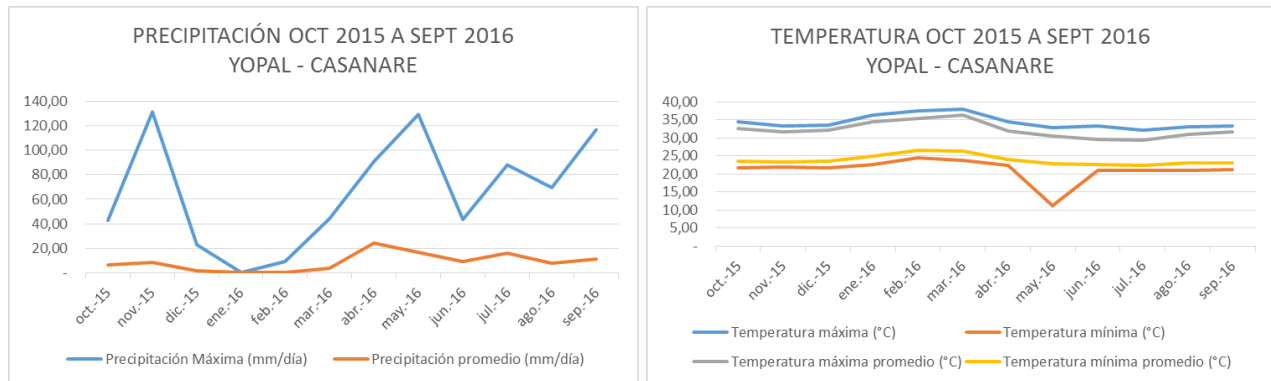


Imagen 5. Gráfica de precipitación y temperatura periodo octubre de 2015 a septiembre de 2016.  
 Fuente: realización propia, información base tomada de <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/pronosticos>.

La humedad relativa para los meses de Abril a Septiembre está por encima del 80%, valores que corresponden a la época lluviosa; para el periodo octubre – noviembre el valor disminuye a valores del orden del 77%, y en los meses de sequía se obtienen valores hasta del 65%.<sup>3</sup>

La NSR-10 en el numeral A.2.3 Zonas de amenaza sísmica, ubica al municipio de Yopal en una zona de amenaza sísmica alta con  $A_a = 0.3$  y  $A_v = 0.2$ . Ver imagen 6.

<sup>3</sup> Alcaldía Municipal de Yopal, Secretaria de planeación municipal, Unión Temporal Visión Yopal. Mayo 2007. Agenda Ambiental: Climatología, 19.

## PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI

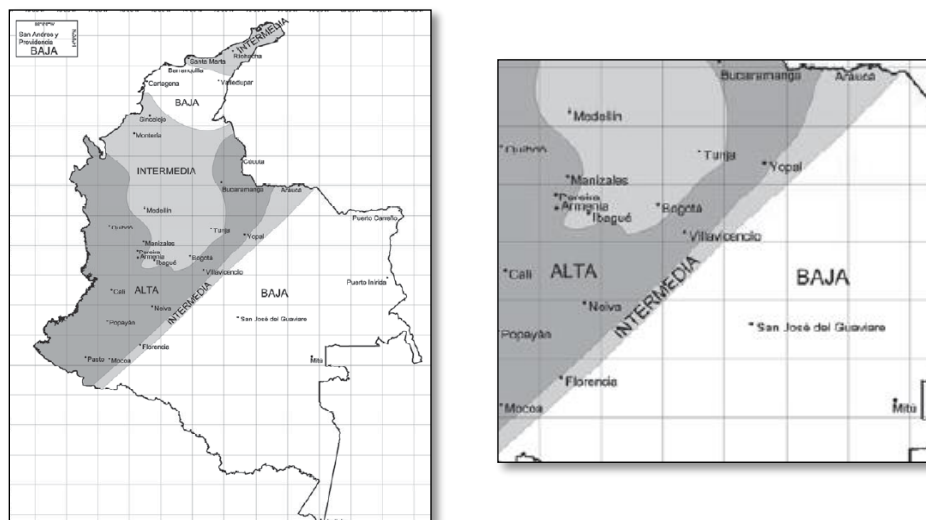


Imagen 6. Zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av. Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, figura A.2.3-1.

En cuanto al ambiente local, el puente La Cabuya, se ubica como paso sobre el río Cravo Sur, no se observa en las inmediaciones fábricas que puedan aportar agentes químicos al agua o aire que afecten la estructura, la zona es rural encontrando comercio dedicado a prestar servicios de recreación (restaurante, piscina, cabañas).

Como contaminantes se identifican los producidos por el resultado del proceso de combustión interna de los motores de los vehículos, entre los cuales se pueden identificar en mayor cantidad el monóxido de carbono, y el Dióxido de carbono, y otros como hidrocarburos no quemados, Nitrógeno y Óxidos de nitrógeno; de acuerdo a los conteos realizados por el Inviás estaciones 931 y 932 ubicadas en los tramos Aguazul-Yopal y Yopal-Araguaney respectivamente para el año 2013 se registra TPDS (Transito promedio diario semanal) de 7686 y 6070 vehículos respectivamente<sup>4</sup>; es importante resaltar que las condiciones económicas de la zona han cambiado debido a la variación en el precio del barril de petróleo, situación que ha disminuido de forma considerable la actividad petrolera y por tanto disminuido el tránsito de vehículos; considerando conteos realizados por INVIAS periodo 2014-2015 se obtiene TPDS de 4471 (57-9-34) vehículos.

En cuanto a la geomorfología en el Municipio de Yopal se observan formaciones de montañas, compuestas principalmente por rocas sedimentarias, principalmente areniscas cuarzosas, arcillolitas y lutitas; escarpes formados por arenitas y lutitas con forma escalonada,

<sup>4</sup> Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías. Volúmenes de tránsito y costos de operación 2012-2013: Volúmenes de tránsito Territorial Casanare, estaciones 931 y 932.

## PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI

suaves ondulaciones hasta encontrar zonas llanas; definiendo los paisajes de montaña, paisaje de pie de monte, paisaje de lomerío, paisaje de planicie aluvial y paisaje de valle.<sup>5</sup>

La zona del proyecto se ubica en una zona de pie de monte, correspondiendo a una zona de transición entre el paisaje de montaña y el paisaje de sabana, ubicando la lámina de agua a una altura de 375 msnm y la superficie de rodadura a 381 msnm; localmente la estructura se encuentra cimentada en los límites del cauce del río Cravo Sur para el caso de estribo lado izquierdo y a 10 metros del límite del cauce lado derecho.

El río Cravo Sur está clasificado como de alta peligrosidad, teniendo pendientes desde media alta hasta alta, captación de precipitaciones anuales promedio de 2500mm, se resalta que para el periodo analizado octubre 2015 a septiembre de 2016 el IDEAM reporta una precipitación de 2646mm, ver imagen 7.; sumado a ésto se ubica en zona de amenaza sísmica alta, que lo hace más propenso a deslizamientos en las zonas del Morro y Labranzagrande, previéndose un posible represamiento del río en tales zonas y la consecuente afectación aguas abajo (casco urbano Yopal), si llegase a ocurrir un sismo con la magnitud requerida.

En la inspección visual realizada se evidenció socavación en los márgenes derecho e izquierdo del río, afectando la estabilidad del talud adyacente a las vías que conducen hacia el Morro y Paz de Ariporo a la altura del acceso al puente; socavación causada por creciente del río por los picos de precipitación que se presentaron en el periodo.

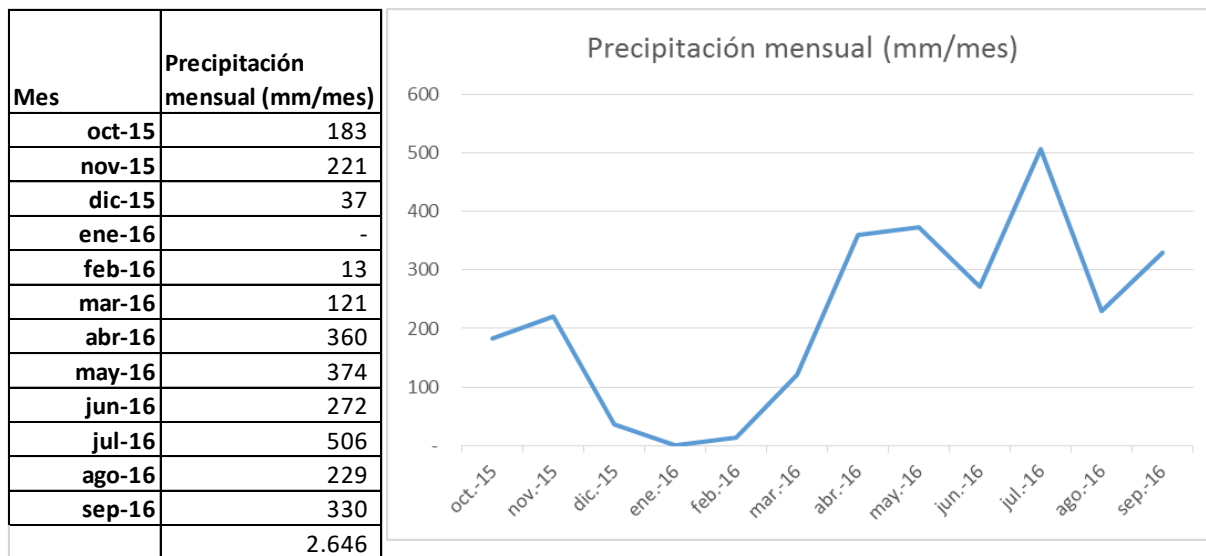


Imagen 7. Precipitación mensual. Fuente: realización propia, información base tomada de <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/pronosticos>.

<sup>5</sup> Alcaldía Municipal de Yopal, Secretaria de planeación municipal, Unión Temporal Visión Yopal. Mayo 2007. Agenda Ambiental: Geomorfología, 9-11.



### 3.4. Datos específicos del paciente

El puente La Cabuya está localizado en el Departamento de Casanare, en el Municipio de Yopal, en la vía que conduce de Yopal hacia el Municipio de Paz de Ariporo, como paso sobre el río Cravo Sur; de acuerdo a los registros del Instituto Nacional de Vías se ubica en la ruta 6513, en el PR 02+0300.

El puente se clasifica longitudinalmente como colgante, transversalmente como de losa sobre vigas, tiene una longitud entre torres de 100m aprox., de una luz, dos carriles con un ancho total de calzada de 8,80m, ver imagen 13; los apoyos son fijos, con anclajes externos con macizos ubicados a 26,45m y media a los anclajes a 27.5m de las respectivas torres; presenta superficie de rodadura en concreto rígido, en el acceso y salida presenta pavimento flexible; la junta de expansión ubicada en los accesos corresponde a tipo de platina deslizante, no presenta elementos de iluminación; los accesos están ubicados en curvas horizontales. Ver imagen 8.

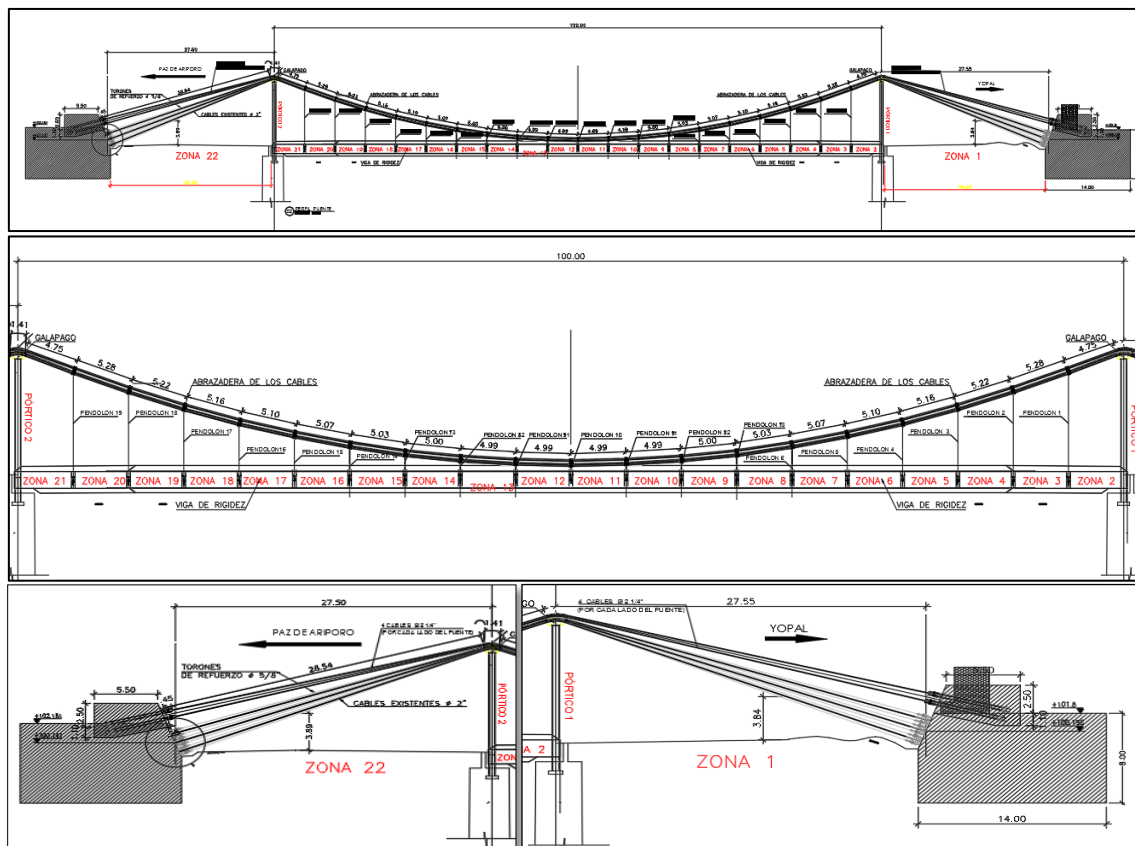


Imagen 8. Vista corte longitudinal puente La Cabuya. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV.

La superestructura cuenta entre otros con vigas transversales, en las que se apoyan dos vigas de rigidez longitudinales, con arriostramiento tipo K, ver imagen 9.



## PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI

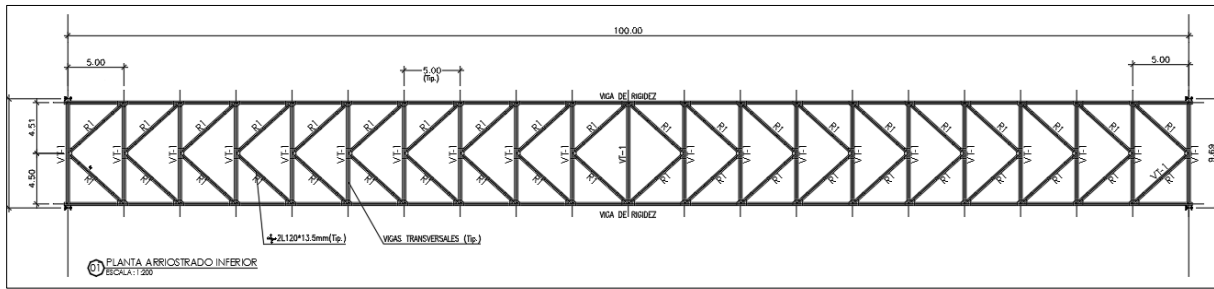


Imagen 9. Superestructura, vigas transversales, vigas de rigidez y arriostramiento tipo K. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV.

La losa de concreto y superficie de rodadura se apoya sobre perfiles W ubicados longitudinalmente y apoyados sobre las vigas transversales, el tablero tiene como superficie de rodadura una losa en concreto reforzado con espesor de 17,5cm, ver imagen 10.

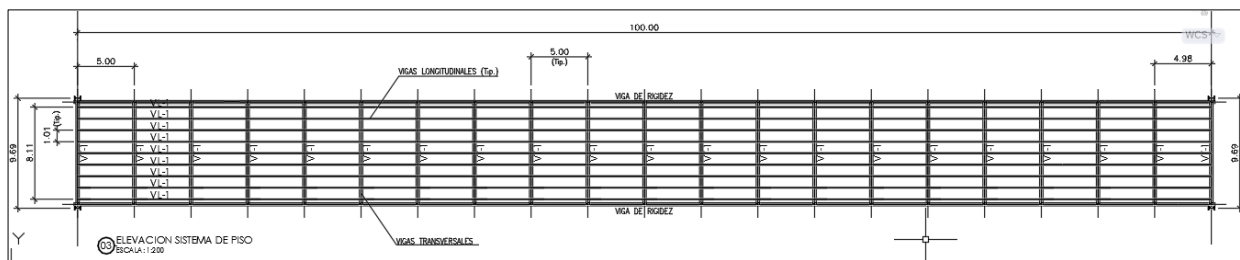


Imagen 10. Superestructura: tablero, vigas transversales, vigas longitudinales (apoyo de la losa de concreto). Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV.

Las vigas de rigidez (VR) son en alma llena, armadas con ángulos en las aletas, reforzadas con platabandas; la altura de estas vigas es variable con una altura en el centro de 2,45m y en los extremos y en una longitud de 10,30m altura de 1,52 y 1,53m (ver planos record contrato 922-2015); las vigas transversales (VT-1) son perfiles de alma llena armados en I con altura de 0.98m, con separación entre ejes de 5m aprox.; las vigas longitudinales (VL-1) sobre las cuales se apoya la losa de concreto y superficie de rodadura tienen una altura de 0.28m y con separación entre ejes de 1.01m aprox.; el tablero consta de 9 vigas longitudinales (VL-1) en perfil W de alma llena, que actúan como vigas continuas sobre las vigas transversales. Ver imagen 11 y 13.



PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI

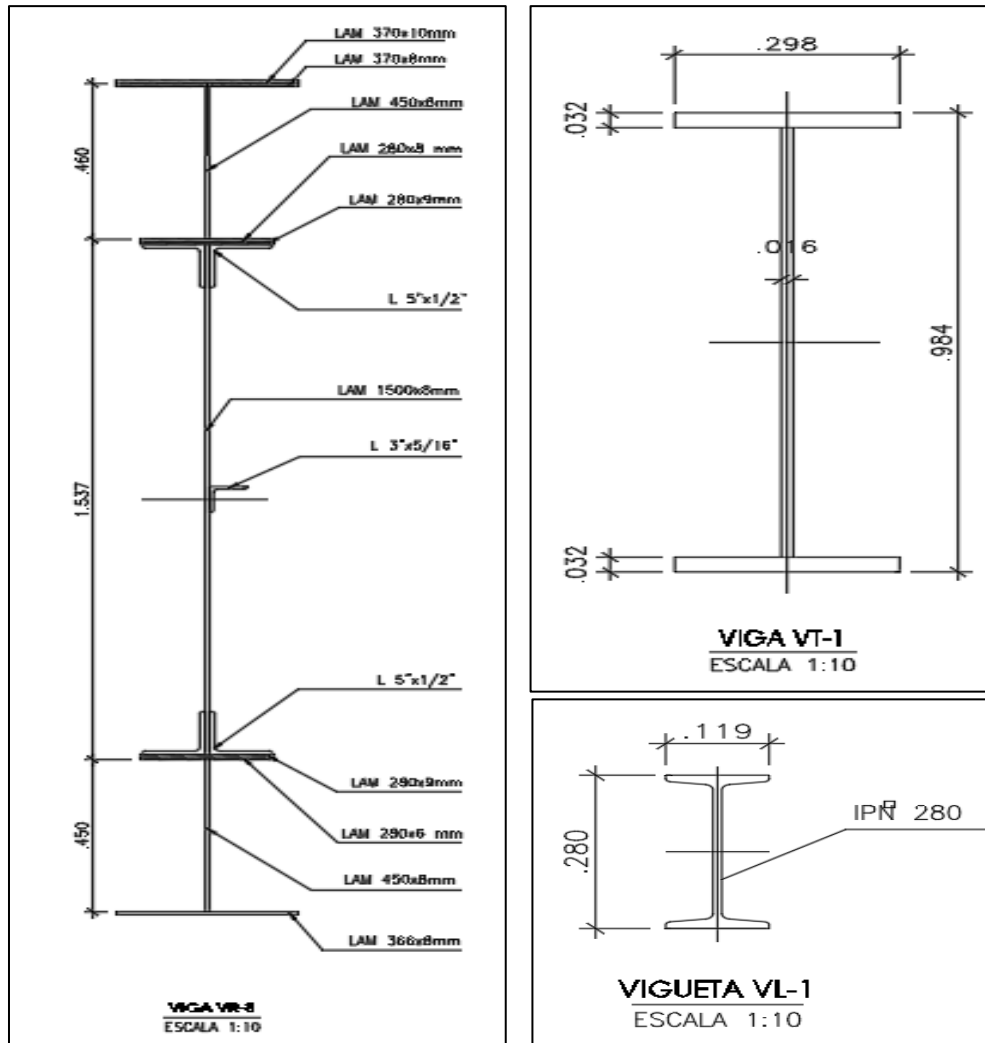


Imagen 11. Superestructura: Viga de rigidez, viga transversal y viga longitudinal. Las imágenes no están a escala. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV.

Las Torres están conformadas por pórticos, con una altura de 12,00m aprox., medidos desde el apoyo de la viga de rigidez; las columnas se forman con perfiles en doble T reforzados con platabandas en sus dos aletas, y las vigas transversales son perfiles armados con doble canal; arriostramiento con perfiles W estándar. Ver imagen 12.

Los pendolones corresponden a barras macizas circulares, separadas cada 5,00m, coincidiendo con las vigas transversales. Ver imagen 13.

Las conexiones son en su mayoría remachadas y Pernadas para algunas intervenciones realizadas posteriores a la construcción del puente.

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

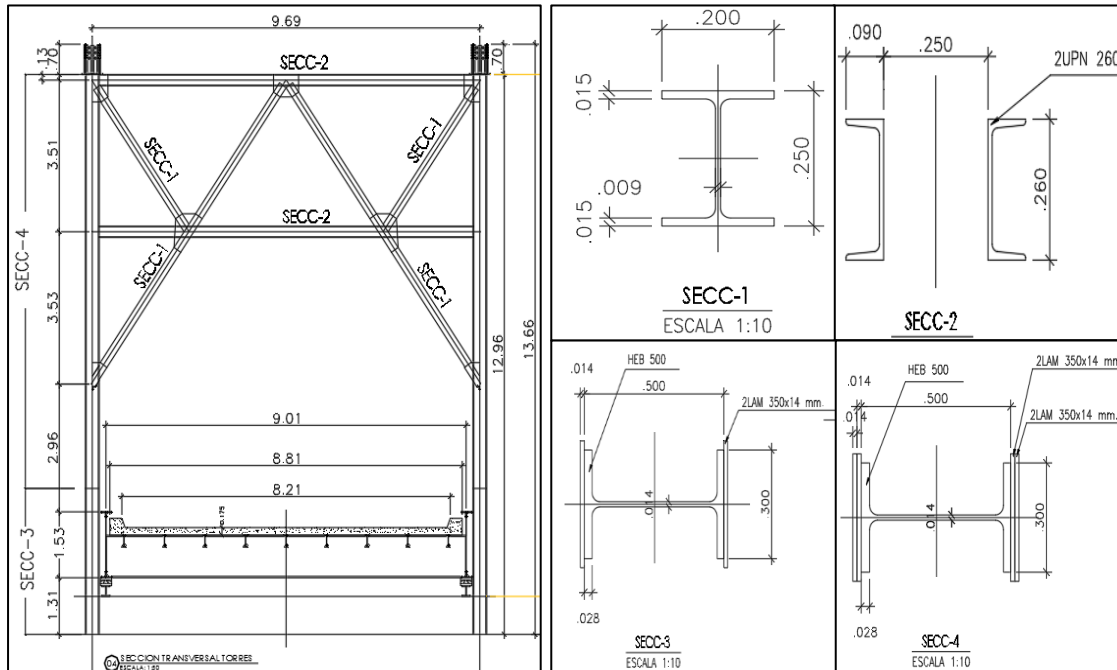


Imagen 12. Superestructura: Corte transversal torres, sección elementos. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV.

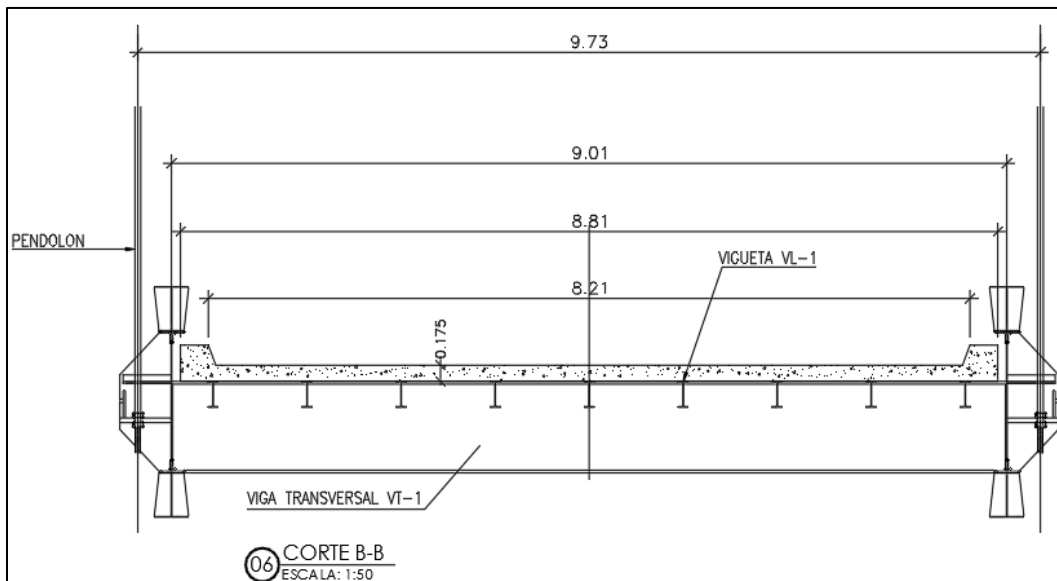


Imagen 13. Superestructura: Corte transversal tablero, vigas transversales, vigas de rigidez, pendolones. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV.

## PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI

El sistema de cableado principal consta de 12 cables de 2", uno de los cables fallo y fue sustituido por 95 alambres de 4.21mm de diámetro calidad ASTM A-416, y se refuerza colocando adicionalmente 24 torones de 5/8" en cada lado del puente para un total de 48 torones de calidad grado 260 K baja relación; en la última rehabilitación realizada se amplían los macizos y se colocan 8 cables de diámetro 2 1/4", que se encontraban en la zona del Páez (Cauca).

Los macizos cuentan con una sección en planta de 15 x 14m, una altura de 8,4m; la ampliación está compuesta por dos elementos de concreto sobre cada macizo con sección en planta de 4x6.42m (base mayor) y una elevación sobre el macizo existente de 2.5m. Ver imagen 14.

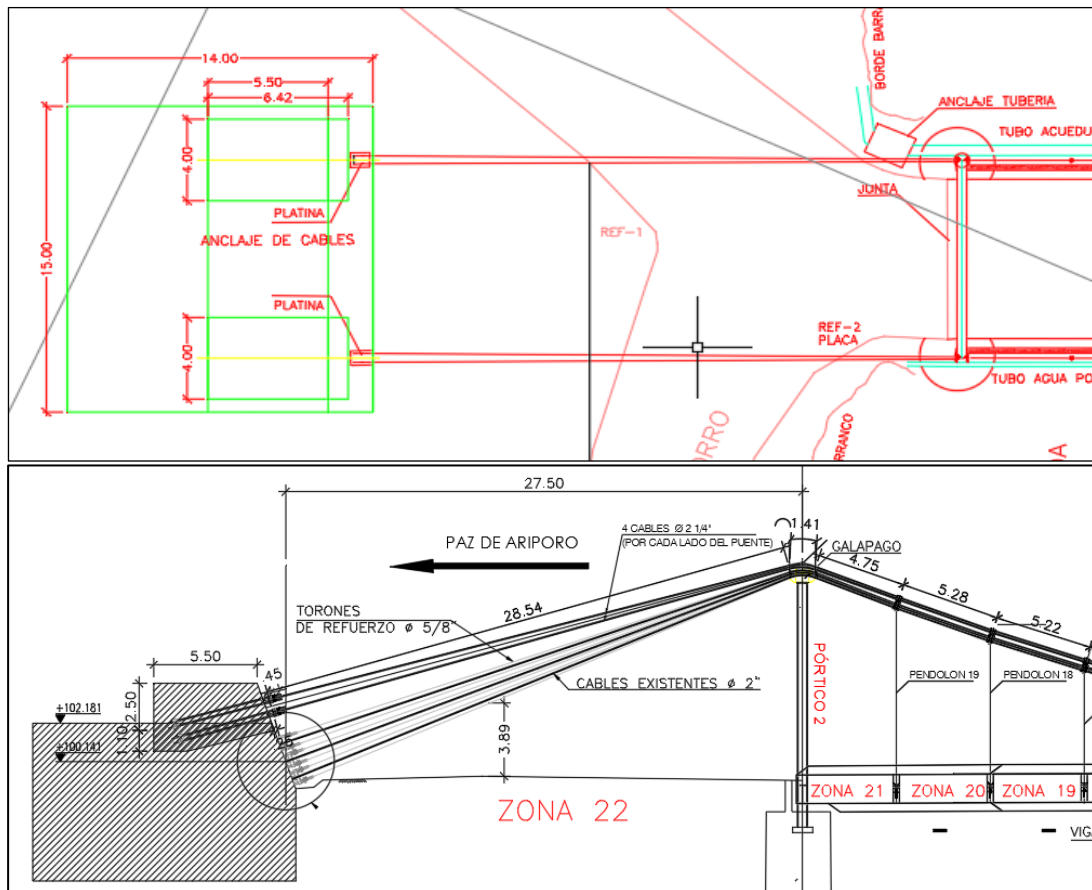


Imagen 14. Zona 22. Macizo con ampliación margen izquierdo (lado Paz de Ariporo). Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV.

El Instituto Nacional de Vías – INVIAS realiza pavimentación de la vía Yopal – Paz de Ariporo, no considerándose en el diseño geométrico del mejoramiento de vía, la altura de los cables principales, quedando un Galibo de 3.89m margen izquierdo del rio (lado Paz de Ariporo) y de 3.84 margen derecho (lado Yopal), galibo muy bajo teniendo en cuenta la carga extradimensionada que circula por esta vía (sector hidrocarburos) y lo dispuesto en el código de diseño de puentes mayor o igual a 5,5m.

### **3.4.1. Intervenciones previas**

En el año 1989 a 1990 aproximadamente se realiza un escarificado de la losa de concreto, se coloca una sobrecapa de 3cm, y se funde en secciones rectangulares, a la fecha de hoy (2016) tales losas presentan alto deterioro, observándose que no hay un comportamiento monolítico entre el concreto antiguo y el nuevo.<sup>6</sup>

Durante el año 2000, fallan dos de los cables principales de 2” de diámetro.

En el año 2003 falla otro cable de 2” del mismo lado que los cables anteriores; el motivo de la nueva falla de estos cables pudo haber sido la calibración incorrecta de los cables, dejando algunos cables con mayor participación de cargas.

Para la reparación de este último cable fallado, Invías contrata en el año 2003 a JOP Construcciones Interventoría E.U. para su intervención, por un valor de 100 millones; se resalta que el valor de la reparación se calcula en el orden de los 1500 millones dado que para la sustitución del cable se requiere apoyar todo el puente mediante el uso de gatos hidráulicos.

La solución adoptada considerando la disponibilidad de recursos fue la instalación de un paquete de 95 alambres de 4.21mm de diámetro de calidad ASTM A-416 y la colocación de 24 torones de 5/8” en cada lado, para un total de 48 torones de grado 260K baja relación.

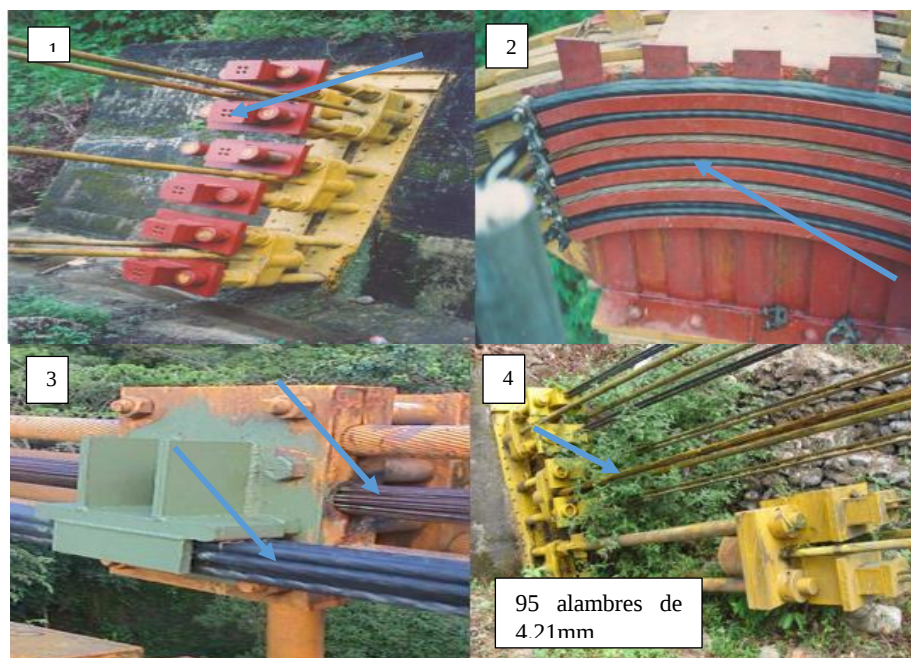


Imagen 15. 1. Sistema de anclaje torones de 5/8”; 2. Paso de los torones por el galápago; 3. Paso de los torones de 5/8” y paquete de 95 alambres por las abrazaderas; 4. Ubicación paquete de 95 alambres de 4,21mm en reemplazo de cable principal de 2” fallado. Fuente: Consorcio IPV, Informe Diagnostico Estructural.

---

<sup>6</sup> Saúl H. Millán G. Enero de 2016. Entrevista intervenciones realizadas al puente La Cabuya.

---

Con la anterior intervención se refuerza el puente en cuanto a capacidad de los cables en un 36%, y se nivela el tablero subiendo la viga de rigidez del lado aguas arriba 30cm.

La interventoría una vez terminada la rehabilitación, informa a Invías la necesidad de construir un nuevo puente que cumpla con las especificaciones para las características el tránsito de la zona.

La firma Mamut de Colombia S.A. a través del Ing. Fabián E. Arias R. realiza en Diciembre de 2006 análisis estructural para verificar la capacidad del puente para soportar el paso de carga especial de 132 toneladas, conceptuando que estaba en capacidad distribuyendo la misma en vehículo de 10 ejes, y argumentando que la carga a soportar no superaba la máxima permisible equivalente a 1948.10 kg/cm<sup>2</sup> para la viga de rigidez y elementos que conforman el tablero.<sup>7</sup>

Posteriormente se realiza la pavimentación del tramo Yopal – Paz de Ariporo, sin considerar en el diseño geométrico del mejoramiento la altura de los cables inferiores del puente, reduciendo el Galibo en el punto más crítico a 3.89m en el lado Paz de Ariporo (margen izquierdo del río) y de 3.84m en el lado Yopal (margen derecho del río).

La Firma Cidec Ingeniería Ltda presenta informe técnico en Septiembre de 2010, en el que entre otros se recomienda prolongar el refuerzo de la viga central en un módulo adicional hacia ambos extremos de la viga de rigidez, entendiéndose como modulo el área entre pendolones.

En el año 2010 Invías contrata una nueva consultoría para rehabilitación del puente, como resultado se propone la instalación de 8 cables usados que se encontraban en otra estructura ubicada en la zona del Páez (Cauca), cuatro a cada lado con diámetro de 2 ¼”; esta rehabilitación hace necesaria la ampliación de los macizos, ubicando dos elementos en concreto adosados a cada macizo existente, con dimensiones en planta de 4x6.42 (base mayor) y 5.5m (base menor), altura medida desde la superficie del macizo existente de 2.5m, ver imagen 14.

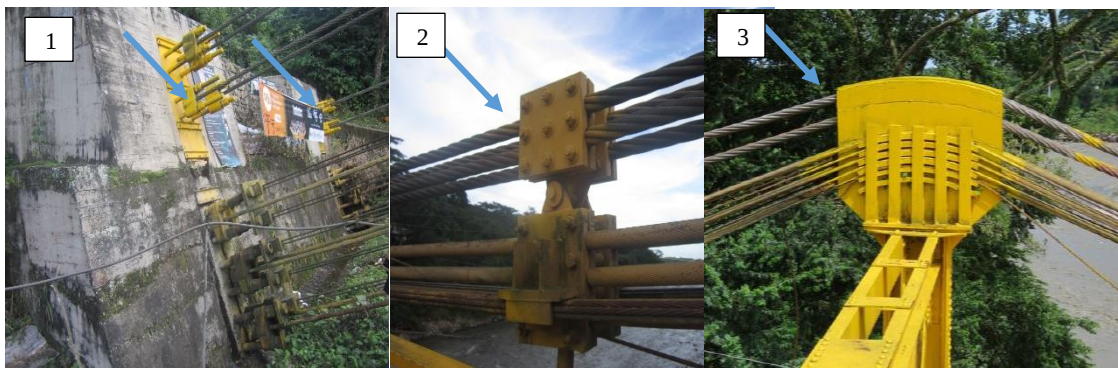


Imagen 16. 1. Ampliación macizos y anclaje cables de 2 ¼”. 2. Acondicionamiento abrazaderas cables 2 ¼” zona pendolones; 3. Paso cables por galápago acondicionado. Fuente: 1 y 2 Propia; 3. Consorcio IPV, Informe diagnostico estructural.

---

<sup>7</sup> Mamut de Colombia S.A., FABIAN E. ARIAS. R. 2006. Revisión puente metálico para carga especial ruta Yopal-Rio Cravo Sur-El Morro , puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur.

---

Mediante contrato de obra 922 de 2015 Invías contrata la firma Consorcio IPV, para una nueva rehabilitación del puente, por un valor total de \$ 1.059.411.924,00, y el contrato de interventoría 1178 de 2015 con la firma Consorcio Puentes La Cabuya por un valor total de \$ 219.634.748,00.

Mediante los anteriores contratos (922-2015 y 1178-2015) se realizan las siguientes intervenciones:<sup>8</sup>

Se realizan actividades de limpieza de cunetas, de estribos, toma de muestras de cables para análisis de resistencia, levantamiento topográfico y batimétrico 400m aguas arriba y abajo del puente, toma de 20 núcleos en la losa del puente de las cuales se analizan solo 5 en el laboratorio; reemplazo de dos cables pos tensados de 5/8”- 2 x 163m; reparación de pendolón zona 11 y 12 lado aguas arriba; reparación con concreto graut de la placa existente en algunos baches.

Se identifica que las cabezas de los remaches de uno de los elementos de la viga de rigidez no permite el desplazamiento horizontal de ésta, se corrige con la colocación de láminas de relleno en los cuatro apoyos utilizando gatos hidráulicos con capacidad mínima de 30 toneladas para levantar las vigas; las láminas se colocan en espesores de acuerdo a la necesidad de cada apoyo; Se finaliza sujetando las láminas de relleno a las vigas de soporte inferior.



Imagen 17. 1. Apoyo viga de rigidez, contacto de pernos con elemento guía; 2. Colocación de gato para elevar viga de rigidez; 3. Colocación de lámina de relleno bajo la parte fija de la viga de rigidez; 4. Se observa separación entre la cabeza de los remaches del elemento de la viga de rigidez y la sección de apoyo.

---

<sup>8</sup> Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015, Contrato de interventoría 1178-2015. Informe final de interventoría, antecedentes, 7-8.

---

## **PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

---

Se realiza lavado de los diferentes elementos del puente con chorro de agua a presión, para el caso del lavado de la parte inferior del tablero se instala una plataforma metálica adosada las vigas de rigidez, se instala línea de vida para garantizar la seguridad del operario. Ver imagen 18.



Imagen 18. Plataforma para lavado con chorro de agua parte inferior del tablero. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015

Se realiza nuevamente reforzamiento de las vigas de rigidez con material calidad ASTM A-36, electrodos AWS E-7018 o equivalente.<sup>9</sup> Ver imagen 19.



Imagen 19. 1-2. Retiro de la baranda con equipo de oxicorte; 3. Preparación cintas de acero para refuerzo vigas de rigidez; 4. Refuerzo de las vigas de rigidez con cintas de acero ASTM A-36. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015

---

<sup>9</sup> Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. 2015. Diagnostico estructural contrato 922-2015.

---

Obras de estabilización talud margen izquierdo mediante enrocado alrededor del estribo del margen izquierdo, iniciando 10 metros aguas arriba y terminando 70 metros aguas abajo, se adopta pendiente 2:1, y un tamaño D84= 1.20m, se maneja granulometría entre 0.6m y 1.4m buscando un material bien gradado; protección de taludes con poli sombra. Ver imagen 20.



Imagen 20. 1. Camión con viaje de rocas diámetros de 1 a 1,20 m; 2. Disposición de las rocas y protección de los taludes con polisombra; 3. Vista desde el puente de la disposición de las rocas previo acomodamiento con máquina; 4. Conformación enrocado aguas arriba y abajo del puente margen izquierdo. Fuente: 1-3 Propia; 4 Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015

Refuerzo de dos cables principales mediante montaje de cables 2x16 D5/8” x 16,5m pos tensados como reemplazo del área perdida de los cables principales. Ver imagen 21.

Reconstrucción de las juntas de las losas de concreto del tablero con concreto polimérico, ver imagen 22.

Reparación de las juntas de expansión ubicadas en los accesos, ver imagen 23.

La estructura, puente La Cabuya, se encuentra actualmente en funcionamiento, siendo uno de los principales pasos para comunicar el interior del país con los municipios de Casanare zona nororiental, Departamento de Arauca, último que es zona de frontera con la República de Venezuela.

---

Entre los profesionales que han participado de alguna manera en la construcción, rehabilitación y mantenimientos realizados al puente se encuentran:

- Javier Orlando Morales Londoño, Magister en Estructuras U.A. MP. 2520261499 CND
- Ing. Fabián E. Arias R, Profesional Mamut de Colombia S.A. M.P. 25202-13787 CND.
- Juan Bernardo Cañón Parra, Gerente Cidec Ingeniería Ltda. MP. 25292109374 CND
- Consorcio IPV. Renán Cardozo Cardozo, Representan Legal. Saúl H. Millán G., Director de obra. Teléfono 57-1-3111676.



Imagen 21. 1. Corte de los alambres deteriorados y amarre con alambre y abrazaderas; 2. Se observa zona cables deteriorados y reforzados con torones de 5/8" baja relación grado 270; 3. Detalle abrazaderas metálicas especiales y cuñas; 4-5. Vista zona deteriorada y personal realizando reparación. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015



Imagen 22. Reparación junta de dilatación losa de concreto tablero. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015.

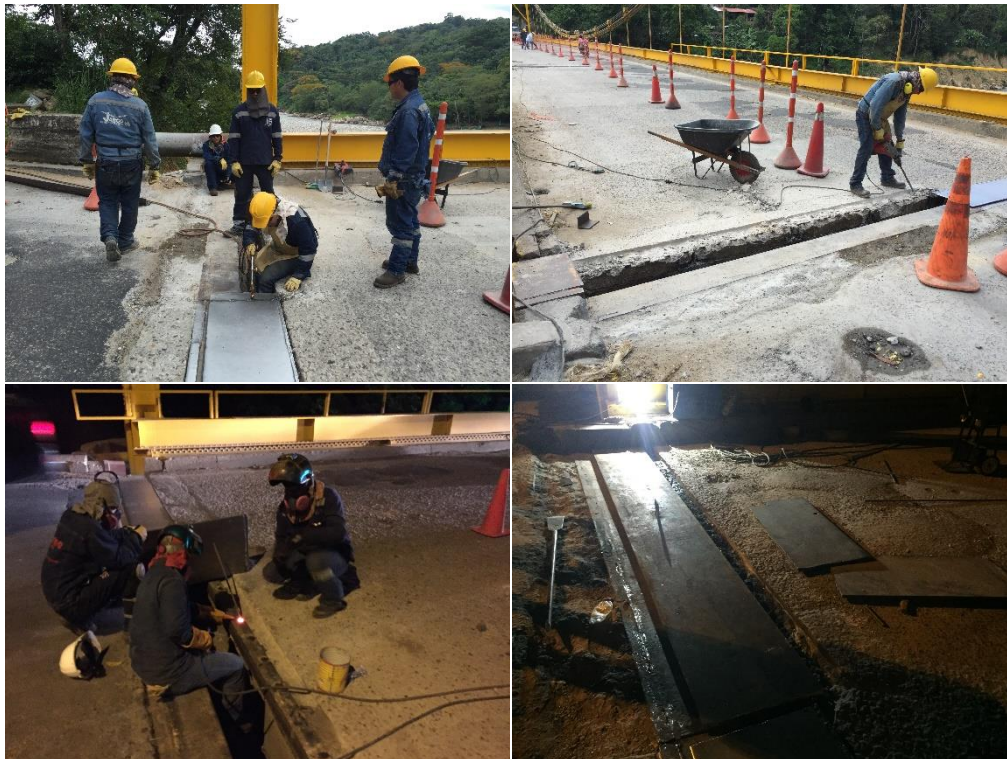


Imagen 23. Reparación junta de expansión acceso puente. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015.

---

### **3.4.2. Información existente.**

El Instituto Nacional de Vías ha suministrado los documentos de algunas de las consultorías realizadas para la rehabilitación del puente La Cabuya, entre las cuales se relacionan las siguientes:

- JOP Construcciones Interventorías E.U, Jorge Ocampo Piedrahita, Director de obra. 2003. Contrato para la Reparación puente La Cabuya.

Saúl H. Millán G. Ingeniero Civil, Interventor mediante contrato 0046 de 22 de abril de 2003. 2003. Objeto: Estudio e Interventoría para la Rehabilitación del Puente Cravo Sur PR 2 + 0385 de la carretera Yopal – Paz de Ariporo, Ruta 65 Tramo 65-13.

Con cargo a estos contratos se realizó algunos estudios de los cuales se cuenta con la siguiente información:

Levantamiento topográfico zona puente y perímetro de 40m alrededor de los macizos aprox.

Planos alternativa reforzamiento puente con 24 torones a cada lado de 5/8”.

Planos perfil nivel de apoyo pendolones.

Registro fotográfico estado puente año 2003.

Algunos cuadros de deflexiones, análisis estructural no disponible la información.

- Mamut de Colombia S.A., FABIAN E. ARIAS. R. 2006. Revisión puente metálico para carga especial ruta Yopal-Rio Cravo Sur-El Morro, puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur.

Se dispone del documento técnico con la descripción general del puente, análisis estructural a nivel de entrada y salida de datos programa SAP; conclusiones enfocadas a la capacidad del puente para soportar carga especial de 132 toneladas.

- Cidec Ingeniería Ltda, Javier Orlando Morales Londoño, Magister en estructuras U.A. Juan Bernardo Cañon Parra, Ingeniero Civil gerente. 2010. Evaluación estructural puente La Cabuya Yopal Casanare.

Se dispone de documento técnico con información general del puente, análisis estructural, identificación de lesiones, recomendaciones para reforzamiento.

---

- LFO Ingenieros de suelos Ltda., Luis Fernando Orozco Rojas, Ingeniero Civil MP. 13592 CND. Diciembre de 2010. Estudio de suelos y análisis de cimentación puente río Cravo Sur – Paz de Ariporo.

Se resalta que el estudio está enfocado a las condiciones de estabilidad de los macizos que serían complementados.

Se cuenta con documento técnico informe de la consultoría.

Ensayos de granulometría, propiedades índices.

- Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV, Contrato de obra 922 de 2015. 2015. Objeto: Rehabilitación y conservación del puente sobre el río Cravo Sur (LA Cabuya) en la carretera Yopal – Paz de Ariporo.

Diagnostico estructural.

Evaluación hidráulica.

Planos

Ensayos de laboratorio: núcleos de concreto, probetas de acero.

Inspección de soldaduras Líquidos Penetrantes, Ultrasonido, firma ANM Ingeniería Ltda. Calle 1ª No 14-94 Tunja (Boyacá), celular 3125628634.

Ensayo de tensión probetas acero, firma SENA, Yopal (Casanare).

Informe final contrato de interventoría No 1178-2015

Registro fotográfico.

Los documentos técnicos suministrados por Invías, se adjuntan al presente documento como anexos, para su consulta.

### **3.5.La estructura**

#### **3.5.1. Tipología estructural: cimentación y superestructura**

De acuerdo a los manuales de INVÍAS se clasifica longitudinalmente como Tipo 03, puente colgante y transversal como Tipo 01 Losa sobre vigas.

La cimentación consta de dos estribos, uno a cada lado, sobre los cuales se apoyan las torres que transfieren las cargas del tablero, pendolones, y cables, a la cimentación.

---

Los materiales que componen el puente en cuanto a la estructura metálica son:

- \_ Cables originales de 2” en calidad ASTM A586.
- \_ Torones de refuerzo diámetro 5/8”, 1x7 grado 260 de baja relación.
- \_ Cables de refuerzo 2 ¼” en calidad ASTM A603.
- \_ Alambre diámetro 4.21mm, norma de fabricación ASTM A-416, con carga de rotura de 2640 Kgf.
- \_ Anclajes de cables en acero 1045.
- \_ Tuercas en acero A36 o 1020.
- \_ Acero estructural en calidad ASTM A-36.

Los materiales utilizados en la rehabilitación realizada mediante contratos de obra 922-2015 y 1178-2015 corresponden a Acero estructural calidad ASTM A-36 y electrodos AWS E-7018.<sup>10</sup>

En cuanto a los elementos en concreto como macizos, placa de concreto del tablero y estribos, se toma información de la calidad considerando los ensayos realizados.

La firma CIDEC INGENIEROS SAS realiza ensayos de resistencia a la compresión de núcleos de concreto endurecidos según norma INV E 418 / 007, obteniendo los siguientes valores para cuatro muestras de la placa del tablero:

Núcleo 1: 5562 psi

Núcleo 3: 5187 psi

Núcleo 4: 3821 psi

Núcleo 5: 3428 psi

Obteniendo un valor promedio de 4499 psi, y mínimo de 3428 psi como resistencia del concreto de la placa de concreto del tablero del puente.<sup>11</sup>

El macizo de construido como repotenciación del puente, de acuerdo a los planos cuneta con refuerzo barras de acero de ½” y 1”; sistema de varillas tensoras con los siguientes elementos: PL 300x560x1”, PL 110x300x3/4”, PL 187x300x3/4”, arandelas endurecidas, tuercas

---

<sup>10</sup> Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. 2015. Diagnostico estructural contrato 922-2015.

<sup>11</sup> Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. 2015, Cidec Ingeniería SAS, ensayo resistencia a la compresión de núcleos de concreto endurecido de fecha 12-09-2016.

---

diámetro 2 ¾”, terminal para cable, L 4” x 4” x 5/16, varilla de 5/8”, de acuerdo a planos anexos del contrato No. 570-210 con objeto “Rehabilitación y conservación del puente cravo sur de la carretera Yopal – Paz de Ariporo, ruta 6513, modulo 2”.

La firma contratista (Consortio IPV) contrata a SM Ingenieros SAS para la realización de los ensayos de tensión a las láminas de las columnas de las torres y vigas de rigidez del puente, los ensayos de tensión son realizados por el SENA a 11 muestras de láminas de acero; se obtiene esfuerzo de rotura mínimo de 42.526,6 psi y máximo de 52.718,9 psi; en la imagen 24 se observa la toma de muestras de acero de las columnas en torres y vigas de rigidez; y en la imagen 25 el procedimiento de corte de las muestras para formar las probetas de ensayo.



Imagen 24. Toma de muestra de acero en columnas de torres y vigas de rigidez para ensayo de tensión. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consortio IPV. 2015, JPS Ingeniería.



Imagen 25. Probetas tomadas de las columnas de las torres del puente. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consortio IPV, SM Ingenieros SAS, SENA. 2015. Ensayo tensión.

---

Se realiza revisión de las soldaduras aplicadas en las actividades de repotenciación marco del contrato de obra 922-2015 (refuerzo viga de rigidez con platina parte superior e inferior), mediante prueba de líquidos penetrantes y ultrasonido de defectología; para el caso de soldaduras a tope se aplica ultrasonido al 100% de las juntas de la cinta inferior del refuerzo de la viga de rigidez, total 28, y el 25% de las juntas de la cinta superior, se evalúan 6; por otra parte las soldaduras en filete se evalúan mediante líquidos penetrantes a un 10%, con una longitud evaluada de 72 metros; se identifica mediante el ensayo de ultrasonido algunas juntas a reparar, las que se corrigen por el contratista en su momento.

### 3.5.2. Constatación de estado

#### 3.5.2.1. Comparación del estado original con el estado actual

De acuerdo a lo expuesto en los capítulos anteriores, el puente fue diseñado probablemente para camiones tipo HS-20-44; en el 2010 se repotencia para camiones C 40-95, y mediante contrato 922-2015 para camiones CCP-40 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP 14.

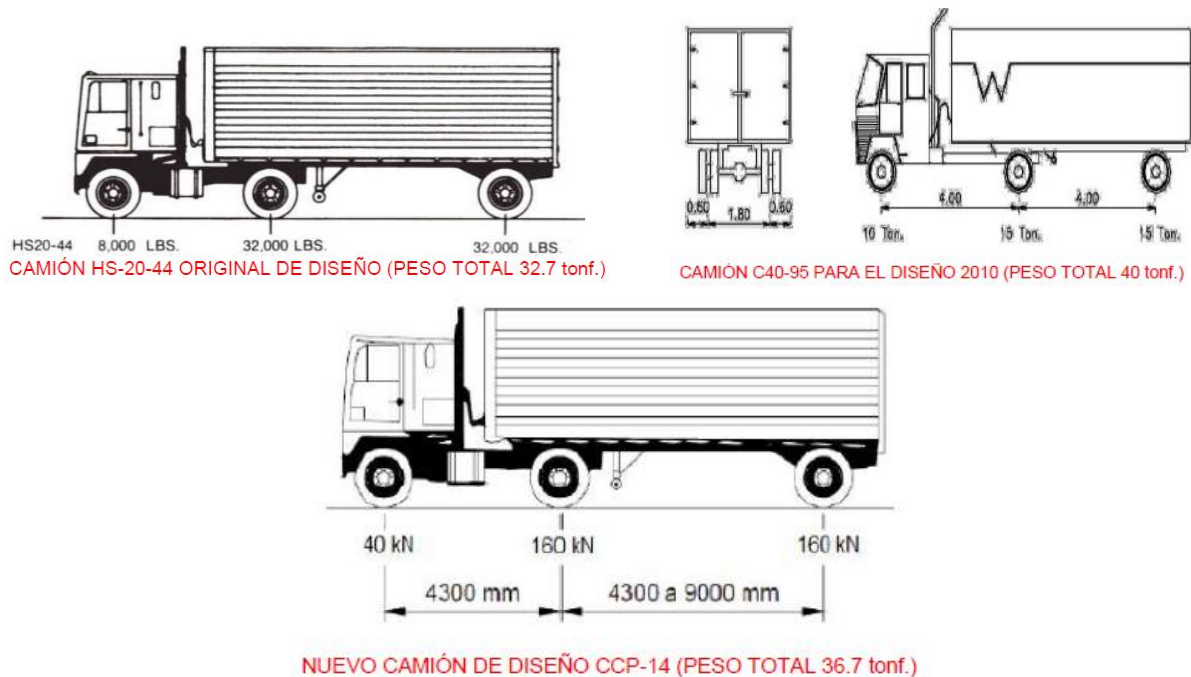


Imagen 26. Camiones de diseño proyecto original y repotenciaciones 2010 y 2015. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. 2015. Diagnostico estructural contrato 922-2015.

Originalmente el puente contaba con una viga de rigidez con una altura de 1,5m en toda su longitud y cableado con 12 unidades de 2” de diámetro; el macizo con sección en planta de 15 x 14 metros y altura de 8.4m.

Actualmente las vigas de rigidez tienen las siguientes alturas y secciones:

Viga VR1 – 1,525 m

Viga VR2 - 1,537 m

Viga VR3 – 2,453 m

Viga VR4 – 2,452 m

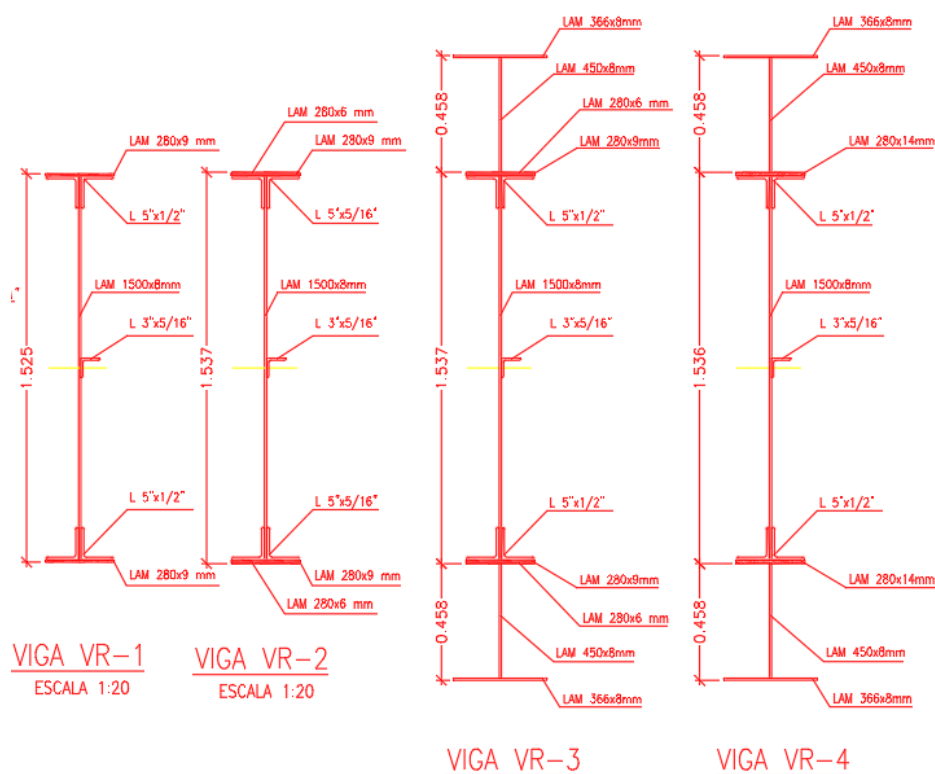


Imagen 27. Secciones de la vigas de rigidez. Fuente: Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. 2015. Diagnostico estructural contrato 922-2015.

El cableado está compuesto por los doce cables principales de 2”, uno de estos sustituido por 95 alambres de 4,21mm de diámetro, y en la última intervención se refuerzan otros dos cables principales mediante montaje de cables 2x16 D5/8” x 16,5m pos tensados sujetos a este mismo mediante abrazaderas especiales; 24 torones de 5/8” en cada lado del puente para un total de 48 torones de calidad grado 260 K baja relación; en la última rehabilitación se colocan 8

cables de diámetro 2 ¼” y se amplían los macizos sección en planta de 4x6.42m (base mayor) y una elevación sobre el macizo existente de 2.5m.

A las vigas transversales y longitudinales y riostras no se les ha hecho modificaciones desde su construcción, manteniendo las siguientes características: vigas transversales (VT-1) perfiles de alma llena armados en I con altura de 0.98m, con separación entre ejes de 5m aprox.; vigas longitudinales (VL-1) sobre las cuales se apoya la losa de concreto y superficie de rodadura tienen una altura de 0.28m y con separación entre ejes de 1.01m aprox.; el tablero consta de 9 vigas longitudinales (VL-1) en perfil W de alma llena, que actúan como vigas continuas sobre las vigas transversales. Ver imagen 11 y 13.

Los estribos y cimentación tampoco han requerido intervenciones importantes, salvo retiro de organismos mediante lavado con chorro de agua.

Se resalta que en los archivos del Instituto Nacional de Vías no reposa información del tipo de cimentación del puente, y dado que visualmente no se ha reflejado ningún tipo de lesión en los estribos no se ha solicitado por INVIAS estudios en tal sentido.

Las Torres tampoco han sido intervenidas salvo actividades de limpieza y aplicación de recubrimientos; están conformadas por pórticos, con una altura de 12,00m aprox., medidos desde el apoyo de la viga de rigidez; las columnas se forman con perfiles en doble T reforzados con platabandas en sus dos aletas, y las vigas transversales son perfiles armados con doble canal; arriostramiento con perfiles W estándar. Ver imagen 12.

Las uniones son remachadas, y pernadas en algunas reparaciones; aplicación de soldadura en las láminas de refuerzo.

### **3.5.3. Constatación de comportamiento**

#### *3.5.3.1. Evaluación MAMUT DE COLOMBIA S.A. año 2006.<sup>12</sup>*

Mediante documento radicado en Invias en el año 2006 la Firma Mamut de Colombia S.A. manifiesta que de acuerdo a inspección visual el puente se encuentra en buenas condiciones.

---

<sup>12</sup> MAMUT DE COLOMBIA S.A., Fabián E. Arias R. 2006. Revisión puente metálico para carga especial ruta: Yopal – Río Cravo Sur – El Morro, Puente la Cabuya sobre el Río Cravo Sur.

---

La evaluación se realiza para una carga de camión especial equivalente a 132 t incluyendo peso propio del vehículo y carga transportada, con la carga distribuida en 10 ejes y en una longitud de 16m, carga por eje 13.2 t; con ayuda del software SAP 2000 versión 10.0.1 y los códigos de diseño A.A.S.H.T.O., Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCP-200), se reporta y recomienda lo siguiente:

- El puente la cabuya se encuentra en capacidad de soportar el paso de la carga especial correspondiente a 132 t distribuidas en 10 ejes ya que los esfuerzos totales sobre las vigas de rigidez y elementos que conforman el tablero, no superan la máxima permisible equivalente a 1948.10 Kg/cm<sup>2</sup>, equivalente al 140% de la capacidad por tratarse de una carga transitoria.
- Para realización del cálculo se idealizó un modelo estructural lo más real a las condiciones del momento; la verificación del comportamiento da una aproximación de la capacidad de la estructura; para el cálculo exacto se requiere la realización de un levantamiento total del puente, desde el punto de vista de geometría y materiales.
- Se resalta que los cables tienen un factor de seguridad superior a 3.0, por tanto están en capacidad de soportar la carga especial.
- La comprobación estructural considera la carga distribuida en 10 ejes, distribuyendo la carga de forma homogénea; el vehículo circularía a una velocidad inferior a 5Km/h y sobre el eje longitudinal.
- La revisión de esfuerzos y comportamiento estructural se realiza según el método de esfuerzos admisibles, el que considera un factor de seguridad de 2.1 dentro de las fórmulas de verificación.<sup>13</sup>

La información suministrada por el estudio de la firma MAMUT DE COLOMBIA S.A. se limita a la relacionada anteriormente, y estaba enfocada en verificar la capacidad del puente para el paso de un camión especial con carga total de 132 t.

#### *3.5.3.2. Evaluación CIDEC INGENIERÍA LTDA año 2010*

Para el momento de la evaluación estructural realizada por CIDEC INGENIERÍA LTDA en el año 2010, el puente contaba con cableado conformado por 12 cables de 2” principales y refuerzo con 24 torones de 5/8” a cada lado.

Se evidenciaba deterioro de algunos remaches de las torres sin amenazar la capacidad estructural; pandeo local en la aleta superior de la viga de rigidez en zona de compresión

---

<sup>13</sup> Ibidem.

---

en las zonas de conexión con los pendolones, debido a apoyo de la viga en el bordillo de la placa, lo que impide la deflexión normal de las vigas.

Las vigas de rigidez no cumplían con los límites de relación ancho/espesor máximas del alma y las aletas de acuerdo con el Código Colombiano Sísmico de Puentes, lo que podría generar pandeo local del alma y/o pandeo local de la aleta.

Relación ancho/espesor de la aleta  $adm = 55/\sqrt{f_y}$ , se obtiene valor admisible de 10,8 y la evaluación arroja 46,6 (NO CUMPLE)

Relación Ancho/espesor del alma  $adm = 408/\sqrt{f_y}$ , se obtiene valor admisible de 81,1 y la evaluación arroja valor de 196,8 (NO CUMPLE).<sup>14</sup>

Se identifica que no hay continuidad en los atiesadores transversales de las vigas de rigidez, ubicándose únicamente en el alma de la sección media, generando la concentración de esfuerzos cortantes en los elementos superior e inferior de la viga y ocasionando el pandeo.

Ausencia de rigidizadores longitudinales en las vigas de rigidez, disminuyendo la capacidad de éstas al pandeo local del alma y al arrugamiento; de acuerdo a la relación ancho/espesor obtenida el código de puentes del momento obliga a la colocación de atiesadores longitudinales a la mitad de la altura de la viga.<sup>15</sup>

Las vigas longitudinales de acuerdo a las conexiones encontradas con las vigas transversales, funcionan como vigas continuas sobre las vigas transversales, además trabajan en sección compuesta con la placa, aportando rigidez a la flexión, condición favorable ya que para esta condición los momentos de flexión son menores que para la condición de viga simplemente apoyada; la sección compuesta se logra cuando las vigas están conectadas a la placa mediante conectores, haciendo que parte de la placa trabaje como viga, aumentando la capacidad de carga y disminuyendo las deflexiones.

La evaluación realizada por CIDEK INGENIERÍA LTDA para el tren de cargas C-40-95 (40 t) **en los dos carriles** arroja que el puente no está en capacidad de soportar los esfuerzos generados cuando éstas están aplicadas en los dos carriles, presentándose falla en las vigas de rigidez con un índice de sobreesfuerzo de 1,85, siendo el máximo permisible de 1,00.

Los torones de 5/8" no proporcionan un incremento sustancial en la capacidad de carga del puente, por cuanto su módulo de elasticidad es menor y su carga de rotura es casi 17 veces menor que la de los cables de 2", los torones equivalen a aumentar 1,3 cables de 2" por cada costado.

---

2010. <sup>14</sup> CIDEK INGENIERÍA LTDA, Javier Orlando Morales Londoño. Informe técnico. Septiembre de

<sup>15</sup> Ibidem.

---

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

---

La evaluación de los cables principales (12”) para la condición de carga camión C-40-95(40 t) es satisfactoria, con factor de seguridad de 4,5 superando el recomendado de 3,5; los pendolones también se encuentran lejos de la falla con un índice de sobreesfuerzo de 0,38.

Para el caso de evaluación de esfuerzos para UN CAMION C-40-95 (40 Ton) sobre el puente (un solo carril), CIDEC INGENIERÍA obtiene:

Las vigas de rigidez presentan un índice de sobreesfuerzo de 0,97, indicando que el puente está en capacidad de soportar la carga de camiones convencionales uno detrás del otro en la franja central del puente.

Los cables presentan un factor de seguridad alto, cercano a 10 y los pendoles trabajan al 17% de su capacidad.

Para el caso de esfuerzos generados por un vehículo especial de 6 ejes y carga de 70 toneladas CIDEC obtiene:

El índice máximo de sobreesfuerzo en el tramo central de la viga de rigidez es de 1,41; es decir el 41% por encima de su capacidad.

Los pendolones y cables presentan un índice de sobreesfuerzo de 0,21, alejado de su límite de falla; de igual forma las torres y vigas transversales se encuentran lejos de su estado límite de falla.<sup>16</sup>

En el siguiente cuadro se muestra cuadro resumen con los resultados obtenidos para los tres escenarios por Cidec Ingeniería Ltda en el 2010.

| CAMION                         | Peso Camión (t) | P <sub>cables</sub> (t) | P <sub>pendolones</sub> (t) | M <sub>viga central</sub> (t-m) |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| C40-95 (Dos carriles cargados) | 252             | 513                     | 24.6                        | 882                             |
| C40-95(1 carril cargado)       | 126             | 298                     | 12.0                        | 454                             |
| SCHLUMBERGER                   | 70              | 258                     | 13.6                        | 676                             |

Imagen 28. Resumen resultados comportamiento puente ante esfuerzos de diferentes trenes de carga. Fuente: Cidec Ingeniería Ltda. Evaluación estructural puente la cabuya. 2010.

---

<sup>16</sup> Ibidem.

---

---

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

---

| CAMION                         | Cables | Viga | Pendolón | Torre |
|--------------------------------|--------|------|----------|-------|
| C40-95 (Dos carriles cargados) | 0.22   | 1.85 | 0.38     | 0.57  |
| C40-95 (1 carril cargado)      | 0.11   | 0.97 | 0.17     | 0.25  |
| SCHLUMBERGER                   | 0.21   | 1.41 | 0.21     | 0.13  |

Imagen 29. Índices de sobreesfuerzo para diferentes cargas de diseño. Fuente: Cidec Ingeniería Ltda. Evaluación estructural puente la cabuya. 2010.

Considerando los resultados del análisis estructural CIDEK INGENIERIA LTDA recomienda:

- Revisar vínculo entre las vigas longitudinales y la placa, garantizando la sección compuesta, y realizando las intervenciones necesarias.
  - Instalación de dos cables de 2" en cada costado con las mismas especificaciones de los existentes, dado que no se realizan ensayos destructivos y se desconoce el estado de los cables existentes considerando la pérdida de resistencia por desgaste y fatiga de materiales.
  - Aumentar la resistencia a flexión de las vigas de rigidez, adicionando láminas de refuerzo en las aletas superior e inferior.
  - Prolongación de la sección transversal central con un modulo adicional a ambos extremos de las vigas.
  - Colocación de un rigidizador longitudinal de espesor 1/4" a lo largo del centro de la viga de rigidez, con el fin de disminuir la esbeltez del alma y garantizar su capacidad.
  - Dar continuidad a los rigidizadores transversales en toda la altura de las vigas de rigidez y no solo en la zona del alma.
  - Realizar el reemplazo de los atiesadores que han fallado y la zona del cordón superior de las vigas longitudinales que han pandeado, empleando lamina de 3/8" de espesor como mínimo.
  - Eliminar los apoyos de la viga sobre la placa de rodadura, localizados en los puntos de conexión con los pendolones.
  - Retirar la tubería del acueducto que se encuentra adosada a las vigas de rigidez, la que genera un incremento en la carga axial de los pendolones de 1,5 t, y por tanto el incremento de los esfuerzos de flexión en las vigas de rigidez. La deflexión en el centro de la luz causada por la tubería es de 75mm.
  - Realizar limpieza total y aplicar recubrimiento a los elementos metálicos.
-

### *3.5.3.3. Evaluación CONSORCIO IPV año 2015<sup>17</sup>*

La revisión es realizada de acuerdo a la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-2014 adoptada mediante resolución No. 0000108 del 26-01-2015 del Ministerio de Transporte.

Se cuenta con las características de los materiales gracias a los diferentes ensayos realizados, ver numeral 3.5.1. Tipología estructural.

Se considera las cargas del camión CCP-14 de la nueva norma colombiana, con 3 ejes, cargas de 40, 160 y 160 KN respectivamente, peso total 36,7 t.

El puente cuenta con seis (6) cables principales de 2” a cada lado, 24 torones de refuerzo de 5/8” a cada lado y ultimo refuerzo con 4 cables de 2 ¼” a cada lado; ampliación de los muertos (ver imagen 14); La sección transversal de las vigas de rigidez de acuerdo a la imagen 27 en el numeral 3.5.2 constatación del estado.

La evaluación arroja un factor de seguridad de 2.8 (mayor a 2.2.) para los cables de refuerzo 2 ¼”; para los cables de 2” y 24 torones de 5/8” un factor de seguridad de 3.7; los cables interiores entre torres cables de 2 ¼”, cables de 2” y torones de 5/8” un factor de seguridad de 3.3.

El pendolón No 7 con un esfuerzo máximo de 1621 kg/cm<sup>2</sup> arroja un factor de seguridad de 1.6 menor a 1.8 con lo que no cumple el elemento; para los demás pendolones se obtiene un factor de seguridad de 1.8 = 1.8, cumple.

La viga de rigidez presenta esfuerzo máximo en L/2 de 1750 kgf/cm<sup>2</sup> superando al esfuerzo admisible de 1400 kgf/cm<sup>2</sup>; y esfuerzo máximo en L/4 de 2453 kgf/cm<sup>2</sup> superando el esfuerzo admisible de 1400 kgf/cm<sup>2</sup>, arrojando que NO CUMPLE.

Los esfuerzos máximos en las vigas longitudinales, transversales, son menores a 1400 kgf/cm<sup>2</sup>, CUMPLEN.

Las columnas de los pórticos arrojan un esfuerzo máximo de trabajo de 1236 kgf/cm<sup>2</sup>, siendo un tanto mayor que el esfuerzo admisible de 1190 kgf/cm<sup>2</sup>, el consultor a su criterio lo califica como Aproximadamente OK.

### *3.5.3.4. Comportamiento actual (camión CPP-14)*

En el numeral 3.5.2. Constatación del estado, se relaciona cada una de las intervenciones realizadas al puente, estas intervenciones se realizan con el fin de atender las

---

<sup>17</sup> CONSORCIO IPV. Jorge Enrique Molina Rojas. 2015. Informe diagnostico estructural contrato 0922 “Rehabilitación y conservación del puente Cravo Sur (LA Cabuya) en la carretera Yopal - Paz de Ariporo”.

---

falencias identificadas con la evaluación estructural realizada por el Consorcio IPV en el año 2015, y considerando tren de cargas para el camión CPP-14 (36.7 t), último estudios realizado al puente hasta la fecha.

El pendolón No. 7 con carga máxima de 39 Ton y diámetro de 2 ½” arroja un sobreesfuerzo de 229 kgf/cm<sup>2</sup>, obteniendo un factor de seguridad de 1.6, cuando el mínimo admisible es de 1.8.

Las vigas de rigidez evaluadas en L/2 y L/4 arrojan sobreesfuerzos de 350kgf/cm<sup>2</sup> y 1053 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente; con el refuerzo realizado mediante el contrato 922-2015 a través de la firma Consorcio IPV se obtiene esfuerzos máximos en L/2 y L/4 de 1028kgf/cm<sup>2</sup> y 1442 kgf/cm<sup>2</sup> valores inferiores y aproximadamente iguales al esfuerzo admisible de 1400 kgf/cm<sup>2</sup>, calificados por el consultor como Ok y Aprox. OK.

Para el caso de las columnas de las torres se obtiene que el esfuerzo admisible es de 1190 kgf/cm<sup>2</sup> y se obtiene esfuerzos máximos de 1236 kgf/cm<sup>2</sup>; el consultor los califica como Aprox. Ok, pero se resalta que están en el límite de su capacidad.

Los demás elementos como vigas transversales, longitudinales, del tablero y torres están OK, con factores de seguridad por encima de los definidos como mínimos, ver Informe diagnostico estructural contrato 0922 “Rehabilitación y conservación del puente Cravo Sur (La Cabuya) en la carretera Yopal - Paz de Ariporo”.

#### **3.5.4. Análisis de cargas**

Como se describe en el numeral 3.5.2.1. el puente fue diseñado probablemente para tren de cargas del camión tipo HS-20-44 (32.7 t), en el año 2010 se realiza repotenciación para camiones C-40-95 (40 t) carga máxima en eje de 15t y en el año 2015 se repotencia para tren de carga del camión CPP-14 (36.7t) con carga máxima en eje de 16 t.

Es importante considerar que a pesar de que las diferentes evaluaciones se han realizado para el camión de diseño de cada norma, para el caso actual camión CPP-14 (36.7t), en la realidad los vehículos que circulan por esta vía en algunos casos exceden la carga del camión de diseño dadas las características de la economía de la región con participación importante del sector de hidrocarburos que implica transporte de carga especial durante las actividades de construcción de pozos de extracción de crudo, bombeo o exploración, y con menor incidencia pero igualmente importante las actividades de ganadería y agricultura (arroz, palma) que al no haber un control en las cargas de los vehículos en frecuente observar camiones que sobrepasan los pesos permitidos.

El instituto Nacional de Vías en su cartilla Volúmenes de Tránsito 2014 – 2015 reporta en la estación 932, localizada entre Yopal y Araguaey, un TPDS (Transito promedio diario semanal TS/7) para el año 2014 de 4745 vehículos, compuesto por un 36% de automóviles, 12% de buses, 52% de camiones; y para el año 2015 se reporta un TPDS de 4471 vehículos, compuesto

---

por 57% de automóviles, 9% de buses y 34% de camiones; es importante resaltar la disminución del 18% en la cantidad de camiones e incremento del 21% en la cantidad de automóviles en los conteos de 2014 a 2015, situación que está ligada a la disminución en la actividad petrolera en la zona durante los últimos años.

### **3.5.5. Análisis de vulnerabilidad sísmica**

De acuerdo al numeral A.10.2.2.1. y A.10.2.2.2., se califica la calidad del diseño y construcción de la estructura original como BUENO y el estado de la estructura actual como REGULAR considerando el deterioro de la losa, el no cumplimiento de los límites de la relación ancho/espesor en el alma y aletas de la viga de rigidez, falta de continuidad en atiesadores transversales, ausencia de rigidizadores longitudinales considerando lo dispuesto en el código de puentes para las relaciones ancho/espesor obtenidas, adicionalmente los diferentes diámetros de cables presentes ( 2", 5/8" y 2 1/4") resaltando los torones de 5/8" cuyo funcionamiento depende del correcto tensionamiento de cada uno de estos cables de manera que las cargas queden distribuidas de forma homogénea evitando que uno de los elementos quede sobrecargado, situación que es frecuente dada la falta de mantenimiento frecuente en la estructura.

El numeral A.10.4.3.2. de la NSR-10 relaciona: el índice de sobre esfuerzo para toda la estructura corresponde al mayor obtenido de los cocientes (esfuerzo/resistencia efectiva del elemento) de los elementos que puedan colocar en peligro la estructura.

El numeral A.10.4.3.5. Define el índice de flexibilidad como el que indica la susceptibilidad de la estructura a tener deflexiones o derivas excesivas con respecto a las permitidas por el reglamento, corresponde al cociente entre la deflexión o deriva obtenida y la permitida por el reglamento.

Se calcula los valores de sobre esfuerzo para la estructura considerando la última intervención realizada por el CONSORCIO IPV AÑO 2015, obteniendo<sup>18</sup>:

- Cables exteriores, ultima rehabilitación (cables 1):

---

<sup>18</sup> CONSORCIO IPV. Jorge Enrique Molina Rojas. 2015. Informe diagnostico estructural contrato 0922 "Rehabilitación y conservación del puente Cravo Sur (LA Cabuya) en la carretera Yopal - Paz de ARiporo". Pag 33.

---

---

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

---

Carga máxima de trabajo para 4 cables de 2 ¼”= 293 tonf

Carga de rotura para 4 cables de 2 ¼”: 808 tonf

Entonces índice de sobre esfuerzo=  $293/808 = 0,36$

- Cables exteriores originales y torones (cables 2):

Carga máxima de trabajo para 6 cables de 2” y 20 torones 5/8”= 499 tonf

Carga de rotura para 6 cables de 2” y 20 torones 5/8”= 1840 tonf

Entonces índice de sobre esfuerzo=  $499/1840 = 0,27$

- Cables interiores entre torres (cables 3)

Carga máxima de trabajo para 4 cables de 2 ¼”, más 6 cables de 2”, más 20 torones 5/8” = 808 tonf

Carga de rotura para 10 cables y 20 torones= 2649 tonf

Entonces índice de sobre sobreesfuerzo =  $808/2649 = 0,30$

- Pendolón No 7

Esfuerzo máximo en pendolón No 7= 1621 kgf/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo admisible de trabajo para pendolón= 1392 kgf/cm<sup>2</sup>

Índice de sobre esfuerzo =  $1621/1392 = 1,16$

- Otros pendolones

Esfuerzo máximo en pendolón= 1415 kgf/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo admisible de trabajo para pendolón= 1392 kgf/cm<sup>2</sup>

Índice de sobreesfuerzo=  $1415/1392 = 1,02$

- Pasadores de abrazaderas en pendolones

Esfuerzo máximo de corte en pasadores de abrazadera= 829 kgf/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo admisible de trabajo para pendolón= 1012 kgf/cm<sup>2</sup>

Índice de sobre esfuerzo =  $829/1012 = 0,80$

---

---

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

---

- Viga de rigidez  
Esfuerzo máximo en los patines de refuerzo en la viga en  $L/2 = 1028 \text{ kgf/cm}^2$   
Esfuerzo máximo en los patines de refuerzo en la viga en  $L/4 = 1442 \text{ kgf/cm}^2$   
  
Esfuerzo admisible de trabajo =  $1400 \text{ kgf/cm}^2$   
  
Índice de sobreesfuerzo en la viga  $L/2 = 1028/1400 = 0,73$   
Índice de sobreesfuerzo en la viga  $L/4 = 1442/1400 = \mathbf{1,03}$
  
- Viga Transversal  
Esfuerzo máximo en la viga transversal =  $1088 \text{ kgf/cm}^2$   
Esfuerzo admisible de trabajo viga transversal =  $1400 \text{ kgf/cm}^2$   
  
Índice de sobre esfuerzo =  $1088/1400 = 0,78$
  
- Viga Longitudinal  
Esfuerzo máximo en la viga longitudinal =  $1013 \text{ kgf/cm}^2$   
Esfuerzo admisible de trabajo viga longitudinal =  $1400 \text{ kgf/cm}^2$   
  
Índice de sobre esfuerzo =  $1013/1400 = 0,72$
  
- Columnas de los pórticos  
Esfuerzo máximo en la columna =  $1236 \text{ kgf/cm}^2$   
Esfuerzo admisible de trabajo columna en x-x =  $1190 \text{ kgf/cm}^2$   
Esfuerzo admisible de trabajo columna en y-y =  $1190 \text{ kgf/cm}^2$   
  
Índice de sobre esfuerzo en x-x , y-y =  $1236/1190 = \mathbf{1,04}$

De acuerdo al numeral A.10.4.3.2. el índice de sobreesfuerzo de la estructura corresponde al valor mayor obtenido de los índices de sobreesfuerzo calculados para cada uno de los elementos, así se obtiene como mayor valor el índice de sobreesfuerzo para las columnas de los pórticos con un valor de **1,04**.

Y de acuerdo a lo relacionado en el numeral A.10.5.1. la vulnerabilidad de la estructura es igual a  $1/1,04 = \mathbf{0,96}$ , siendo 0,96 una fracción de la resistencia que tendría la estructura nueva construida de acuerdo a los requisitos vigentes.

---

Considerando lo dispuesto en el numeral A.10.7.1.1. en los casos en que los índices de sobreesfuerzo o flexibilidad sea mayor que la unidad hay necesidad de intervenir el sistema estructural hasta que tales valores sean menores que la unidad; por tanto se deberá realizar la intervención de los elementos pendolones (1,02), viga de rigidez en L/4 (1,03), columnas de los pórticos (1,04).

Para el caso de la Viga de Rigidez, que presenta un índice de sobre esfuerzo de 1,03 por cuando los esfuerzos máximos de trabajo son de 1442 en L/4 y el admisible es de 1400, el especialista estructural recomienda el reemplazo de las platina de 150x5/16” a platinas en el centro de la viga de 150x3/8”.

Es importante resaltar que las cargas han sido mayoradas, y la capacidad de disipación de energía de los materiales afectada por coeficientes de reducción de resistencia, por lo que se considera que el valor de índice de sobreesfuerzo que excede la unidad no es representativo para programar una intervención a la estructura.

### **3.6. La cimentación**

El Instituto Nacional de Vías informa que en el expediente del puente no reposa información relacionada con el tipo de cimentación utilizada en la construcción del puente, se presume que cuenta con cimentación profunda tipo caisson, pero se desconoce las características de los mismos, y considerando que la evaluación tiene un alcance académico y limitante económica, no fue posible contratar los equipos y personal para realizar la identificación del tipo de cimentación y su estado.

En la inspección visual realizada se pudo observar que las torres del puente se encuentran apoyadas en estribos de concreto reforzado.

La torres están apoyadas a 1m de profundidad dentro de los estribos; en la primera inspección realizada por el Ing. Saúl Millán se observó el apoyo superficial y articulado, se encontró que en la zona de apoyo se formaba un bajo en el que se acumulaba el agua generando oxidación y corrosión, por lo que se interviene colocando un icopor alrededor de los apoyos y aplicando relleno de concreto hasta el nivel actual, el apoyo sigue comportándose como articulado dado el aislamiento con icopor.<sup>19</sup>

La topografía realizada no refleja ningún tipo de asentamiento diferencial en los apoyos de las torres, y la inspección visual arroja que el concreto de los estribos está en buen estado, sin observarse fisuras o grietas que indiquen movimientos en la cimentación.<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> Ing. Saúl Millán . Entrevista vía telefónica. Noviembre de 2016.

<sup>20</sup> Ibidem.

---

En el macizo se realiza perforación vertical atravesándolo de arriba abajo, el macizo está compuesto por placa de concreto ciclópeo y material de relleno en sucesivas capas. Al parecer el concreto no es reforzado, solo se encuentra acero en la primera placa, la más externa, funcionando como acero de retracción; se excava la zona adyacente al macizo para encontrar profundidad de cimentación, y determinando la altura de 8,4m, la sección en planta es de 15 x 14 y las ampliaciones están compuesta por dos elementos de concreto sobre el macizo original con sección en planta de 4x6.42m (base mayor) y una elevación sobre el macizo existente de 2.5m. Ver imagen 14.

### **3.7. El Suelo**

De acuerdo a estudio de suelos y análisis de cimentación realizado por el Ing. Luis Fernando Orozco Rojas, con fecha de Diciembre de 2010, las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona son las siguientes:

#### **3.7.1. Geología**

La zona del ponteadero se encuentra ubicada sobre el río Cravo Sur, zona encañonada entre dos macizos rocosos a los costados norte y sur, y a una corta distancia desemboca en zona de pendiente más suave y plana, zona de llanura.

Los macizos están conformados por rocas de tipo sedimentario, principalmente areniscas de gran dureza y estabilidad; están intercaladas ocasionalmente con lutitas o arcillolitas de menor consistencia.

Al costado norte (margen izquierdo del río) la roca buza hacia el norte (hacia la cordillera) con una pendiente baja, inferior a 20° con la horizontal, y en la zona más baja del muerto, de soporte del puente y la carretera los taludes son casi verticales pero muy estables.

Al costado sur – occidental (margen derecha del río), la roca presenta una pendiente suave hacia el nororiente, y su estratificación buza hacia este costado con pendiente inferior a los 20°. Existe una carretera en la zona superior del muerto, en general el talud es estable.

#### **3.7.2. Subsuelo**

Se realizan dos sondeos en los sitios de localización de los macizos, el sondeo No 1 al costado Nororiental (margen izquierdo) sobre el muerto existente, el sondeo No. 2 en costado

---

suroccidental (margen derecho) al lado del muerto y en la parte baja de los gaviones construidos sobre el muerto.

Sondeo No. 1: De 0.0 a 1,7m de profundidad concreto ciclópeo; de 1,7 a 2,45 roca gris a negro de consistencia muy alta; a 2,4m roca gris, arenisca, alcanza 12,2m de profundidad, conformada por bloques pequeños, es decir bastante fisurada, dureza alta, los bloques individuales arrojan una resistencia a compresión inconfiada superior a 20kg/cm<sup>2</sup>.

Sondeo No. 2 desde el nivel del terreno: De 0,0 a 0,9m rellenos arenosos de color café con bloques, y piedras o cantos rodados de diversos tamaños; de 0,9 a 4,0m rocas areniscas de color café a gris oscuro; De 4,0 a 6,7m roca arenisca color gris claro; De 6,7 a 12,2m roca gris oscuro a negro, de dureza muy alta.

El ingeniero Orozco Rojas recomienda utilizar los siguientes parámetros considerando la estratigrafía encontrada:

- Capacidad de soporte o carga de fatiga del terreno mayor o igual a 100 ton/m<sup>2</sup> (10kg/cm<sup>2</sup>).
- Angulo de fricción interna para cálculos de estabilidad ( $\phi$ ) mayor o igual a 40°.
- Angulo de adherencia entre el muerto y la base rocosa conformada por piedra gris pequeña, delta mayor o igual a 35°.
- Coeficiente de presión activa, en caso de ser necesario  $K_a$  igual a 0.22, coeficiente de presión pasiva  $K_p$  igual a 4.6 (debe ser afectado por un factor de seguridad de 1.5), peso unitario de la roca y de los materiales en el muerto 2.1 T/m<sup>3</sup>.<sup>21</sup>

Como se puede observar, el estudio de suelos realizado arroja que la zona de cimentación es estable, y la estructura se encuentra apoyada sobre suelos de alta dureza y taludes calificados como estables.

### **3.8. Hidrología e Hidráulica<sup>22</sup>**

Las orillas del margen izquierdo y derecho del río Cravo Sur a la altura del puente La Cabuya presentaron socavaciones de importancia, con mayor afectación en la orilla del margen izquierdo del río, situación dada por evento de creciente del río el día 26 de Junio de 2016; la

---

<sup>21</sup> Luis Fernando Orozco Rojas. Estudio de suelos y análisis de cimentación puente río Cravo Sur – Paz de Ariporo. Diciembre de 2010.

<sup>22</sup> Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Alejandro Duran Osorno. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015.

---

socavación del margen izquierdo deja a la vista la zarpa delantera del estribo, haciendo necesario la toma de medidas de protección.

El Ing. Alejandro Durán Osorno, Magister en Ingeniería de aprovechamientos hidráulicos, realiza en el marco del contrato 0922-2015 firma contratista Consorcio IPV el “Diagnostico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados”.

El anterior estudio arroja como resultado lo siguiente:

- El estribo izquierdo no evidencia fenómenos de socavación de magnitud significativa.
- El estribo del margen derecho se localiza a 15m de la orilla aprox., los deslizamientos presentados en esta orilla no afectan su cimentación o estabilidad en el largo plazo.
- El alineamiento del río Cravo Sur agua arriba y aguas abajo del puente La Cabuya corresponde a un tramo recto, por lo que las líneas de corriente siguen paralelas al cauce sin concentrar el flujo hacia alguna de las orillas; por lo tanto los fenómenos de erosión y movimiento en masa observados en ambas orillas son producto de socavación del lecho ante el paso de una creciente extraordinaria.
- Se identifican elementos o estructuras en la orilla izquierda que sirven para alejar levemente el flujo del estribo; estos elementos corresponden al cuerpo de una antigua bocatoma y un afloramiento rocoso que conforma un pequeño espolón, elementos considerados benéficos para el puente.
- Se recomienda la colocación de enrocado alrededor del estribo izquierdo, iniciando 10 metros aguas arriba del borde superior de la zarpa delantera, y termine 70 m aguas abajo.
- El estudio hidrológico arroja los caudales máximos que se pueden esperar a la altura del puente, ver imagen 30.

| Tr (años) | Q(m <sup>3</sup> /s) |
|-----------|----------------------|
| 2.33      | 852.6                |
| 5         | 1075.8               |
| 10        | 1257.5               |
| 15        | 1360.1               |
| 20        | 1431.9               |
| 25        | 1487.2               |
| 50        | 1657.6               |
| 100       | 1826.7               |

Imagen 30. Caudales máximos río Cravo Sur a la altura del Puente La Cabuya. Fuente: Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015.

---

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

---

- La velocidad en inmediaciones del puente varia en el rango  $4,0 \text{ m/s} < V < 5,13 \text{ m/s}$  dependiendo del periodo de retorno de la creciente.
- El nivel máximo de las aguas se ve afectado con la colocación del enrocado, generando una sobreelevación aguas arriba del puente, mientras que aguas abajo la constricción del flujo genera una leve disminución del nivel, pero no afecta sensiblemente las condiciones hidráulicas del río, en la imagen 31 se puede observar los diferentes niveles de acuerdo a los períodos de retorno de la creciente y la condición con o sin enrocado.

|                  | <b>Cota aguas</b>    | <b>Cota aguas</b>   | <b>observaciones</b> |
|------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Tr (años)</b> | <b>arriba (msnm)</b> | <b>abajo (msnm)</b> |                      |
| 5                | 375.47               | 374.42              | sin enrocado         |
| 5                | 375.65               | 374.38              | con enrocado         |
| 100              | 376.87               | 375.57              | sin enrocado         |
| 100              | 377.03               | 375.47              | con enrocado         |

Imagen 31. Niveles máximos río Cravo Sur a la altura del Puente La Cabuya. Fuente: Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015.

- El dimensionamiento del enrocado se realiza considerando el caudal de la creciente para un período de retorno  $Tr = 100$  años, mientras que la altura del mismo considerando  $Tr = 5$  años.

La velocidad de diseño del enrocado tomada fue de  $5,5 \text{ m/s}$  con factor de seguridad de 1,35 para una velocidad de diseño resultante de  $7,4 \text{ m/s}$

Se realiza el cálculo del diámetro de las rocas considerando los criterios de Maza-García, Isbash e Isbash modificado, para la velocidad de diseño y una pendiente de talud del enrocado de 2:1, obteniendo los siguientes resultados:

| <b>Criterio</b>          | <b><math>D_{84}</math> (m)</b> |
|--------------------------|--------------------------------|
| <b>Maza – Garcia</b>     | <b>0.89</b>                    |
| <b>Isbash</b>            | <b>1.21</b>                    |
| <b>Isbash modificado</b> | <b>1.34</b>                    |

Imagen 32. Diámetro de diseño rocas enrocado. Fuente: Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015.

---

- Se adopta para el enrocado un tamaño  $D_{84} = 1,20\text{m}$ ; para garantizar un encaje adecuado que genere fricción entre los elementos del enrocado, se recomienda una granulometría extendida, bien graduada, con tamaños entre 0,6m y 1.4m, pero que en todo caso se cumpla  $D_{84} = 1.20\text{m}$ .

De acuerdo a las recomendaciones dadas en el estudio anterior, en el marco del contrato 0922-2015 se realiza la construcción de enrocado en el margen izquierdo, en una longitud total de 112 metros, iniciando 51 m aguas arriba del puente y conformando un talud con pendiente 2:1.

Adicionalmente el estudio identifica problemas de manejo del agua de escorrentía superficial en dos puntos sobre las vías de acceso al puente en el margen izquierdo; uno corresponde a cuneta costado derecho de la vía el Morro – Yopal que descarga las aguas sin control en el talud aguas arriba del puente, ver imagen 33.



Imagen 33. Cuneta que descarga sobre talud aguas arriba margen izquierdo. Fuente: Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015.

En la zona de acceso al puente margen izquierdo y sobre la vía Yopal – Paz de Ariporo se identifica bajo que genera encharcamiento y posterior desborde hacia el talud aguas abajo, ver imagen 34.



Imagen 34. Escorrentía borde vía y encharcamiento acceso margen izquierdo. Fuente: Consorcio IPV. Contrato 0922-2015. Diagnóstico y obras de emergencia para el puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur, como resultado de los fenómenos de socavación y movimientos de masa observados. 2015.

---

## PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI

Estos últimos dos casos no fueron corregidos mediante las obras del contrato 0922-2015.

### 3.9. Superficie de rodadura puente.

La superficie de rodadura corresponde a sobre capa de concreto con espesor de 3cm, colocada sobre la losa de concreto de 17,5cm, tal sobre capa fue colocada en el año 1989 a 1990 aprox., y a la fecha presenta un alto deterioro.

En el marco del contrato de obra 0922-2015 se toman cinco (5) núcleos en distintos punto del tablero de concreto, con diámetro de 7,1cm y diferentes alturas; la firma CIDECE INGENIERIA SAS es la encargada de realizar los ensayos de compresión, obteniendo cuatro resultados de resistencia corregida así: núcleo 1: 5.562 psi, núcleo 2: N.A., Núcleo 3: 5.187 psi, Núcleo 4: 3.821 psi y Núcleo 5: 3.428 psi; resultado obtenidos por interpolación según norma. Ver imagen 35.

| No. | LOCALIZACION | FECHA DE TOMA | FECHA DE FALLA | RESISTENCIA ESPECIFICADA | PESO (Kg) | ALTURA (cm) | DIAMETRO (cm) | VOLUMEN (cm) <sup>3</sup> | PESO UNITARIO (kg/cm <sup>3</sup> ) | AREA (PLG) <sup>2</sup> | CARGA |        | TIPO DE FALLA | RESISTENCIA OBTENIDA |       | RESISTENCIA CORREGIDA (psi) | RELACION L/D |
|-----|--------------|---------------|----------------|--------------------------|-----------|-------------|---------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------|--------|---------------|----------------------|-------|-----------------------------|--------------|
|     |              |               |                |                          |           |             |               |                           |                                     |                         | (KN)  | (lb)   |               | (psi)                | (MPa) |                             |              |
| 1   | Placa puente | 12-sep-15     | 18-sep-15      |                          | 819,0     | 8,9         | 7,1           | 352                       | 2,324                               | 6,14                    | 163,6 | 36.701 | E             | 5.981                | 41,2  | 5.562                       | 1,25         |
| 2   | Placa puente | 12-sep-15     | 18-sep-15      |                          | 1.362,0   | 15,0        | 7,1           | 594                       | 2,293                               | 6,14                    | 87,2  | 19.562 | A             | 3.188                | 22,0  | N/A                         | 2,11         |
| 3   | Placa puente | 12-sep-15     | 18-sep-15      |                          | 983,0     | 10,7        | 7,1           | 424                       | 2,320                               | 6,14                    | 147,8 | 33.157 | A             | 5.403                | 37,3  | 5.187                       | 1,51         |
| 4   | Placa puente | 12-sep-15     | 18-sep-15      |                          | 861,0     | 9,8         | 7,1           | 388                       | 2,219                               | 6,14                    | 110,6 | 24.811 | E             | 4.043                | 27,9  | 3.821                       | 1,38         |
| 5   | Placa puente | 12-sep-15     | 18-sep-15      |                          | 1.143,0   | 12,8        | 7,1           | 507                       | 2,255                               | 6,14                    | 95,3  | 21.379 | A             | 3.484                | 24,0  | 3.428                       | 1,80         |

Imagen 35. Resultados ensayos de compresión núcleos tablero de concreto. Fuente: Cidece Ingeniería SAS, ensayo de resistencia a la compresión de núcleos de concreto.

A continuación se relaciona las diferentes lesiones identificadas en la superficie de rodadura del puente, y el resultado de la clasificación y cuantificación de acuerdo al método VIZIR de Invías.

### 3.9.1. Zona 1

Longitud del tramo: 17.88 m

Fallas Presentadas:

#### 3.9.1.1. *Tapado (B) o Parche (PCH):*

Corresponde a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (acueducto, gas, entre otras).

Área de la falla: 66.40 m<sup>2</sup>

Severidad: BAJA, en términos generales se desempeña de manera satisfactoria a pesar de tener un desprendimiento y algo de exposición de agregados en la parte central del mismo.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

#### 3.9.1.2. *Cabezas Duras (CD):*

Son partículas de sobre tamaño que sobresalen apreciablemente de la superficie de la capa de rodadura.

Longitud de la falla: 17.88 m

Severidad: ALTA, se aprecian partículas de sobre tamaño por los costados del pavimento, los cuales podrían llegar a convertirse en baches destapados.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

Opciones de reparación: Por la severidad de la lesión, es necesario retirar y aplicar nuevamente el pavimento, una solución a corto plazo podría ser un parche asfáltico.

### **REGISTRO FOGRAFICO DE LESIONES**



Imagen 36. Esquema general Z - 1



Imagen 37. Esquema general Z - 1



**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**



Imagen 38. Tapado o Parche Z - 1



Imagen 39. Cabezas Duras Z - 1



Imagen 40. Medidas Cabezas Duras Z - 1



Imagen 41. Desprendimientos Z - 1

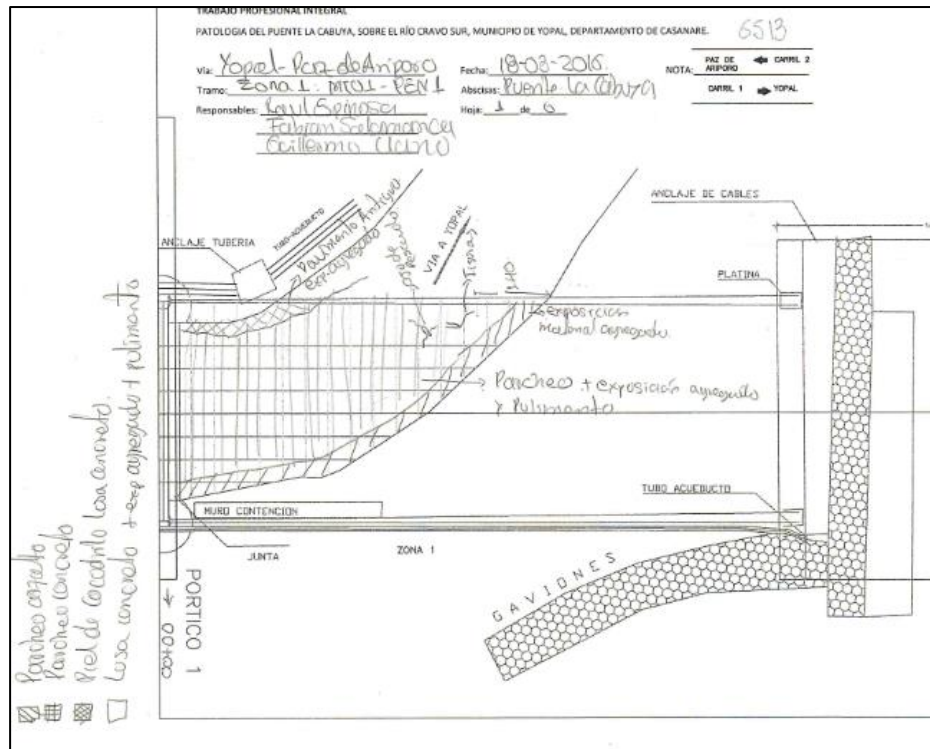


Imagen 42. Desprendimientos Z - 1



Imagen 43. Pérdida de material Z - 1

### ESQUEMA ITINERARIO - FICHA DE CAMPO (ZONA 1)



Esquema 1. Registro de lesiones tomadas en campo zona 1

### 3.9.2. Zona 2 a zona 6

Longitud del tramo: 24.80 m

### Fallas Presentadas:

#### 3.9.2.1. Tapado (B) o Parche (PCH):

Corresponde a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (acueducto, gas, entre otras).

Área de la falla: 25.17 m<sup>2</sup>

Severidad: ALTA, presenta pérdida de material bituminoso, por ende, la superficie de rodadura que suministra no está a nivel; Además tiene fisuras perimetralmente y lesiones aledañas como piel de cocodrilo.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

**3.9.2.2. Piel de Cocodrilo (PC):**

Son fisuras inter conectadas que forman pequeños polígonos en forma de mallas.

Área de la falla: 9.26 m<sup>2</sup>

Severidad: ALTA, se evidencia que la lesión a la fecha ha dividido el pavimento en segmentos de bloque (pequeñas dimensiones), además, las mallas son muy abiertas y densas (menor a 200 mm).

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

**REGISTRO FOGRAFICO DE LESIONES**



Imagen 44. Tapado o Parche Z-3



Imagen 45. PC y PCH Z-4



Imagen 46. PC y PCH Z-5



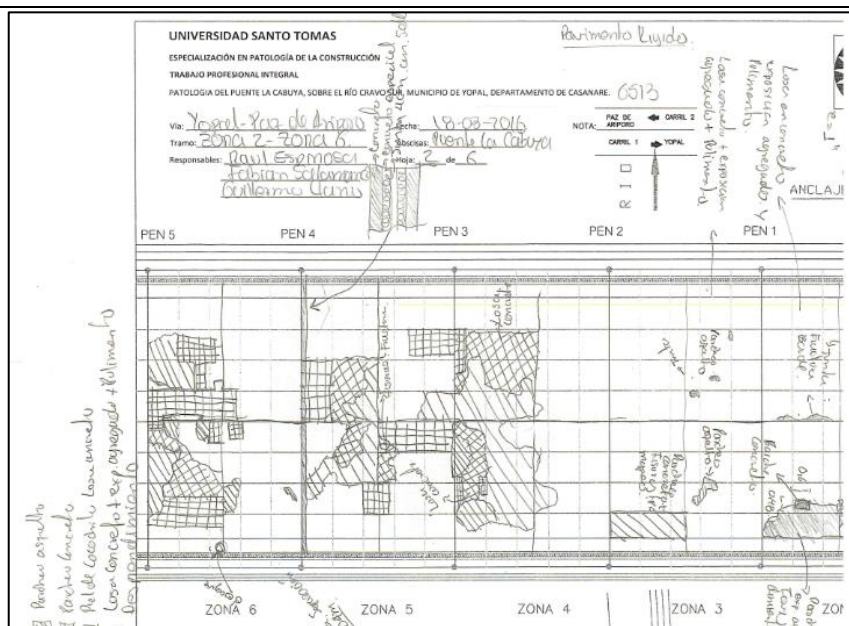
Imagen 47. PC y PCH Z-5

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

Imagen 48. PC y PCH Z-5

## ESQUEMA ITINERARIO - FICHA DE CAMPO (ZONA 2 A ZONA

**6)**



Esquema 2. Registro de lesiones tomadas en campo zona 2 a 6.

### 3.9.3. Zona 7 a zona 11

Longitud del tramo: 24.97 m

### Fallas Presentadas:

#### *3.9.3.1. Tapado (B) o Parche (PCH):*

Corresponde a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (acueducto, gas, entre otras).

Área de la falla: 34.65 m<sup>2</sup>

Severidad: ALTA, el agregado grueso sobresale del material bituminoso y presenta ciertos desprendimientos (pequeños ojos de pescado), además, tiene lesiones aledañas tales como piel de cocodrilo. Por su parte el parche en concreto presenta fisuras y presenta una superficie poco adecuada, aunque su nivel se podría clasificar como INTERMEDIO.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

#### *3.9.3.2. Piel de Cocodrilo (PC):*

Son fisuras inter conectadas que forman pequeños polígonos en forma de mallas.

Área de la falla: 18.49 m<sup>2</sup>

Severidad: ALTA, se evidencia que la lesión a la fecha ha dividido el pavimento en segmentos de bloque (pequeñas dimensiones), además, las mallas son muy abiertas y densas (menor a 200 mm), en algunas zonas los segmentos se han retirado, generando ojos de pescado dentro del mismo.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

#### *3.9.3.3. Descascaramiento (O):*

Pérdida de fragmentos de la carpeta asfáltica sin afectar las capas inferiores del pavimento

Cantidad de la falla: Una (1) unidad

Severidad: ALTA, se puede inferir un nivel intermedio, ya que a la fecha hay pérdida continua y medianamente marcada de material.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

---



**REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LESIONES**



Imagen 49. Tapado o Parche



Imagen 50. PC y PCH



Imagen 51. Descascaramiento



Imagen 52. Parcheo



Imagen 53. Descascaramiento



Imagen 54. PC y PCH



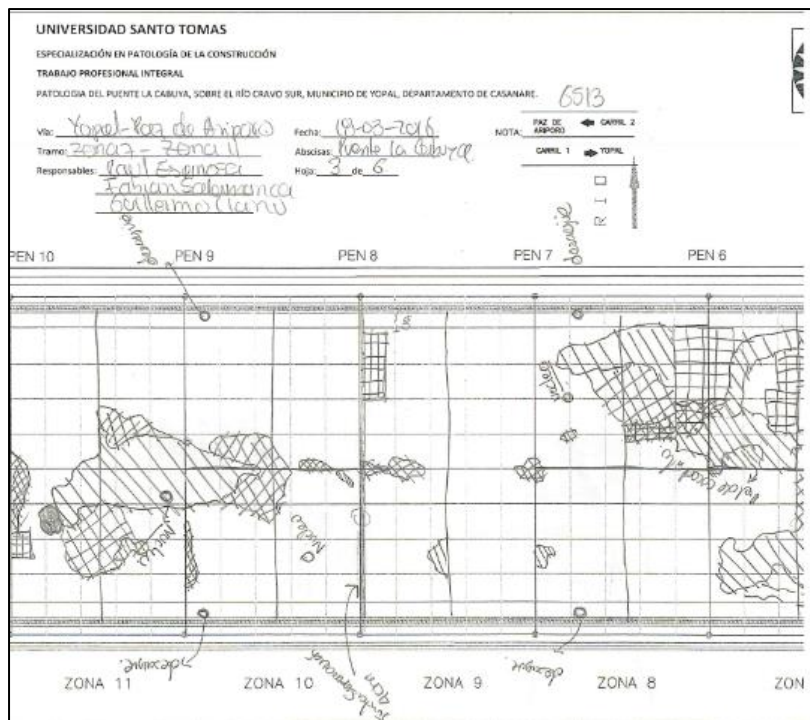
Imagen 55. Mediciones y parcheo



Imagen 56. Mediciones y núcleos

**ESQUEMA ITINERARIO - FICHA DE CAMPO (ZONA 7 A ZONA**

**11)**



Esquema 3. Registro de lesiones tomadas en campo zona 7 a 11.

#### **3.9.4. Zona 12 a zona 16**

Longitud del tramo: 25 m

##### **Fallas Presentadas:**

###### *3.9.4.1. Tapado (B) o Parche (PCH):*

Corresponde a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (acueducto, gas, entre otras).

Área de la falla: 19.41 m<sup>2</sup>

Severidad: ALTA, no presenta el nivel para empalmar con la rasante de la vía y la mezcla carece de homogeneidad, generando pérdida de material en la misma (agregado).

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

###### *3.9.4.2. Piel de Cocodrilo (PC):*

Son fisuras inter conectadas que forman pequeños polígonos en forma de mallas.

Área de la falla: 9.30 m<sup>2</sup>

Severidad: ALTA, presenta mallas densas y abiertas (en algunas zonas superior a 200 mm) con desprendimientos tipo descascaramiento,

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

###### *3.9.4.3. Descascaramiento (O):*

Pérdidas de fragmento de la carpeta asfáltica sin afectar las capas inferiores del pavimento

Cantidad de la falla: Tres (3) Unidades

Severidad: ALTA, se puede inferir un nivel intermedio, ya que a la fecha hay pérdida continua y medianamente marcada de material.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

###### *3.9.4.4. Fisuras Transversales (FTH):*

Fisuras sensiblemente perpendiculares al pavimento

Cantidad de la falla: 4.70 ml

Severidad: INTERMEDIA, se puede inferir un nivel intermedio, ya que a la fecha la lesión está ramificada y ligeramente abiertas, en algunos tramos la profundidad alcanza los tres (3) cms.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

### **REGISTRO FOGRAFICO DE LESIONES**



Imagen 57. Descascaramiento Z - 12



Imagen 58. Parche y Baches Tapados



Imagen 59. PC y PCH Z-13



Imagen 60. PC y PCH Z-14



Imagen 61. PC y PCH Z-16



Imagen 62. PC y PCH Z-16

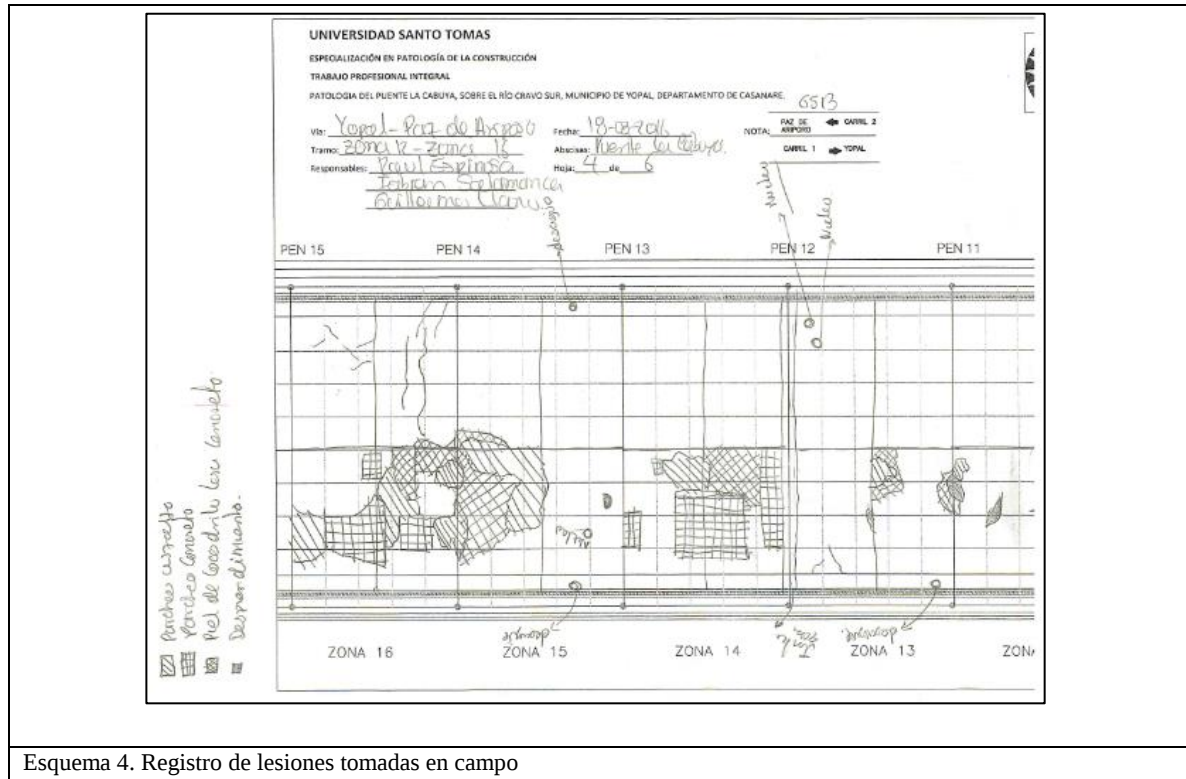


Imagen 63. PC y PCH Z-16



Imagen 64. PC y PCH Z-16

**ESQUEMA ITINERARIO - FICHA DE CAMPO (ZONA 12 A ZONA 16)**



Esquema 4. Registro de lesiones tomadas en campo

### 3.9.5. Zona 17 a zona 21

Longitud del tramo: 24.77 m

#### Fallas Presentadas:

##### 3.9.5.1. Tapado (B) o Parche (PCH):

Corresponde a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (acueducto, gas, entre otras).

Área de la falla: 44.87 m<sup>2</sup>

Severidad: ALTA, el parche presenta desniveles muy marcados (superficie poco homogénea), desprendimientos tipo descascaramiento y lesiones aledañas.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

##### 3.9.5.2. Piel de Cocodrilo (PC):

Son fisuras interconectadas que forman pequeños polígonos en forma de mallas.

Área de la falla: 21.75 m<sup>2</sup>

Severidad: ALTA, se evidencia que la lesión a la fecha ha dividido el pavimento en segmentos de bloque (pequeñas dimensiones), además, las mallas son muy abiertas y densas (menor a 200 mm).

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

#### 3.9.5.2. *Descascaramiento (O):*

Pérdidas de fragmento de la carpeta asfáltica sin afectar las capas inferiores del pavimento

Cantidad de la falla: Cuatro (4) Unidades

Severidad: ALTA, se puede inferir un nivel de consideración, ya que a la fecha hay pérdida continua y muy profunda de material, su estado es evolutivo teniendo en cuenta tanto el tránsito como la intemperie a la que está expuesta.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

#### 3.9.5.3. *Fisuras Transversales (FTH):*

Fisuras sensiblemente perpendiculares al pavimento

Cantidad de la falla: 0.98 ml

Severidad: ALTA, ya que a la fecha la lesión presenta una abertura de consideración y los bordes de la misma tienen un índice de degradación considerable.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

---

**REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LESIONES**



Imagen 65. PC y PCH Z-18



Imagen 66. PC y PCH Z-18



Imagen 67. PC y PCH Z-19



Imagen 68. Fisuras Transversales Z-19



Imagen 69. Parche Tapado Z-20



Imagen 70. Parche Tapado Z-21

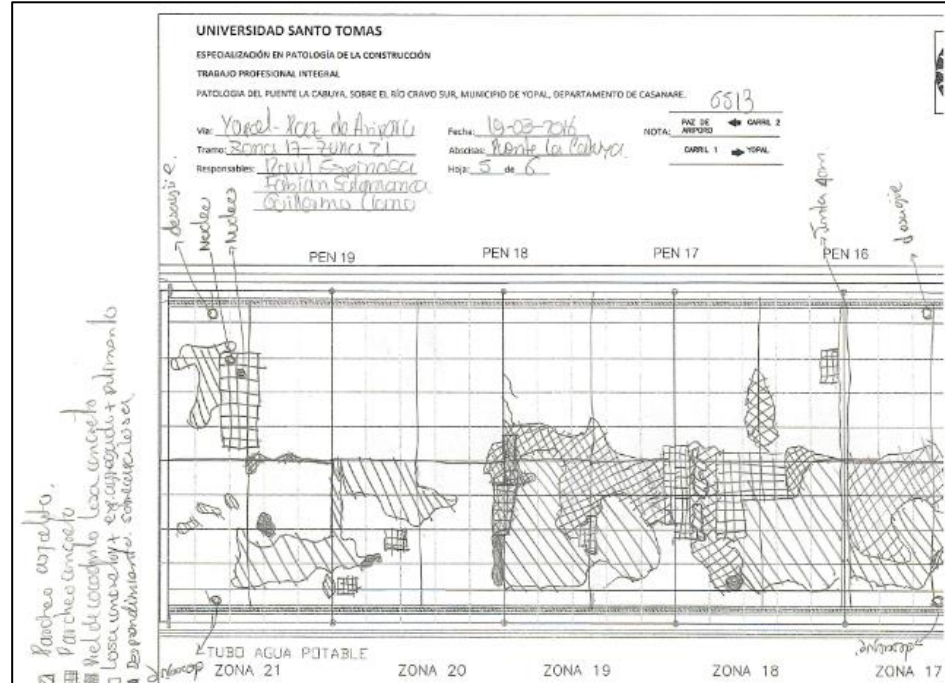
**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

Imagen 71. Parche Tapado Z-20



Imagen 72. Parche Tapado Z-20

### ESQUEMA ITINERARIO - FICHA DE CAMPO (ZONA 17 A ZONA 21)



Esquema 5. Registro de lesiones tomadas en campo zona 17 a 21

### 3.9.6. Zona 22

Longitud del tramo: 12 m

### Fallas Presentadas:

#### 3.9.6.1. Tapado (B) o Parche (PCH):

Corresponde a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (acueducto, gas, entre otras).

Área de la falla: 27.9 m<sup>2</sup>

Severidad: ALTA, el parche se encuentra en estado irregular, presenta lesiones tales como fisuras transversales, desprendimientos (descascamiento y ojo de pescado), la mezcla no evidencia homogeneidad entre los agregados y el material bituminoso.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

#### 3.9.6.2. *Baches Destapados (O):*

Son huecos en la superficie de rodadura de la vía.

Área de la falla: 3.12 m<sup>2</sup>

Severidad: ALTA, son huecos de formación sobre la piel de cocodrilo, el pavimento debe ser reconstruido o reforzado.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

#### 3.9.6.3. *Fisuras Transversales (FTH):*

Fisuras sensiblemente perpendiculares al pavimento

Cantidad de la falla: 3.38 m

Severidad: INTERMEDIA, se puede inferir un nivel intermedio, ya que a la fecha la lesión esta ramificada y ligeramente abiertas.

Evolución Probable: Aceleración del deterioro general del pavimento.

---

**REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LESIONES**



Imagen 73. PCH Z - 22



Imagen 74. Baches Z - 22



Imagen 75. PCH y Baches Z - 22



Imagen 76. Baches Z - 22



Imagen 77. PCH Z - 22



Imagen 78. PCH Z - 22

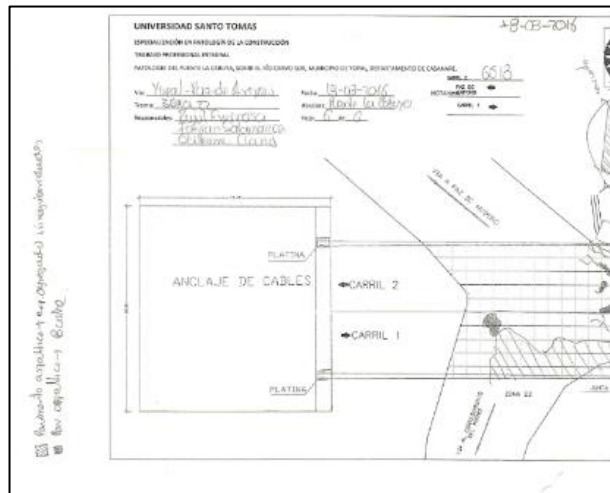


Imagen 79. Desprendimientos Z - 22



Imagen 80. Bache - 22

**ESQUEMA ITINERARIO - FICHA DE CAMPO (ZONA 17 A ZONA 21)**



Esquema 6. Registro de lesiones tomadas en campo zona 1.

Aplicando la metodología VIZIR de Invías se realiza la cuantificación de las lesiones, determinando su severidad, y porcentaje de afectación para obtener los valores de Índice de fisuración ( $I_f$ ) e Índice de deformación ( $I_d$ ), y finalmente con estos valores determinar el Índice de daño o deterioro ( $I_s$ ).

A continuación se anexa imagen con el resumen de los índices de deterioro obtenidos para cada tramo evaluado y con éstos el cálculo de Índice de daño general del tramo de pavimento evaluado.

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

| INDICE DE DETERIORO DE LA LONGITUD TOTAL A ESTUDIO |                   |          |
|----------------------------------------------------|-------------------|----------|
| TRAMO                                              | ABCISA            | IS       |
| ZONA 1                                             | PUENTE LA CABUYA  | 4        |
| ZONA 2 - 6                                         |                   | 7        |
| ZONA 7 - 11                                        |                   | 7        |
| ZONA 12 - 16                                       |                   | 4        |
| ZONA 17 - 21                                       |                   | 7        |
| ZONA 22                                            |                   | 7        |
|                                                    | <b>IS GENERAL</b> | <b>6</b> |

Imagen 81. Resumen Índice de daño (Is) tramos evaluados superficie de rodadura puente La Cabuya.

| Rango del índice, Is | Estado del pavimento              | Trabajos de mantenimiento requeridos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 – 2                | Buen estado                       | Pavimentos con limitados agrietamientos y deformaciones que presentan un buen aspecto general y que no requieren en el momento más que acciones de <b>mantenimiento rutinario</b> .                                                                                                                                                                    |
| 3 – 4                | Regular estado                    | Representan pavimentos con agrietamiento estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos no figurados pero con deformaciones de alguna importancia. Su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado por lo tanto, la acción que se requiere son <b>tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad</b> . |
| 5 – 7                | Pavimentos altamente deteriorados | Son indicativos de pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes, cuyo deficiente estado superficial exige la ejecución de acciones de <b>trabajos importantes de rehabilitación</b> .                                                                                                                                                      |

Imagen 83. Cuadro con relación de mantenimientos requeridos según Is.

Como se puede observar el Is general obtenido para el tramo de vía evaluado (superficie de rodadura puente La Cabuya) arroja un valor de seis (6), que de acuerdo a la metodología VIZIR el valor es indicativo de pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes y su deficiente estado exige la realización de **trabajos importantes de rehabilitación**.

En las imágenes 84 a 88 se puede observar el cálculo de los índices de daño (Is) de cada uno de los tramos evaluados.



PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI

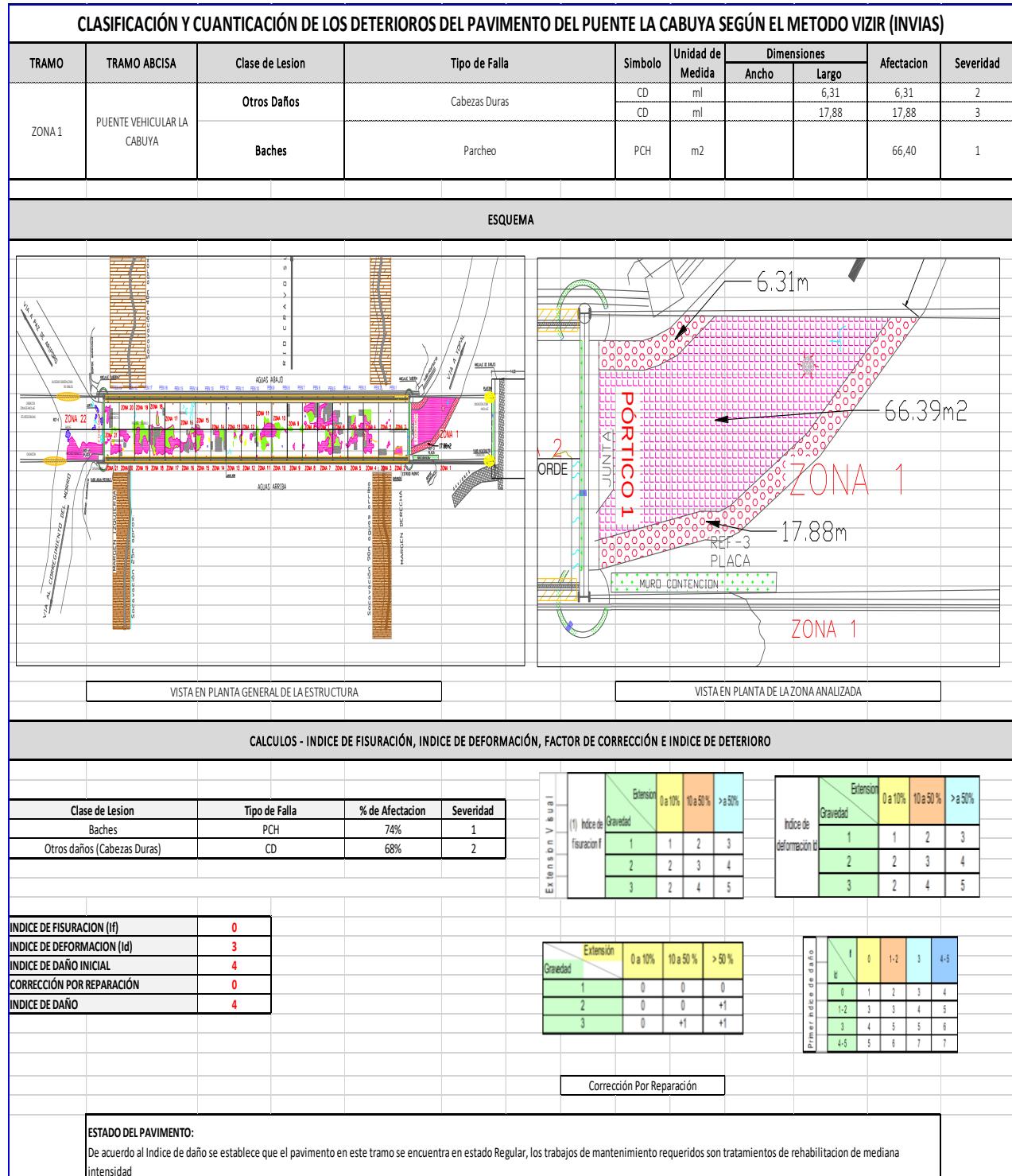
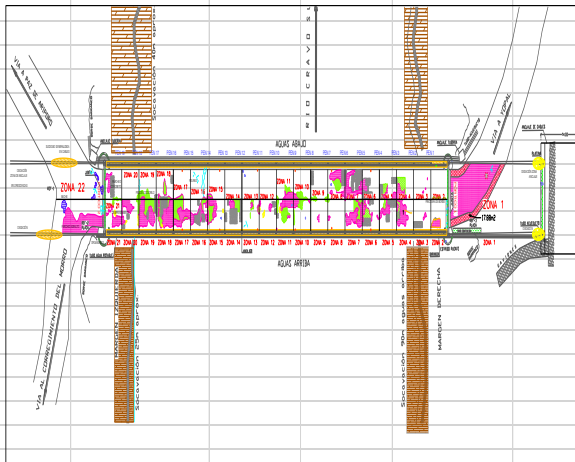


Imagen 84. Cuadro cálculo índice de daño (Is) zona 1.

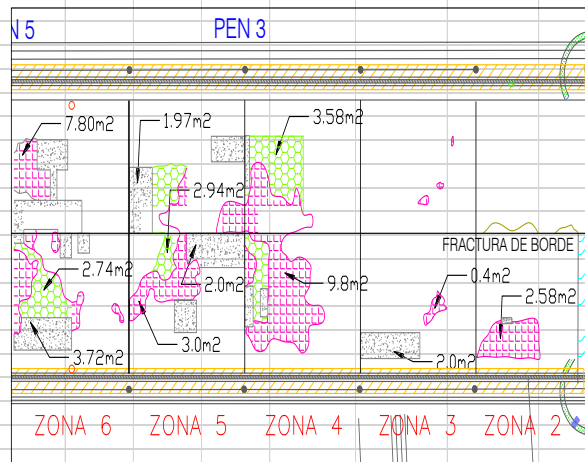
**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

| CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DEL PAVIMENTO DEL PUENTE LA CABUYA SEGÚN EL METODO VIZIR (INVIAS) |                            |                 |                   |         |                  |             |       |            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|---------|------------------|-------------|-------|------------|-----------|
| TRAMO                                                                                                              | TRAMO ABCISA               | Clase de Lesion | Tipo de Falla     | Símbolo | Unidad de Medida | Dimensiones |       | Afectacion | Severidad |
|                                                                                                                    |                            |                 |                   |         |                  | Ancho       | Largo |            |           |
| ZONA 2                                                                                                             | PUENTE VEHICULAR LA CABUYA | Baches          | Parcheo           | PCH     | m2               |             |       | 2,58       | 3         |
| ZONA 3                                                                                                             |                            |                 |                   |         |                  | 2,57        | 0,78  | 2,00       | 2         |
| ZONA 4                                                                                                             |                            |                 |                   |         |                  |             |       | 9,79       | 3         |
| ZONA 5                                                                                                             |                            | Fisuras         | Piel de Cocodrilo | PC      | m2               |             |       | 3          | 3         |
| ZONA 6                                                                                                             |                            |                 |                   |         |                  |             |       | 7,8        | 3         |
| ZONA 4                                                                                                             |                            |                 |                   |         |                  |             |       | 3,58       | 3         |
| ZONA 5                                                                                                             |                            |                 |                   |         |                  |             | 2,94  | 3          |           |
| ZONA 6                                                                                                             |                            |                 |                   |         |                  |             | 2,74  | 3          |           |

ESQUEMA



VISTA EN PLANTA GENERAL DE LA ESTRUCTURA



VISTA EN PLANTA DE LA ZONA ANALIZADA

| CALCULOS - INDICE DE FISURACIÓN, INDICE DE DEFORMACIÓN, FACTOR DE CORRECCIÓN E INDICE DE DETERIORO |               |                 |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|-----------|
| Clase de Lesion                                                                                    | Tipo de Falla | % de Afectacion | Severidad |
| Baches                                                                                             | PCH           | 13%             | 3         |
| Fisuras                                                                                            | PC            | 5%              | 3         |

Extensión Visual

|                            |           |         |          |         |
|----------------------------|-----------|---------|----------|---------|
| (1) Índice de Fisuración I | Extensión | 0 a 10% | 10 a 50% | > a 50% |
|                            | Gravedad  |         |          |         |
|                            | 1         | 1       | 2        | 3       |
| 2                          | 2         | 3       | 4        |         |
| 3                          | 2         | 4       | 5        |         |

Índice de deformación II

|                          |           |         |          |         |
|--------------------------|-----------|---------|----------|---------|
| Índice de deformación II | Extensión | 0 a 10% | 10 a 50% | > a 50% |
|                          | Gravedad  |         |          |         |
|                          | 1         | 1       | 2        | 3       |
| 2                        | 2         | 3       | 4        |         |
| 3                        | 2         | 4       | 5        |         |

|          |           |         |          |       |
|----------|-----------|---------|----------|-------|
| Gravedad | Extensión | 0 a 10% | 10 a 50% | > 50% |
|          | 1         | 0       | 0        | 0     |
|          | 2         | 0       | 0        | +1    |
| 3        | 0         | +1      | +1       |       |

Corrección Por Reparación

Primer índice de daño

|                       |     |   |     |   |     |
|-----------------------|-----|---|-----|---|-----|
| Primer índice de daño | 1   | 0 | 1-2 | 3 | 4-5 |
|                       | 0   | 1 | 2   | 3 | 4   |
|                       | 1-2 | 3 | 3   | 4 | 5   |
| 3                     | 4   | 5 | 5   | 6 |     |
| 4-5                   | 5   | 6 | 7   | 7 |     |

ESTADO DEL PAVIMENTO:

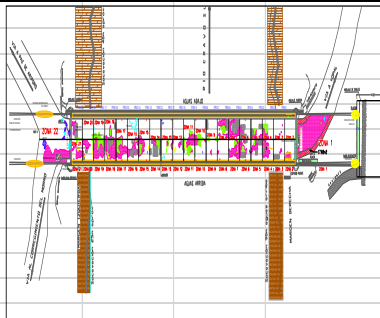
De acuerdo al Índice de daño se establece que el pavimento en este tramo se encuentra en estado Altamente Deteriorados, los trabajos de mantenimiento requeridos son tratamientos importante de rehabilitación

Imagen 85. Cuadro cálculo índice de daño (Is) zona 2 a 6.

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

| CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DEL PAVIMENTO DEL PUENTE LA CABUYA SEGÚN EL METODO VIZIR (INVIAS) |                            |                  |                   |         |                  |             |       |            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|-------------------|---------|------------------|-------------|-------|------------|-----------|
| TRAMO                                                                                                              | TRAMO ABCISA               | Clase de Lesion  | Tipo de Falla     | Símbolo | Unidad de Medida | Dimensiones |       | Afectacion | Severidad |
|                                                                                                                    |                            |                  |                   |         |                  | Ancho       | Largo |            |           |
| TRAMO 7                                                                                                            | PUENTE VEHICULAR LA CABUYA | Baches           | Parcheo           | PCH     | m2               |             |       | 2,5        | 3         |
| TRAMO 7                                                                                                            |                            |                  |                   |         |                  |             |       | 4,40       | 3         |
| TRAMO 7                                                                                                            |                            |                  |                   |         |                  |             |       | 13,36      | 3         |
| TRAMO 8                                                                                                            |                            |                  |                   |         |                  |             |       | 1,26       | 3         |
| TRAMO 8                                                                                                            |                            |                  |                   |         |                  |             |       | 3,6        | 3         |
| TRAMO 9                                                                                                            |                            |                  |                   |         |                  |             |       | 0,36       | 3         |
| TRAMO 10                                                                                                           |                            | Fisuras          | Piel de Cocodrilo | PC      | m2               |             |       | 2,62       | 3         |
| TRAMO 11                                                                                                           |                            |                  |                   |         |                  |             |       | 6,55       | 3         |
| TRAMO 7                                                                                                            |                            |                  |                   |         |                  |             |       | 4,3        | 3         |
| TRAMO 8                                                                                                            |                            |                  |                   |         |                  |             |       | 3,60       | 3         |
| TRAMO 9                                                                                                            |                            |                  |                   |         |                  |             |       | 0,70       | 3         |
| TRAMO 10                                                                                                           | Desprendimiento            | Descascaramiento | O                 | Und     |                  |             | 3,66  | 3          |           |
| TRAMO 11                                                                                                           |                            |                  |                   |         |                  |             | 5,23  | 3          |           |
| TRAMO 11                                                                                                           |                            |                  |                   |         |                  |             |       | 1,00       | 2         |

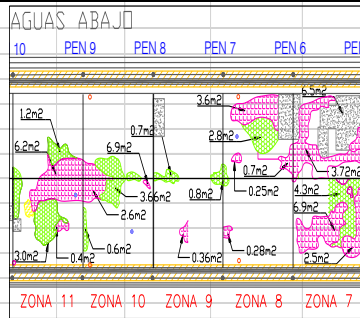
ESQUEMA



VISTA EN PLANTA GENERAL DE LA ESTRUCTURA

AGUAS ABAJO

10PEN 9PEN 8PEN 7PEN 6PEN



ZONA 11ZONA 10ZONA 9ZONA 8ZONA 7

VISTA EN PLANTA DE LA ZONA ANALIZADA

CALCULOS - INDICE DE FISURACIÓN, INDICE DE DEFORMACIÓN, FACTOR DE CORRECCIÓN E INDICE DE DETERIORO

| Clase de Lesion | Tipo de Falla | % de Afectacion | Severidad |
|-----------------|---------------|-----------------|-----------|
| Baches          | PCH           | 17%             | 3         |
| Fisuras         | PC            | 8%              | 3         |

Extension V. buel

| (%) Índice de fisuración I | Gravedad | Extension | 0 a 10% | 10 a 50% | > a 50% |
|----------------------------|----------|-----------|---------|----------|---------|
| 1                          | 1        | 1         | 2       | 3        |         |
| 2                          | 2        | 2         | 3       | 4        |         |
| 3                          | 3        | 2         | 4       | 5        |         |

Índice de deformación II

| Gravedad | Extension | 0 a 10% | 10 a 50% | > a 50% |
|----------|-----------|---------|----------|---------|
| 1        | 1         | 1       | 2        | 3       |
| 2        | 2         | 2       | 3        | 4       |
| 3        | 3         | 2       | 4        | 5       |

| Gravedad | Extension | 0 a 10% | 10 a 50% | > 50 % |
|----------|-----------|---------|----------|--------|
| 1        | 0         | 0       | 0        | 0      |
| 2        | 0         | 0       | +1       |        |
| 3        | 0         | +1      | +1       |        |

Primer índice de daño

| I   | 0 | 1-2 | 3 | 4-5 |
|-----|---|-----|---|-----|
| 0   | 1 | 2   | 3 | 4   |
| 1-2 | 3 | 3   | 4 | 5   |
| 3   | 4 | 5   | 5 | 6   |
| 4-5 | 5 | 6   | 7 | 7   |

Corrección Por Reparación

ESTADO DEL PAVIMENTO:

De acuerdo al Índice de daño se establece que el pavimento en este tramo se encuentra en estado Altamente Deteriorados, los trabajos de mantenimiento requeridos son tratamientos importante de rehabilitación

Imagen 86. Cuadro cálculo índice de daño (Is) zona 7 a11.



**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

| CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DEL PAVIMENTO DEL PUENTE LA CABUYA SEGÚN EL METODO VIZIR (INVIAS) |                            |                       |                   |         |                  |             |       |            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|---------|------------------|-------------|-------|------------|-----------|
| TRAMO                                                                                                              | TRAMO ABCISA               | Clase de Lesion       | Tipo de Falla     | Símbolo | Unidad de Medida | Dimensiones |       | Afectacion | Severidad |
|                                                                                                                    |                            |                       |                   |         |                  | Ancho       | Largo |            |           |
| TRAMO 12                                                                                                           | PUENTE VEHICULAR LA CABUYA | Baches                | Parcheo           | PCH     | m2               |             |       | 0,9        | 3         |
| TRAMO 12                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             |       | 1,00       | 2         |
| TRAMO 13                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             |       | 0,31       | 3         |
| TRAMO 14                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             |       | 1,4        | 3         |
| TRAMO 14                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             |       | 6,9        | 2         |
| TRAMO 15                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             |       | 3,5        | 3         |
| TRAMO 16                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             |       | 1,4        | 3         |
| TRAMO 16                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             |       | 4          | 2         |
| TRAMO 13                                                                                                           |                            | Fisuras               | Piel de Cocodrilo | PC      | m2               |             |       | 1,3        | 3         |
| TRAMO 14                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             |       | 2,20       | 3         |
| TRAMO 15                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             |       | 4,00       | 3         |
| TRAMO 16                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             |       | 1,80       | 3         |
| TRAMO 13                                                                                                           |                            | Fisuras Transversales |                   | FTH     | ml               |             | 1     | 1,00       | 2         |
| TRAMO 16                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             | 3,7   | 3,70       | 2         |
| TRAMO 12                                                                                                           |                            | Desprendimiento       | Descascaramiento  | O       | Und              |             |       | 2,00       | 3         |
| TRAMO 15                                                                                                           |                            |                       |                   |         |                  |             | 1,00  | 3          |           |

ESQUEMA

VISTA EN PLANTA GENERAL DE LA ESTRUCTURA

VISTA EN PLANTA DE LA ZONA ANALIZADA

CALCULOS - INDICE DE FISURACIÓN, INDICE DE DEFORMACIÓN, FACTOR DE CORRECCIÓN E INDICE DE DETERIORO

| Clase de Lesion | Tipo de Falla | % de Afectacion | Severidad |
|-----------------|---------------|-----------------|-----------|
| Baches          | PCH           | 9%              | 3         |
| Fisuras         | PC            | 4%              | 3         |
|                 | PCT           | 38%             | 2         |

INDICE DE FISURACION (If)

3

INDICE DE DEFORMACION (Id)

2

INDICE DE DAÑO INICIAL

4

CORRECCIÓN POR REPARACIÓN

0

INDICE DE DAÑO FINAL

4

Extensión V. b. u. l

| Indice de fisuración I | Extension |          |          |       | Gravedad |   |   |   |
|------------------------|-----------|----------|----------|-------|----------|---|---|---|
|                        | 0 a 10%   | 10 a 50% | 50 a 80% | > 80% | 1        | 2 | 3 | 4 |
|                        | 1         | 1        | 2        | 3     | 1        | 2 | 3 | 4 |
|                        | 2         | 2        | 3        | 4     | 2        | 3 | 4 | 5 |

Indice de deformación Id

| Indice de deformación Id | Extension |          |          |       | Gravedad |   |   |   |
|--------------------------|-----------|----------|----------|-------|----------|---|---|---|
|                          | 0 a 10%   | 10 a 50% | 50 a 80% | > 80% | 1        | 2 | 3 | 4 |
|                          | 1         | 1        | 2        | 3     | 1        | 2 | 3 | 4 |
|                          | 2         | 2        | 3        | 4     | 2        | 3 | 4 | 5 |

Primero indice de daño

| Primero indice de daño | Extension |          |          |       | Gravedad |   |   |     |
|------------------------|-----------|----------|----------|-------|----------|---|---|-----|
|                        | 0 a 10%   | 10 a 50% | 50 a 80% | > 80% | 1        | 2 | 3 | 4-5 |
|                        | 1         | 1        | 2        | 3     | 1        | 2 | 3 | 4   |
|                        | 2         | 2        | 3        | 4     | 2        | 3 | 4 | 5   |

Corrección Por Reparación

ESTADO DEL PAVIMENTO:

De acuerdo al Índice de daño se establece que el pavimento en este tramo se encuentra en estado Regular, los trabajos de mantenimiento requeridos son tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad

Imagen 87. Cuadro cálculo índice de daño (Is) zona 12 a 16.

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

| CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DEL PAVIMENTO DEL PUENTE LA CABUYA SEGÚN EL METODO VIZIR (INVIAS)                                                                                             |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|------------|-----------------------|------|---|
| TRAMO                                                                                                                                                                                                          | TRAMO ABCISA               | Clase de Lesion | Tipo de Falla     | Símbolo         | Unidad de Medida                     | Dimensiones           |                        | Afectacion | Severidad             |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 |                                      | Ancho                 | Largo                  |            |                       |      |   |
| TRAMO 17                                                                                                                                                                                                       | PUENTE VEHICULAR LA CABUYA | Baches          | Parcheo           | PCH             | m2                                   |                       |                        | 6          | 3                     |      |   |
| TRAMO 18                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 9,50       | 3                     |      |   |
| TRAMO 18                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 5,43       | 2                     |      |   |
| TRAMO 19                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 10         | 3                     |      |   |
| TRAMO 20                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 4,58       | 3                     |      |   |
| TRAMO 20                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 0,8        | 2                     |      |   |
| TRAMO 21                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 3,5        | 3                     |      |   |
| TRAMO 21                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 2,9        | 3                     |      |   |
| TRAMO 21                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 2,16       | 3                     |      |   |
| TRAMO 17                                                                                                                                                                                                       |                            | Fisuras         | Piel de Cocodrilo | PC              | m2                                   |                       |                        | 7,8        | 3                     |      |   |
| TRAMO 18                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 5,25       | 3                     |      |   |
| TRAMO 19                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 8,00       | 3                     |      |   |
| TRAMO 21                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        | 0,70       | 3                     |      |   |
| TRAMO 19                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      | Fisuras Transversales | FTH                    | ml         | 0,98                  | 0,98 | 3 |
| TRAMO 18                                                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        |            |                       | 1,00 | 3 |
| TRAMO 20                                                                                                                                                                                                       |                            | 2,00            | 3                 |                 |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
| TRAMO 21                                                                                                                                                                                                       |                            | Desprendimiento | Descascaramiento  | O               | Und                                  |                       |                        | 1,00       | 3                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
| ESQUEMA                                                                                                                                                                                                        |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
| VISTA EN PLANTA GENERAL DE LA ESTRUCTURA                                                                                                                                                                       |                            |                 |                   |                 | VISTA EN PLANTA DE LA ZONA ANALIZADA |                       |                        |            |                       |      |   |
| CALCULOS - INDICE DE FISURACIÓN, INDICE DE DEFORMACIÓN, FACTOR DE CORRECCIÓN E INDICE DE DETERIORO                                                                                                             |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
| Clase de Lesion                                                                                                                                                                                                |                            | Tipo de Falla   |                   | % de Afectacion |                                      | Severidad             |                        |            |                       |      |   |
| Baches                                                                                                                                                                                                         |                            | PCH             |                   | 22%             |                                      | 3                     |                        |            |                       |      |   |
| Fisuras                                                                                                                                                                                                        |                            | PC              |                   | 11%             |                                      | 3                     |                        |            |                       |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            | PCT             |                   | 2%              |                                      | 3                     |                        |            |                       |      |   |
| INDICE DE FISURACION (If)                                                                                                                                                                                      |                            |                 |                   | 4               |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
| INDICE DE DEFORMACION (Id)                                                                                                                                                                                     |                            |                 |                   | 4               |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
| INDICE DE DAÑO INICIAL                                                                                                                                                                                         |                            |                 |                   | 7               |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
| CORRECCIÓN POR REPARACIÓN                                                                                                                                                                                      |                            |                 |                   | 0               |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
| INDICE DE DAÑO FINAL                                                                                                                                                                                           |                            |                 |                   | 7               |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | Extensión Visual                     |                       | (1) Índice de Gravedad |            | Índice de deformación |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | Extensión                            |                       | Gravedad               |            | Extensión             |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 0 a 10%                              |                       | 0 a 10%                |            | 0 a 10%               |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 10 a 50 %                            |                       | 10 a 50 %              |            | 10 a 50 %             |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | > 50 %                               |                       | > 50 %                 |            | > 50 %                |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 1                                    |                       | 1                      |            | 1                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 2                                    |                       | 2                      |            | 2                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 3                                    |                       | 3                      |            | 3                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 2                                    |                       | 2                      |            | 2                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 3                                    |                       | 3                      |            | 3                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 2                                    |                       | 2                      |            | 2                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 3                                    |                       | 3                      |            | 3                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 0                                    |                       | 0                      |            | 0                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 0                                    |                       | 0                      |            | 0                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | 0                                    |                       | 0                      |            | 0                     |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | +1                                   |                       | +1                     |            | +1                    |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | +1                                   |                       | +1                     |            | +1                    |      |   |
|                                                                                                                                                                                                                |                            |                 |                   |                 | Corrección Por Reparación            |                       |                        |            |                       |      |   |
| ESTADO DEL PAVIMENTO:                                                                                                                                                                                          |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |
| De acuerdo al Índice de daño se establece que el pavimento en este tramo se encuentra en estado Altamente Deteriorados, los trabajos de mantenimiento requeridos son tratamientos importante de rehabilitación |                            |                 |                   |                 |                                      |                       |                        |            |                       |      |   |

Imagen 88. Cuadro cálculo índice de daño (Is) zona 17 a 21.

### **3.10. Datos específicos de las lesiones**

#### **3.10.1. Suciedad (física-primaria)**



Imagen 89. Acumulación de suciedad en zona de galápagos, abrazaderas zona intermedia (entre torres) y conexión pendolones a viga de rigidez en zona intermedia.

- Localización.

La lesión suciedad está presente en los macizos (muertos), cables, estructura metálica en general (torres, vigas de rigidez, vigas longitudinales, vigas transversales, pendolones, estribos); se puede observar su presencia de forma generalizada en los diferentes elementos del puente.

- Aspecto de la lesión

La suciedad encontrada en los diferentes elementos del puente presenta colores desde un beige pasando por marrón, hasta color negro dependiendo la ubicación.

Para el caso de los elementos intermedios como torres, pendolones, vigas, se encuentra acumulación de material arenoso en las partes inferiores de las vigas, y de forma general como una capa grisácea a verdosa en la superficie de los elementos.

En los elementos exteriores del puentes, es decir los macizos y estribos que están en contacto directo con el suelo, se puede observar en la parte inferior una mayor presencia de partículas de suelo; para el caso de los muertos los elementos de sujeción de los cables presentar mayor acumulación de suciedad en la parte inferior, y en los estribos se limita a acumulación en la superficie del concreto.

---

- Etiología (Causa)

Por una parte el comportamiento climático normal de la zona genera transporte de partículas de suelo por los vientos, que sumado a los periodos de humedad propende la adherencia de las partículas de suelo a la superficie de los diferentes elementos del puente; adicional a esto los elementos en algunos casos tienen formas que propician la acumulación de partículas de suelo, como es el caso de las hendiduras que forma el tejido de los torones de los cables, las superficies horizontales que se forman en los patines de las vigas, oquedades de elementos como abrazaderas, galápagos, elementos de fijación de cables entre otros.

Las anteriores se identifican como el origen inmediato del proceso patológico, clasificándose como de causa directa.

- Trascendencia

Este tipo de lesión inicialmente tiene una afectación de tipo estética en la estructura, pero con el tiempo propicia la generación de otras lesiones como oxidación, corrosión, organismos, dado que lleva a prolongar la presencia de humedad en los elementos y genera las condiciones micro ambientales ideales para el crecimiento de musgos, líquenes y plantas.

**3.10.2. Organismos (química-secundaria)**



Imagen 90. Crecimiento de planta musgos, plantas con tallos definidos y líquenes en cables, columnas torres, vigas y zona de anclaje. Fuente: Contrato 0922-2015 Invias.

- Localización.

El crecimiento de musgo y líquenes se observa en los macizos y estribos del puente, con menor presencia se identifica el crecimiento de algunas plantas (tallos y hojas definidos) en las oquedades del concreto de los macizos, el crecimiento de líquenes y musgos en cambio es generalizado en la superficie del concreto.

En menor medida se puede observar que en los elementos metálicos como vigas, torres, pendolones, cables, abrazaderas, hay crecimiento de líquenes, dándole un color verdoso a las zonas con suciedad por lavado diferencial, y con mayor intensidad en las oquedades o intersticios de los elementos metálicos.

- Aspecto de la lesión.

Se observa manchas de color verdoso sobre zonas con suciedad, en la superficie rugosa del concreto al haber mayor acumulación de suciedad se desarrollan musgos, al igual que en las hendiduras de los cables y oquedades de los elementos metálicos, en general de color verdoso, los musgos presentan mayor espesor, en algunas zonas se encontraron hasta de 2cm de altura.

Las plantas con tallos y hojas definidos, para diferenciarlas de los musgos, se presentan una altura máxima de 15 cm en las oquedades de los macizos, presentando una ocupación de un 20 a 30% del elemento, en las zonas inferiores y en contacto con el suelo se observa el crecimiento de plantas con altura hasta de 60cm, estas últimas con una ocupación del 20% aprox de los macizos.

Los estribos presentan cultivos de líquenes y musgo en las zonas de contacto con las aguas de escorrentía superficial, aproximadamente un 50% del elemento, se identifica zona equivalente al 15% del elemento con crecimiento de musgo con altura de 1,5 cm aprox. Ver ficha de valoración zona 2 a 21 -2.

- Etiología.

De causa directa. La superficie irregular de los macizos y estribos permite la acumulación de partículas de suelo (suciedad) y humedad, generando las condiciones ideales para que crezcan musgos y líquenes y en algunos casos plantas con tallos y hojas definidos; se identifica la humedad y suciedades como la causa primaria.

- Trascendencia.

Los cultivos de organismos (musgos, líquenes, plantas con tallos definidos) al tomar su alimento del sustrato del concreto o superficie en que se alojen, generan procesos químicos que deterioran el concreto afectando sus características físico – mecánicas, es importante su retiro; por

---

otra parte propician otros procesos patológicos como oxidación y corrosión en elementos metálicos al ayudar a conservar la humedad en el elemento.

### **3.10.3. Pérdida de recubrimiento en los cables - Oxidación – Corrosión (Química – Secundaria)**



Imagen 91. Oxidación y corrosión en cables, torones y pendolones. Registro de zona Galápagos, abrazadera en zona intermedia (entre torres), pendolones. Fuente: Contrato 0922-2015.

De forma general se aclara que los puntos en que se identifica oxidación o corrosión, obligatoriamente ha sucedido la pérdida del recubrimiento, ya sea del encauchado o de la pintura; de manera que el análisis de la oxidación aplica de forma directa y proporcional a la pérdida de recubrimiento.

- Localización.

Se identifica oxidación en los anclajes de los cables, en los cables de 2", en los torones en las zonas en que han perdido el encauchado, los pendolones, los galápagos, los apoyos; los cables de 2 ¼" se encuentran en perfecto estado dada su reciente instalación.

- Aspecto de la lesión.

---

Los anclajes de forma generalizada presentan oxidación, estimando una ocupación del 30 al 40% de los elementos; los cables en la zona externa presentan mayor deterioro, oxidación y pérdida de sección parcial (corrosión), se define la presencia de la lesión en cables en un 40% aprox. en la zona externa, en la zona interna entre torres, se observa oxidación en cables en menor medida, definiendo presencia de la lesión en un 25% aprox.

Los pendolones presentan oxidación distribuida en toda su longitud con presencia del 30 a 40% aprox., se observa pérdida de sección a manera de salpicado, con profundidades de 2 a 3mm y diámetros de 5mm a 10mm, se define la presencia de la lesión en un 20% del elemento aprox.

Las abrazaderas y pasadores presentan oxidación en las zonas en que se retiene el agua, hendiduras, su presencia es menor.

Los apoyos dada su ubicación y trabajo presentan oxidación 80 a 90% del elemento aprox., se observa pérdida de sección en un 10% del elemento

Las vigas en general se encuentran libres de oxidación, se les ha realizado un mantenimiento que incluye la aplicación de recubrimiento.

- Etiología.

Causa Directa - Química. La suciedad por lavado diferencial y depósito en las hendiduras de los elementos y la acción de los ciclos de secado y humedecimiento propician el proceso de oxidación; por otra parte se identifica la falta de mantenimiento como Causa Indirecta.

La falta de mantenimiento permite la acumulación de suciedad, mayor humedad y propicia las condiciones para el proceso de oxidación y corrosión.

- Trascendencia.

La oxidación como etapa inicial del proceso de corrosión debe ser atendida evitando la etapa de pérdida de sección de los elementos metálicos, que afecta las características físico-mecánicas, y sus capacidades de resistencia ante las cargas propias del puente y las aplicadas al paso de vehículos y fenómenos naturales (vientos, sismo); es importante su control y reparación en los casos críticos.

La recuperación del recubrimiento de cables y demás elementos metálicos es de gran importancia para inhibir el inicio de los procesos de oxidación y corrosión, incrementando la durabilidad del elemento y estructura.

---

#### **3.10.4. Fisuras tablero.**



Imagen 92. Grieta alrededor de guardarueda, acero de refuerzo fallado; Superficie de rodadura con fisuramiento tipo piel de cocodrilo y parcheo. Fuente: Propia.

- Localización.

Se observan fisuras en la zona adyacente a la junta de expansión en los accesos del puente, paralelas y en todo el ancho del puente.

De forma generalizada se observa fisuramiento de la losa de concreto que forma el tablero del puente, en las zonas adyacentes a los parches es más evidente su presencia.

Los guardaruedas presentan fisuramientos puntuales y en toda la superficie, cada 5 o 4 metros, casi correspondiendo con la ubicación de los pendolones.

- Aspecto de la lesión.

Las fisuras adyacentes a las juntas de expansión en los accesos del puente son paralelas a la junta de expansión, en algunos puntos se configura como piel de cocodrilo; se define un área de 40 cm a lado y lado y en todo el ancho.

Las fisuras adyacentes a los parcheos realizados son generalizadas, con tendencia a formar piel de cocodrilo.

Los guardarueda presentan la fisura a su alrededor, en zonas puntuales que se ubican cada 4 a 5 m aprox.; se observa en algunos casos exposición del refuerzo longitudinal y rotura del mismo, desprendimiento parcial del concreto de recubrimiento.

- Etiología.

---

La losa de concreto que conforma el tablero, de acuerdo a los estudios realizados tienen un espesor de 17,5cm, sobre ésta se colocó una sobre capa de 3cm en el año 1989 a 1990, ésta sobre capa en concreto a la fecha no ha sido reemplazada en su totalidad, salvo reparaciones tipo parcheo que han generado la superficie irregular que hoy tiene el tablero, de manera que las causas son directa y mecánica por los esfuerzos a que ha estado sometida, impactos y rozamiento dado el alto flujo vehicular.

Por otra parte la falta de mantenimiento radical ha llevado a que la carpeta de rodadura, y tablero del puente hoy este en un 90% aprox. con bacheos en concretos y mezcla asfáltica.

- Trascendencia.

Es importante dar una superficie homogénea a la carpeta de rodadura, de manera que se disminuyan los impactos sobre el puente por las irregularidades existentes y los esfuerzos que tales impactos representan.

#### **3.10.5. Parche (PCH), Perdida de Agregado (PA), Pulimento del agregado (PU)**



Imagen 93. Tablero con presencia de parches, fisuras, pérdida y pulimento de agregado. Fuente: Propia.

---

Las lesiones Parches, pérdidas de agregado y pulimento del agregado, se observan de forma generalizada en casi un 100% de la carpeta de rodadura y tablero del puente.

- Localización

Se observan en la losa de concreto del puente (tablero), en toda su longitud y ancho con una afectación que se puede definir entre un 90 a 100%.

- Aspecto de la lesión.

Se observan parcheo en concreto y mezcla asfáltica, con fisuramiento en las zonas adyacentes o de intersección entre un parcheo y otro.

De forma generalizada la superficie en concreto presenta exposición del agregado y pulimento del agregado, lesiones cuyos nombres indican la situación de la lesión.

- Etiología.

La causa es mecánica y directa en cuanto a la presencia de cargas permanentes, rozamientos e impactos que van deteriorando los materiales.

La falta de mantenimiento se considera causa indirecta de éstas lesiones, considerando que la sobre capa de concreto que hoy es la superficie de rodadura se instaló en el año 1989.

- Trascendencia.

Es importante lograr una superficie homogénea sobre el puente evitando los impactos por irregularidades, y garantizando la comodidad del usuario de la vía.

---

### 3.10.6. Núcleos.



Imagen 94. Orificios de toma de núcleos en el tablero del puente y en el estribo ubicado en el margen derecho del río. Fuente: Propia.

- Localización.

Se observa cortes circulares en la superficie de rodadura del puente, por toma de núcleos en las zonas 21, 15, 13, 11, 10, 8; adicionalmente se identifica un orificio de núcleo en la cara anterior y frontal del estribo, y otro en la lateral derecha. Total 8 núcleos identificados entre las zonas 2 a 21. Ver formato de valoración zona 2-21 – 1.

- Aspecto de la lesión.

Se observa cortes circulares con un diámetro de 7,1cm, la profundidad es variable entre 9 y 15 cm; se localizan 8 orificios con estas características, 6 ubicados sobre el tablero, dos en el estribo, uno en la zona frontal y otro en la zona lateral.

- Etiología.

Causa Directa – mecánica. Realización de toma de núcleos para emitir diagnóstico de los elementos de concreto, pero por descuido de los profesionales no se realiza el sello de los mismos.

- Trascendencia.

Los orificios de los núcleos tomados se convierten en puntos de fácil ingreso de agentes contaminantes hacia el interior del concreto propiciando su deterioro y dando paso a procesos patológicos en el acero de refuerzo.

---

### 3.10.7. Eflorescencias.



Imagen 95. Eflorescencias en el estribo margen derecho. Fuente: Propia.

- Localización.

Estribo margen derecho, zona lateral aguas arriba. Ver formato de valoración zona 2 a 21 – 1.

- Aspecto de la lesión.

La eflorescencia presenta un color blancuzco, se encuentra localizada en dos puntos de la cara lateral aguas arriba del estribo del margen derecho, se define un área aproximada de 1,5m x 0,30 m.

- Etiología.

Directa – Física. La alta humedad del macizo propicia la disolución de las sales contenidas en los agregados del concreto y su salida a través de los intersticios del concreto; el contenido de las sales solubles le clasifica también como causa química.

- Trascendencia.

La mancha como tal tiene una afectación de tipo estético, pero la causa que lleva a la disolución de las sales solubles contenidas en los componentes del concreto, que es la alta humedad, puede también dar paso a otros procesos patológicos como la oxidación y corrosión del acero de refuerzo; dado lo anterior es importante atacar la causa de las eflorescencias.

---

### **3.10.8. Fisuras en los alambres.**



Imagen 96. Rotura de alambres en cables de 2". Fuente: Contrato 0922-2015 Inviás.

- Localización.

Se observa fisuramiento de alambres y en algunos casos rotura de los mismos en la zona externa (entre muerto y torres) lado izquierdo viendo aguas abajo y en los galápagos; los cables afectados corresponden a los originales del puente de 2".

- Aspecto de la lesión.

Las zonas que presentan fisuramiento y falla de los alambres de los cables están acompañadas de oxidación y corrosión, los casos ubicados en la zona de los galápagos dejan ver una alta humedad y acumulación de suciedad que evidentemente propician los procesos patológicos de oxidación y corrosión, y la posterior falla del cable.

Para el caso del cable de 2" ubicado al lado izquierdo viendo aguas abajo, segundo grupo de fiadores contados de arriba hacia abajo, se presenta falla de todos los alambres de la capa externa, por lo que son cortados en la zona deteriorada y los demás sujetos mediante abrazaderas y alambre; los demás cables de 2" presentan pérdida de 1 a 5 alambres aproximadamente; es de resaltar que los torones de 5/8" y cables de 2 1/4" no presentan rotura de alambres.

- Etiología.

Causa directa mecánica, el exceso de carga soportado por los elementos afectados, al no calibrar correctamente los demás cables, en especial los torones de 5/8" colocados en el año 2003; sumado a esto es importante resaltar el paso de vehículos con carga especial que exceden los valores considerados en el diseño.

---

- Trascendencia.

Es de gran importancia mantener la integridad de cada uno de los cables y torones del puente puesto que son los encargados de soportar y transmitir las cargas de los diferentes elementos del puente a las torres y macizos de anclaje.

### **3.10.9. Juntas frías (JF) – Hormigueros (HO)**



Imagen 97. Junta fría y hormigueros en muro de contención acceso puente margen derecho. Fuente: Propia.

- Localización.

Se observa fisuras y oquedades en la cara exterior del muro de contención margen derecho, lado izquierdo sentido Yopal - Paz de Ariporo. Ver ficha de valoración zona 1-5.

- Aspecto de la lesión.

La junta fría se observa como una fisura a 45°, con un espesor que supera los 5mm, presentando hormigueros en toda su longitud que hacen más evidente la lesión; en otros puntos del muro se presentan hormigueros pero en menor cantidad.

- Etiología.

Juntas Frías (JF). Causa Indirecta - Ejecución. Tratamiento inadecuado de la junta durante el vaciado de los concretos, es evidente que no hubo una programación para la construcción de la junta, se observa irregular y mal acabada.

---

Hormigueros (HO). Causa Indirecta - Ejecución. Posiblemente por falta de vibrado, compactación excesiva o deficiente, no control de los diámetros máximos del agregado en zonas de alta densidad de refuerzo.

- Trascendencia.

Los intersticios presentes en la junta fría mal realizada y hormigueros presentes en el muro propician el ingreso de agentes que además de deteriorar el concreto puede afectar el acero de refuerzo, es importante su atención.

#### **3.10.10. Socavación.**



Imagen 98. Socavación Zona 1. Margen derecho río Cravo Sur.



Imagen 99. Socavación zona 22. Margen izquierdo río Cravo Sur. Fuente: Contrato 0922-2015 Invías.

---

- Localización.

La socavación se ubica aguas arriba y aguas abajo del puente, en el margen derecho e izquierdo. Ver formato de valoración zona 1 – 4 y zona 22 -4.

- Aspecto de la lesión.

Se observa socavación en las orillas del margen izquierdo y derecho; para el caso del margen izquierdo se observa una afectación de 25m aguas arriba y 40 metros aguas abajo aproximadamente; en el margen derecho se observa una afectación de 90m aguas arriba y 40 metros aguas abajo, aproximadamente.

La socavación genera la formación de taludes con pendientes casi verticales, el caso del margen izquierdo es más crítico por cuanto deja expuesta la zarpa delantera del estribo y está adyacente a las vías nacional y secundaria que conduce hacia el corregimiento del Morro.

El margen derecho presenta una orilla retirada 15metros del estribo y vía, no generando riesgo a la cimentación.

Mediante contrato de obra 0922-2015 se realizan obras de enrocado con lo que se protege el talud de la socavación en una longitud de 80m en el margen izquierdo.

- Trascendencia

Considerando que la socavación cuenta con un enrocado en una longitud de 80m (10 metros aguas arriba y 70 metros aguas abajo del estribo) en el margen izquierdo del río, es importante hacerle seguimiento a tales obras de manera que se garantice el funcionamiento de las obras de estabilización realizadas; para el caso del margen derecho, que no cuenta con ningún tipo de intervención, y considerando el estudio hidrológico en el que se manifiesta que la zona de ubicación del ponteadero es lineal y la socavación obedece a una gran creciente del río Cravo Sur, se considera que no hay riesgo de afectación de la cimentación del estribo.

## **4. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN**

### **4.1. Elementos a intervenir**

Considerando las lesiones identificadas en el paciente y su severidad, se define la intervención de los siguientes elementos:

- Macizos de anclaje y Estribos
  - Elementos metálicos susceptibles a oxidación y corrosión y no intervenidos con el contrato 922-2015.
  - Tablero, superficie de rodadura y guardaruedas.
-

## **4.2. Planteamiento de la Intervención**

### **4.2.1. Macizos de anclaje y Estribos**

#### **- Descripción de la intervención más adecuada.**

Se resalta que mediante el contrato 0922-2015 el Invias contrata la realización de alguna obras de mantenimiento y repotenciación del puente, entre las obras de mantenimiento la limpieza de los diferentes elementos de concreto y metálicos, para el caso de este numeral se resalta el hecho de que para la fecha de presentación del presente documento, once meses después de la citada intervención los elementos en concreto ya presentan suciedad y cultivos orgánicos (musgos, plantas con tallo definido y líquenes), concluyendo que el método utilizado (chorro de agua a presión) a pesar de ser eficaz en el corto plazo, no fue suficiente en el sentido de garantizar la durabilidad del mantenimiento.

Considerando que la superficie de los macizos originales y estribos presentan oquedades (hormigueros), irregularidades en su superficie que propenden la acumulación de suciedad y con ello humedad que aportan a los procesos patológicos de cultivos orgánicos de musgos y plantas; se propone la limpieza de la superficie de concreto de los macizos originales, ampliaciones realizadas en el 2010, y estribos mediante chorro de agua fría a alta presión (mayor de 3000psi), y la posterior colocación de un revestimiento en mortero que además de tapar los orificios dejados por la toma de núcleos, permitirá dar un acabado homogéneo a la superficie del concreto; terminando con la aplicación de un recubrimiento impregnante hidrófugo protegiendo el material de la penetración del agua y retrasando la aparición de cultivos orgánicos como musgos, líquenes o plantas de tallo definido.<sup>23</sup>

Adicional a lo anterior, teniendo en cuenta que los macizos están en contacto con los taludes de la formación montañosa, y el flujo de agua subsuperficial en época de lluvias, se propone la colocación de un sistema drenante con material pétreo seleccionado (Esp INV 610.2) en la parte posterior de cada macizo, interceptando el agua y conduciéndola al sistema drenaje superficial existente.

---

<sup>23</sup> Kurt Hermann. Artículo Limpieza de superficies de concreto.  
<http://www.imcyc.com/revista/1998/febrero/lipfeb98.htm>.

---



## PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI

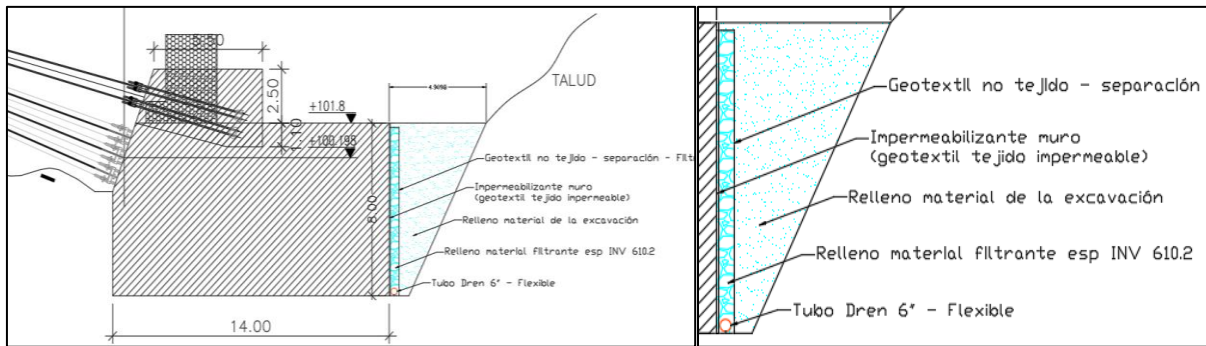


Imagen 100. Sistema drenaje con material pétreo seleccionado - escorrentía subsuperficial. Fuente: Propia.

### - Especificaciones

Sistema de drenaje escorrentía subsuperficial en macizos.

Esp INV 210.1. Excavación sin clasificar de explanaciones y canales. Aplica lo relacionado con la excavación de canales, zanjas y acequias; aplica para las actividades de excavación en los dos macizos.

Esp INV 673 – 07. Sub drenes con Geotextil y material granular; 673.1. Material granular filtrante, 673.2. Geotextil, 673.3. Material de cobertura; aplica para las actividades de colocación del material granular, geotextil, material de relleno.

Esp INV 690 – 07. Impermeabilización de estructuras; aplica para la impermeabilización de la parte posterior de los macizos, paramento en contacto con el suelo.

*Limpieza de la superficie de concreto de macizos y estribos.*

Esp. INV 801-7 – Mantenimiento rutinario de vías; aplica las actividades manuales descritas en el numeral 8.1.4.7 con el retiro de vegetación, zonas con hongos, musgo, algas, suciedad y acumulación de tierra, para el caso en los macizos; aplica lo relacionado con el retiro de los materiales de desecho producto de la limpieza y aspectos ambientales.

Se complementa con la limpieza de la superficie de concreto de los macizos y estribos con chorro de agua fría a presión (3000psi).

*Revestimiento con mortero de cemento portland.*

La actividad consiste en la homogenización de la superficie de los macizos y estribos, eliminando hormigueros, juntas frías y demás imperfecciones de la superficie del concreto que propende la acumulación de suciedad, incremento de la humedad y cultivos orgánicos.

Estando la superficie libre de suciedad, y cultivos orgánicos, polvo entre otros, se realiza la aplicación del puente de adherencia entre el concreto antiguo y el mortero nuevo; la aplicación de la lechada se puede realizar de acuerdo al procedimiento indicado por SIKa para su producto Sika Latex, anexo al presente como manual productos SIKa 2015 pagina 29; se realiza la colocación del mortero de forma convencional antes de que el puente de adherencia haya secado.

La calidad del cemento y la arena se deben ajustar a lo relacionado en la ESP INV 630.1.

La relación cemento:arena del mortero será la requerida para una impermeabilización menor 1:2,5 a 1:3, siendo un mortero de alta resistencia, se recomienda fluidez del 100 a 120%.

Realizar el curado del mortero con agua y/o antisol blanco para evitar el fisuramiento, durante un mínimo de 7 días.

*Recubrimiento con impregnante hidrófugo.*

Se recomienda la aplicación de SIKa TRANSPARENTE 10, es un producto dirigido a la protección de fachadas de la penetración del agua lluvia, pero su uso se extiende a superficies en piedra, ladrillo, mármol, concreto. La película aplicada inhibe el crecimiento de musgos, líquenes, algas, hongos entre otros, además de proteger la superficie de la acumulación de suciedad (polvo, hollín).

Realizar preparación de la superficie, debe estar limpia y homogénea, no deben haber grietas o fisuras.

La aplicación se puede realizar con pistola, fumigadora, rodillo o brocha, mínimo tres días después de lavada la superficie, y días sin lluvia; la cantidad de capas se realiza de acuerdo al resultado de impermeabilidad óptima midiendo la penetración del agua con pipetas Karsten.

Se debe considerar un tiempo entre capas de al menos 1 hora a una temperatura ambiente de 20°C.

La durabilidad del producto es de 7 a 10 años, según la ficha técnica del producto Sika.

---

Se anexa procedimiento y especificación del producto en documento Manual productos SIKA 2015, página 452.

**- Procedimiento de intervención**

*Sistema de drenaje esorrentía agua subsuperficial*

Inicialmente se deben realizar las actividades de construcción del sistema drenante con material granular en las caras posteriores de los macizos, actividades de excavación, impermeabilización, colocación del material drenante, colocación geotextil y relleno con material de la excavación.

Las diferentes actividades se deberán realizar de acuerdo a las especificaciones técnicas relacionadas en el inciso especificaciones técnicas y anexas al presente documento.

La intervención debe iniciar por la realización de la excavación, posteriormente se debe realizar la impermeabilización de la cara posterior de los macizos, continuando con las actividades de colocación del material drenante, tubo dren, geotextil y relleno con suelo de la excavación.

El material granular se coloca en una capa inicial de 2” y un ancho de 50cm, y adyacente a éste el relleno en material de excavación, en capas que garanticen una buena compactación; sobre la capa inicial de 2” se instala el tubo dren seleccionado (flexible) y continúa con la colocación del material granular y relleno de excavación; de forma paralela se instala el geotextil no tejido como separación entre el material granular y el suelo de la excavación; se continúa de la misma forma hasta llegar a la cota natural del terreno.

*Limpieza de la superficie de los macizos y estribos.*

De forma manual se debe realizar el retiro de plantas con tallo definido, musgos de mayor tamaño, acumulación de tierra en los elementos en la superficie del concreto y zonas adyacentes y que afecten los elementos propios del puente; posteriormente se debe realizar la limpieza con agua fría a presión (3000 psi), no debe quedar ningún tipo de suciedad o cultivos orgánicos, el concreto deteriorado también se retirará en esta etapa.

*Revestimiento en mortero base cemento*

A continuación y posterior 3 días de haber realizado el lavado de las superficies de concreto, se debe realizar la aplicación del puente de adherencia según el procedimiento descrito

---

en la ficha del producto Sika Latex (Sika) y paso a seguir y antes de que el puente de adherencia se seque la colocación del mortero; el curado se realizará mínimo durante 7 días.

*Recubrimiento con impregnante hidrófugo.*

La aplicación se puede realizar con pistola, fumigadora, rodillo o brocha, mínimo tres días después de lavada la superficie, y días sin lluvia; la cantidad de capas se realiza de acuerdo al resultado de impermeabilidad óptima midiendo la penetración del agua con pipetas Karsten.

Se debe considerar un tiempo entre capas de al menos 1 hora a una temperatura ambiente de 20°C.

**- Medidas preventivas**

Se deberá realizar la señalización del sitio de trabajo de acuerdo a lo dispuesto en el manual de Señalización Vial 2015 del Ministerio de Transporte.

La persona deberá contar con los Elementos de Protección Personal (EPP) requeridos para las diferentes actividades y necesidad. Para las actividades se deberá considerar el uso de casco de seguridad, gafas de seguridad, mascarilla desechable, respirador purificante, tapa oídos, guantes resistentes a productos químicos, botas plásticas, botas de seguridad.

**4.2.2. Elementos metálicos cables, vigas, columnas torres, elementos conexiones.**

En los elementos metálicos se observa lesiones como suciedad por polvo, hollín, lavado diferencia; lesión que propicia el crecimiento de organismos líquenes y musgos.

Adicionalmente se identifica elementos con indicios de oxidación y corrosión, fisuras en algunos alambres de los cables originales, pero que al haberse reforzado el puente con cables de 2 ¼” los alambres fisurados no afectan la estabilidad del puente, pero deberá eliminar la causa del deterioro para que no siga avanzando.

Resaltando que mediante el contrato 0922-2015 se realiza la limpieza y aplicación de recubrimiento en la viga de rigidez, vigas longitudinales y transversales, estando pendiente la intervención de los cables, abrazaderas, pendolones, elementos de anclaje y galápagos; se recomienda la realización de limpieza general de los elementos metálicos del puente, en especial los antes relacionados, el retiro de las partículas de óxido y la aplicación de un recubrimiento, éste último limitado a las zonas no atendidas mediante contrato 922-2015 (galápagos, pendolones, abrazaderas, elementos anclajes, cables).

---

**- Descripción de la intervención más adecuada**

Realización de limpieza de la superficie de los elementos metálicos, dejándola libre de polvo, grasas, aceite, óxido cascarilla de laminación; se adopta el método de limpieza sugerido por Sika, Chorreado con abrasivo (grallanado) seco o húmedo, limpiando hasta obtener metal blanco, grado SP5 en concordancia con lo dispuesto en la norma Americana SSPC. (se anexa documento descriptivo de la norma de CYM MATERIALES SA).

Se recomienda la aplicación de Sikaguard – 62 CO recubrimiento de dos componentes, elaboradora con base en resina epóxicas, alta resistencia química y al desgaste; debe ser aplicado sobre la superficie seca.

Como primera capa utilizar imprimante Epóxido Rojo referencia 137008 de Sika o similar.

**- Especificaciones**

La limpieza de los elementos metálicos deberá realizarse por grallanado de acuerdo a la norma Americana SSPC, grado SP5 (metal blanco).

El imprimante Epóxido de referencia 137008 de Sika de acuerdo a lo dispuesto en la especificación Invias 650.

El recubrimiento Sikaguard - 62 CO se aplica previa preparación de la superficie, y colocación del imprimante; la preparación del producto se realiza de acuerdo a lo relacionado en la hoja técnica del producto (ver manual de productos Sika 2015 pág. 306) el producto se aplica con brocha, o con rodillo, también se puede aplicar con pistola, para este último se requiere diluir un 10% en volumen con solvente epóxido, se recomienda la aplicación con pistola.

La segunda capa se aplica tan pronto haya secado al tacto la primera (2 a 3 horas a 20°C) y antes de 36 horas, de lo contrario se debe lijar la capa seca para restablecer la adherencia; el curado final se da a 7 días a temperatura ambiente de 20°C.<sup>24</sup>Ver hoja técnica del producto.

**- Procedimiento de intervención**

Inicialmente se limpia la superficie por grallanado según norma americana SSPC grado SP5, una vez la superficie libre de suciedad, grasas, aceite, orgánicos se realiza la aplicación de imprimante Epóxido de referencia 137008 de Sika y finaliza con la colocación del recubrimiento epóxido Sikaguard – 62 CO de acuerdo la hoja técnica del producto.

---

<sup>24</sup> Manual de productos edición 2015. SIKI. Sikaguard – 62 CO. Pag. 306.

---

- **Medidas preventivas.**

El personal deberá contar con afiliación a seguridad social; deberá contar con certificado de trabajo en alturas, y se deberá realizar un estricto control al uso de elementos de protección personal (EPP) y estado de los equipos para trabajo en alturas.

Se deberá realizar la señalización del sitio de trabajo de acuerdo a lo dispuesto en el manual de Señalización Vial 2015 del Ministerio de Transporte, y realizar un detallado Plan de Manejo de Tránsito considerando que las actividades se realizan en un puente ubicado sobre una vía nacional con alto tránsito vehicular.

#### **4.2.3. Tablero (superficie de rodadura) y guardaruedas.**

Teniendo en cuenta la información recopilada de los diferentes estudios realizados al paciente (puente sobre el río Cravo Sur) se tiene que la losa del tablero tiene un espesor de 17,5 cm, y en el año 1989 – 1990 se realiza un escarificado y colocación de sobrecapa de concreto de 3cm, sobrecapa que a la fecha (Noviembre de 2016) continúa prestando servicio con las lesiones y deterioro que 16 años de tránsito pesado implica.

De acuerdo a lo anterior el espesor actual de la losa de concreto es de 20,5 cm aproximadamente.

El resultado de la evaluación realizada a la superficie de rodadura arroja un índice de fisuración  $I_f=5$ , Índice de deformación  $I_d=5$ , para un índice de daño (deterioro)  $I_s= 7$  (Deficiente), resultado consecuente con el alto deterioro de la superficie de rodadura del puente.

De acuerdo a la metodología VIZIR los pavimentos calificados con un  $I_s = 5 - 7$ , son indicativos de pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes cuyo deficiente estado superficial exige la realización de trabajos importantes de rehabilitación.<sup>25</sup>

Ahora resaltando que la losa del tablero funciona como sección compuesta puesto que las vigas están conectadas a esta mediante conectores tipo pernos, haciendo que parte de la placa trabaje como viga (Ver evaluación estructural CIDECE Ingeniería, 2010) aumentando la capacidad de carga y disminuyendo las deflexiones, se recomienda mantener este espesor de losa (20,5cm) en un material de las mismas características físico-mecánicas, razón por la cual se define

---

<sup>25</sup> Evaluación y comparación de metodologías VIZIR y PCI sobre tramo de vía en pavimento flexible y rígido. Viviana G. Ceron Bermudez. Universidad Nacional de Colombia. 2006. Pág. 16.

---

como material de reparación el concreto de cemento portland resistencia mínima 5000psi (ver resultado ensayo de compresión losa de concreto – CIDECE Ingeniería. 2015).

**- Descripción de la intervención más adecuada.**

\_Retiro de la superficie de rodadura (3cm) deteriorada mediante fresado garantizando la no afectación de las capas de concreto inferiores.

\_Limpieza de la superficie mediante chorro de agua fría, y aire a presión.

\_Aplicación de puente de adherencia (Sika Latex).

\_Sobrecapa opción 1. Colocación de la sobrecapa de mortero Sikafloor Level 25 antes de que el puente de adherencia se seque; limitado a capa de 25mm máximo; Resistencia a la compresión a los 28 días 35MPa (5075psi). No considera la adición de agregados grueso. (Ver hoja técnica manual Sika 2015 pág. 423).

\_Sobrecapa opción 2. Colocación de SIKA QUICK 2500, mortero de reparación de fraguado muy rápido; Rendimiento con grava 3/8” 1400Kg/m<sup>3</sup>, Resistencia a 28 días 47 Mpa = 6815psi. La especificación permite la colocación de agregado grueso de 3/8” para espesores mayores a 1” (2,5cm).

\_Sobre capa opción 3. Colocación de concreto estructural con resistencia de 35MPa (5000 psi), haciendo uso de granulometría AG-1, tamaño máximo del agregado 3/4”, en cumplimiento de los requerimientos de la Norma INVIAS 630 – 04. Concretos estructurales.

Con el fin de disminuir el contenido de agua en la mezcla y mejorar su comportamiento físico-mecánico (menor permeabilidad, mayor resistencia, mayor durabilidad) durante la aplicación y periodo de servicio, se propone la adición de SIKAMENT – NS (Superplastificante reductor de agua de alto poder).

\_Definición intervención Sobrecapa: Considerando que la losa corresponde a un concreto estructural de 5000 psi aprox. de acuerdo a los resultados de los ensayos de compresión realizados, que la opción a escoger además de cumplir con los requerimientos de resistencia, comportamiento físico-mecánico similar a la losa existente, deberá permitir una superficie con una rugosidad mínima que garantice adherencia con las llantas de los vehículos; que el espesor de la sobre capa está limitado a 3cm para no sobrecargar la estructura dado que los índices de sobre esfuerzo en algunos elementos están al límite; se recomienda la aplicación de SIKA QUICK 2500 con agregado grueso tamaño máximo 3/8”.

\_Realización de juntas transversales y longitudinales; a las juntas existentes en la losa de concreto original se les debe dar continuidad.

\_Sellamiento de las juntas dentro de los 3 a 5 días posteriores a la colocación del concreto.

---



## - Especificaciones

### *Fresado de la superficie de rodadura*

Teniendo en cuenta que la superficie de rodadura cuenta con parcheo en pavimento asfáltico y concreto, y que el procedimiento es similar, se aplica lo relacionado en la especificación INV 460-07 Fresado de pavimento asfáltico. Se deberá ajustar el equipo a los requerimientos del concreto para los tramos con superficie en este material, garantizar superficie perfil CSP6 según el ICRI. Se anexa copia de la especificación.

### *Limpieza de la superficie de concreto de la losa*

Limpieza de la superficie de concreto de la losa con chorro de agua fría a presión (3000psi).

### *Puente de adherencia.*

Sika recomienda la imprimación del sustrato restregando el SIKA QUICK 2500 en la superficie y la aplicación de la capa antes de que este se seque.

### *Sobre capa de concreto.*

Aplicación de SIKAQUICK 2500 en el espesor determinado 3cm, aunque es posible colocar capas hasta de 15cm con agregado; superficie debe tener perfil CSP6 de acuerdo al ICRI; el mezclado, colocado y terminado no debe exceder 15 minutos; para controlar el tiempo de fraguado para climas cálido usar agua fría; realizar el curado con la colocación de costales húmedos y cubriendo con plástico; el rendimiento con agregado de 3/8” es de 1400Kg/m<sup>3</sup>. Ver hoja técnica del producto en el manual de productos Sika 2015 página 165.

### *Construcción Juntas transversales y longitudinales.*

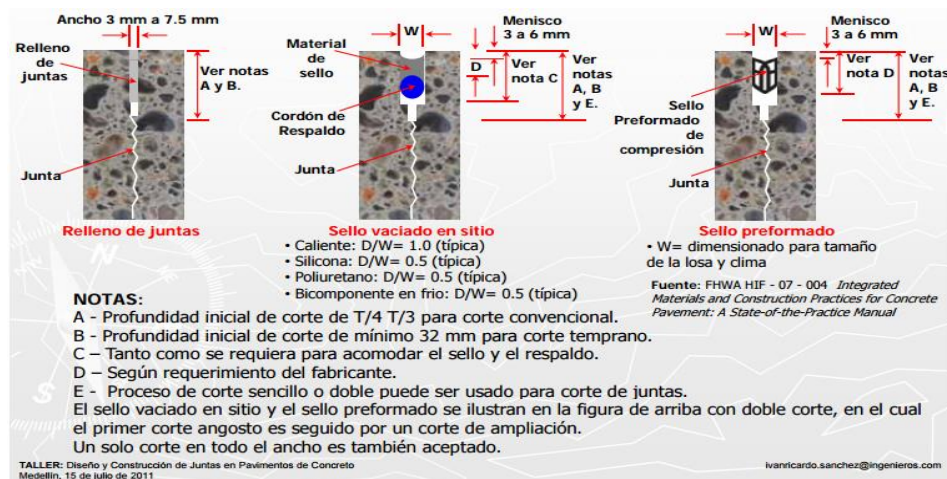


Imagen 101. Detalle juntas. Fuente: Ivan Ricardo Sanchez. Taller diseño y construcción de juntas en pavimentos de concreto. 2011.

Corte del concreto con disco diamantado con espesor mínimo de 10mm.

Separación de juntas transversales  $\leq 5.5m$ , en el rango 21 a 24D, siendo D el espesor del pavimento en cm.<sup>26</sup>

La relación largo y ancho de la modulación de las losas deberá estar dentro de los límites 0.71 a 1.4.

#### *Sellamiento Juntas Transversales y Longitudinales.*

El sellamiento de las juntas debe realizarse dentro de los 3 a 5 días posteriores a la colocación del concreto, se introduce un material elástico, impermeable, adherente a ambos bordes de la losa, y resistente.

El sello no puede sobresalir o quedar a nivel, se debe garantizar que el sellante quede 2mm por debajo de la superficie de la junta.

Para la colocación del sello utilizar pistola de calafateo.

Se recomienda Colocación de SIKAROD (espuma de poliolefina) como backer-rod (cintilla de respaldo), para un espesor de junta entre 3 y 8 mm (se programa junta de 8mm) se recomienda diámetro de SikaRod de 10mm; esfuerzo a tensión 2.45kg/cm<sup>2</sup>, rango de temperatura -7 a 90 °C. Ver hoja técnica del producto en manual de productos Sika 2015 pág. 601.

Una vez puesto el backer-rod (SikaRod) aplicar sello con masilla sobre este cuidando que esta no supere los 90°C de temperatura.

Como sello se recomienda utilizar SikaFlex AT- Connection, sellante con base en polímeros silano terminados, especial para juntas de movimiento. Capacidad de movimiento 25%, buena adherencia en sustratos porosos y no porosos; secado al tacto 60 minutos; espesor mínimo de junta 10mm, y máx. 35mm (se programa junta de 8mm); resistencia al desgarro 4.5 MPa; elongación en la rotura 450%, recuperación elástica mayor al 70%; el sustrato debe estar seco. Ver hoja técnica del producto en manual SIKA 2015 pág. 564.

#### **- Procedimiento**

Realización del escarificado del concreto en 3cm mediante fresadora, realización de limpieza de la superficie mediante chorro de agua a presión, imprimación de la superficie del

---

<sup>26</sup> Alfonso Montejó Fonseca, Francy Montejó Piratova, Alejandro Montejó Piratova. Tecnología y Patología del Concreto Armado. Universidad Católica de Colombia. 2013. Pág. 354.

---

concreto, colocación de la sobrecapa de concreto de espesor 3cm, realización del curado durante 7 días mínimo.

- **Medidas preventivas.**

El personal deberá contar con afiliación a seguridad social; se deberá realizar un estricto control al uso de elementos de protección personal (EPP).

Se deberá realizar la señalización del sitio de trabajo de acuerdo a lo dispuesto en el manual de Señalización Vial 2015 del Ministerio de Transporte, y realizar un detallado Plan de Manejo de Tránsito considerando que las actividades se realizan en un puente ubicado sobre una vía nacional con alto tránsito vehicular.

---

**PROGRAMA ESP. PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

**5. PRESUPUESTO**

| UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS                               |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
| YOPAL - CASANARE                                      |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
| PRESUPUESTO DE OBRA-MANTENIMIENTO PUENTE LA CABUYA    |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
| PUENTE LA CABUYA - RIO CRAVO SUR - YOPAL              |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
| FECHA:                                                | Noviembre de 2016                |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
| INFORMACIÓN GENERAL                                   |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
| No.                                                   | VIA                              |                                  | CODIGO                                                                                                                                                                                                                     | LONGITUD TOTAL VÍA (KM) | LONGITUD NETA (Tramos a Intervenir) (KM) | DESCRIPCIÓN PR0+00        |                   |
| 1                                                     | CARRETERA YOPAL - PAZ DE ARIPORO |                                  | 6513                                                                                                                                                                                                                       | 100                     | 100,00                                   | PR02+300                  |                   |
| DESCRIPCION GENERAL DE LAS METAS FISICAS              |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
| No.                                                   | VIA                              |                                  | GENERALIDADES METAS FISICAS A EJECUTAR                                                                                                                                                                                     |                         |                                          |                           |                   |
| 1                                                     | CARRETERA YOPAL - PAZ DE ARIPORO |                                  | - Mejoramiento y Mantenimiento macizos de anclaje y Estribos<br>- Mantenimiento elementos metálicos susceptibles a oxidación y corrosión<br>- Mejoramiento y Mantenimiento tablero, superficie de rodadura y guardaruedas. |                         |                                          |                           |                   |
| 1 - VIA:                                              |                                  | CARRETERA YOPAL - PAZ DE ARIPORO |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
| OBRAS DE MANTENIMIENTO REQUERIDAS                     |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
| Codigo CUBS                                           | Esp.                             | ITEM                             | DESCRIPCION                                                                                                                                                                                                                | UNIDAD (u)              | CANTIDAD Aproximada                      | VR UNITARIO de Referencia | VR PARCIAL        |
|                                                       |                                  | 1                                | Mejoramiento y Mantenimiento macizos de anclaje y Estribos                                                                                                                                                                 | u                       | 1,00                                     | \$ 189.427.892,00         | \$ 189.427.892,00 |
|                                                       | 210                              | 210,1                            | Excavacion sin clasificar de explanaciones y canales                                                                                                                                                                       | m3                      | 760,00                                   | \$ 10.465,00              | \$ 7.953.400,00   |
|                                                       | 673                              | 673.1                            | Material granular filtrante                                                                                                                                                                                                | m3                      | 136,00                                   | \$ 135.167,00             | \$ 18.382.712,00  |
|                                                       | 673                              | 673.2                            | Geotextil                                                                                                                                                                                                                  | m2                      | 510,00                                   | \$ 7.174,00               | \$ 3.658.740,00   |
|                                                       | 673                              | 673.3                            | Material de cobertura                                                                                                                                                                                                      | m3                      | 1.080,00                                 | \$ 135.046,00             | \$ 145.849.680,00 |
|                                                       | 690                              | 690.1                            | Impermeabilización de estructuras                                                                                                                                                                                          | und                     | 240,00                                   | \$ 24.814,00              | \$ 5.955.360,00   |
|                                                       | 801P                             | 801,8P                           | Limpieza con chorro de agua a presión 3000 psi                                                                                                                                                                             | m2                      | 1.000,00                                 | \$ 7.628,00               | \$ 7.628.000,00   |
|                                                       | 630P                             | 630.1P                           | Mortero 1:3                                                                                                                                                                                                                | m3                      | 30,00                                    | \$ 459.207,00             | \$ 13.776.210,00  |
|                                                       | 1P                               | 1.1P                             | Recubrimiento con impregnante hidrofugo Sika Transparente 10.                                                                                                                                                              | m2                      | 1.000,00                                 | \$ 13.833,00              | \$ 13.833.000,00  |
|                                                       |                                  | 2                                | Mantenimiento elementos metálicos susceptibles a oxidación y corrosión                                                                                                                                                     | u                       | 1,00                                     | \$ 8.194.225,00           | \$ 8.194.225,00   |
|                                                       | 2P                               | 2.1P                             | Grallanado                                                                                                                                                                                                                 | m2                      | 65,00                                    | \$ 7.965,00               | \$ 517.725,00     |
|                                                       | 3P                               | 3.1P                             | Recubrimiento SikaGuard - 62 CO, incluye imprimación                                                                                                                                                                       | m2                      | 65,00                                    | \$ 118.100,00             | \$ 7.676.500,00   |
|                                                       |                                  | 3                                | Mejoramiento y Mantenimiento tablero, superficie de rodadura y guardaruedas.                                                                                                                                               | u                       | 1,00                                     | \$ 98.611.616,00          | \$ 98.611.616,00  |
|                                                       | 460                              | 460.1                            | Fresado de pavimento concreto                                                                                                                                                                                              | m2                      | 800,00                                   | \$ 2.837,00               | \$ 2.269.600,00   |
|                                                       | 801P                             | 801,8P                           | Limpieza con chorro de agua a presión 3000 psi                                                                                                                                                                             | m2                      | 800,00                                   | \$ 7.628,00               | \$ 6.102.400,00   |
|                                                       | 500P                             | 500.1P                           | Concreto SikaQuick 2500- Agregado 3/8". Incluye imprimación con el mismo producto, corte y sello de                                                                                                                        | m3                      | 24,00                                    | \$ 3.759.984,00           | \$ 90.239.616,00  |
|                                                       |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           | \$ -              |
| SUBTOTAL                                              |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           | 296.233.733,00    |
| OBRAS DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL Y/O COMPLEMENTARIAS   |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           | 14.811.686,65     |
| VALOR TOTAL (COSTO DIRECTO + INDIRECTO)               |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           |                   |
| VALOR TOTAL DEL PROYECTO                              |                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                            |                         |                                          |                           | 311.045.419,65    |

**PROGRAMA ESP. PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – TPI**

## 6. PROGRAMA DE OBRA.

[illegible]

## **7. CONCLUSIONES**

Se identifican las siguientes lesiones: Suciedad, organismos, pérdida de recubrimiento en los elementos metálicos, fisuramiento en la superficie de rodadura del tablero, parcheos, núcleos no recubiertos, eflorescencias en los estribos y macizo, fisuras en los alambres de algunos cables, juntas frías y hormigueros, y socavación.

Se considera las intervenciones realizadas mediante el contrato 0922 de 2015, y se programa la intervención de los elementos de concreto macizos de anclaje, estribos con actividades de limpieza, recubrimiento, impermeabilización y abatimiento del nivel freático; Intervención de los elementos metálicos (galapagos, pendolones, abrazaderas, elementos de anclaje, cables) con actividades de limpieza de la superficie con grallanado, aplicación de capa imprimante, aplicación de recubrimiento; Mejoramiento de la superficie de rodadura del puente con el retiro de la superficie de rodadura existente en espesor de 3cm, limpieza mediante chorro de agua fría y aire a presión, aplicación de puente de adherencia, colocación de sobrecapa de 3cm con SIKA QUICK 2500, realización de juntas y su sellamiento.

Se obtiene un costo para la ejecución de las actividades programadas de \$311.045.419,65; se resalta el costo de las actividades de abatimiento del nivel freático cuyo movimiento de tierras suma 145 millones aprox, y el costo del mejoramiento de la superficie de rodadura con un valor de 99 millones aprox.

Las ejecución de la actividades requiere un plazo mínimo de dos meses.

---

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

República de Colombia, Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2014). Norma Colombiana de diseño de puentes – LRFD – CCP14: Prefacio, 2-3.

Instituto Nacional de Vías, Territorial Casanare., Consorcio IPV. (2015). Levantamiento topográfico.

Alcaldía Municipal de Yopal, Secretaria de planeación municipal, Unión Temporal Visión Yopal. Mayo 2007. Agenda Ambiental: Climatología, 19.

Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías. Volúmenes de tránsito y costos de operación 2012-2013: Volúmenes de tránsito Territorial Casanare, estaciones 931 y 932.

Alcaldía Municipal de Yopal, Secretaria de planeación municipal, Unión Temporal Visión Yopal. Mayo 2007. Agenda Ambiental: Geomorfología, 9-11.

Saúl H. Millán G. Enero de 2016. Entrevista intervenciones realizadas al puente La Cabuya.

Mamut de Colombia S.A., FABIAN E. ARIAS. R. 2006. Revisión puente metálico para carga especial ruta Yopal-Rio Cravo Sur-El Morro , puente La Cabuya sobre el Río Cravo Sur.

Instituto Nacional de Vías, Consorcio Puentes La Cabuya 2015, Contrato de interventoría 1178-2015. Informe final de interventoría, antecedentes, 7-8.

Instituto Nacional de Vías, Consorcio IPV. 2015. Diagnostico estructural contrato 922-2015.

CIDEC INGENIERÍA LTDA, Javier Orlando Morales Londoño. Informe técnico. Septiembre de 2010.

CONSORCIO IPV. Jorge Enrique Molina Rojas. 2015. Informe diagnostico estructural contrato 0922 “Rehabilitación y conservación del puente Cravo Sur (LA Cabuya) en la carretera Yopal - Paz de Ariporo”.

Luis Fernando Orozco Rojas. Estudio de suelos y análisis de cimentación puente río Cravo Sur – Paz de Ariporo. Diciembre de 2010.

Kurt Hermann. Artículo Limpieza de superficies de concreto. <http://www.imcyc.com/revista/1998/febrero/lipfeb98.htm>.

Manual de productos edición 2015. SIKA. Sikaguard – 62 CO. Pag. 306.

---

Evaluación y comparación de metodologías VIZIR y PCI sobre tramo de vía en pavimento flexible y rígido. Viviana G. Ceron Bermudez. Universidad Nacional de Colombia. 2006. Pág. 16.

Alfonso Montejo Fonseca, Francy Montejo Piratova, Alejandro Montejo Piratova. Tecnología y Patología del Concreto Armado. Universidad Católica de Colombia. 2013. Pág. 354.