



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y GESTIÓN
DEL RIESGO

ESTUDIO DE CASO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN
ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y GESTIÓN DEL RIESGO

TEMA:

“ESTUDIO DEL GRADO DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL
DE LOS PUENTES DE LA VÍA VINCHOA Y SANTA FE DE LA CIUDAD DE
GUARANDA ANTE LA AMENAZA SÍSMICA. PERÍODO NOVIEMBRE 2022
– FEBRERO 2023”

AUTORES:

EDISON BLADIMIR AGUALONGO AGUALONGO

ALEXANDRA BEATRIZ GUAMÁN CHASI

DIRECTOR DE TITULACIÓN

ING. GINO NOBOA

GUARANDA – ECUADOR

2023

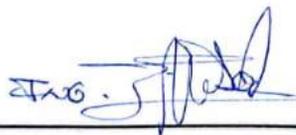
Guaranda, 19 de junio de 2023

El suscrito Ingeniero Gino Noboa Flores, en calidad de **TUTOR DEL ESTUDIO DE CASO**, docente de la Universidad Estatal De Bolívar.

CERTIFICA

Que el Sr. Edison Bladimir Agualongo Agualongo, portador de la cedula de ciudadanía N°.0202085023, y la Srta. Alexandra Baeatriz Guamán Chasi, portadora de la de cédula de ciudadanía N°. 0202416723, estudiantes de la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO, culminados en la Carrera en Administración para Desastres y Gestión del Riesgo, modalidad presencial, una vez revisado el documento "ESTUDIO DEL GRADO DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES DE LA VÍA VINCHOA Y SANTA FE DE LA CIUDAD DE GUARANDA ANTE LA AMENAZA SÍSMICA. PERÍODO NOVIEMBRE 2022 – FEBRERO 2023", pueden proceder a realizar el proceso del empaste de su estudio de caso.

Atentamente,



Ing. Gino Noboa Flores
Tutor del Estudio de caso.

DERECHOS DE AUTOR

Yo/nosotros **AGUALONGO AGUALONGO EDISON BLADIMIR** y **GUAMÁN CHASI ALEXANDRA BEATRIZ** portador/res de la Cédula de Identidad No **0202085023** y **0202416723** en calidad de autor/res y titular / es de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: **"ESTUDIO DEL GRADO DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES DE LA VÍA VINCHOA Y SANTA FE DE LA CIUDAD DE GUARANDA ANTE LA AMENAZA SÍSMICA. PERÍODO NOVIEMBRE 2022 – FEBRERO 2023"**, modalidad Presencial, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El (los) autor (es) declara (n) que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.



Edison Bladimir Agualongo Agualongo



Alexandra Beatriz Guamán Chasi

**CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO
INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR.**

Guaranda, 22 de abril de 2023.

El suscrito Ingeniero Civil Gino Alonso Noboa Flores, Director del Estudio de Caso de Pre – Grado de la carrera de Administración para Desastres y Gestión del Riesgo de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el estudio de caso titulado: “ESTUDIO DEL GRADO DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES DE LA VÍA VINCHOA Y SANTA FE DE LA CIUDAD DE GUARANDA ANTE LA AMENAZA SÍSMICA. PERIODO NOVIEMBRE 2022 – FEBRERO 2023”; realizado por los señores: Edison Bladimir Agualongo Agualongo y Alexandra Beatriz Guamán Chasi ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo con el reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad, facultando a los interesados dar al presente documento el uso legal que estimen conveniente.



ING. GINO NOBOA FLORES

DIRECTOR DEL ESTUDIO DE CASO DE PRE-GRADO|

TÍTULO O TEMA:

“ESTUDIO DEL GRADO DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS
PUENTES DE LA VÍA VINCHOA Y SANTA FE DE LA CIUDAD DE GUARANDA
ANTE LA AMENAZA SÍSMICA. PERÍODO NOVIEMBRE 2022 – FEBRERO 2023”

Índice

| | |
|--|-------|
| TÍTULO O TEMA: | v |
| DEDICATORIA | xx |
| AGRADECIMIENTO | xxi |
| RESUMEN EJECUTIVO | xxii |
| ABSTRACT | xxiii |
| INTRODUCCIÓN | xxiv |
| CAPÍTULO I..... | 26 |
| 1.1 EL PROBLEMA | 26 |
| 1.2 Planteamiento del Problema..... | 26 |
| 1.3 ¿Formulación del Problema?..... | 27 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 27 |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL: | 27 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:..... | 27 |
| 1.5 Justificación de la Investigación..... | 28 |
| 1.6 Limitaciones | 30 |
| 2 CAPÍTULO II..... | 31 |
| 2.1 MARCO TEORICO | 31 |
| 2.2 Marco Referencial..... | 31 |
| 2.3 Localización del Área de Estudio..... | 31 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.4 | Limites..... | 31 |
| 2.5 | Población: | 31 |
| 2.6 | Relieve:..... | 31 |
| 2.7 | Geología: | 32 |
| 2.8 | Sistema Vial del Cantón Guaranda | 32 |
| 2.9 | Puente de la Vía Vinchoa | 33 |
| 2.10 | Puente de la Vía Santa Fe..... | 34 |
| 2.11 | Antecedentes de la Investigación | 34 |
| 2.12 | Bases teóricas | 37 |
| 2.12.1 | Amenaza sísmica..... | 37 |
| 2.12.2 | Tipos de amenaza sísmica..... | 38 |
| 2.12.3 | Tectónica..... | 38 |
| 2.12.4 | Formación de nueva corteza:..... | 38 |
| 2.12.5 | Roce entre placas:..... | 38 |
| 2.12.6 | Choques entre placas: | 38 |
| 2.12.7 | Choque de dos placas oceánicas:..... | 38 |
| 2.12.8 | Intensidad..... | 39 |
| 2.12.9 | Magnitud..... | 40 |
| 2.12.10 | Geológico..... | 41 |
| 2.12.11 | Tipo de fallas..... | 41 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.12.12 | Fallas inversas | 41 |
| 2.12.13 | Falla Transversal | 42 |
| 2.12.14 | Vulnerabilidad | 43 |
| 2.12.15 | Vulnerabilidad estructural | 43 |
| 2.12.16 | Vulnerabilidad sísmica | 44 |
| 2.12.17 | Dimensiones de la vulnerabilidad | 45 |
| 2.12.18 | Estudio para la evaluación de la vulnerabilidad estructural | 45 |
| 2.12.19 | ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE. .. | 46 |
| 2.12.20 | Puente. | 46 |
| 2.12.21 | Subestructura. | 46 |
| 2.12.22 | Superestructura. | 46 |
| 2.12.23 | Juntas de expansión. | 47 |
| | Estribos. 48 | |
| 2.12.24 | Pilas. | 48 |
| 2.12.25 | Cimentación..... | 48 |
| 2.12.26 | Tipos de Cimientos..... | 48 |
| 2.12.27 | Apoyos..... | 50 |
| 2.12.28 | Trabes. | 50 |
| 2.12.29 | Envejecimiento del hormigón. | 51 |
| 2.12.30 | Resistencia del hormigón. | 51 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.12.31 | Modos de vibración de Puentes..... | 52 |
| 2.12.32 | Método para la Evaluación de Vulnerabilidad Ante Fenómenos Sísmicos..... | 54 |
| 2.12.33 | CSiBridge..... | 55 |
| 2.12.34 | Esclerómetro..... | 55 |
| 2.13 | MARCO LEGAL | 56 |
| 2.14 | GLOSARIO DE TÉRMINOS | 59 |
| 2.15 | SISTEMAS DE VARIABLES | 61 |
| 2.15.1 | Variable Independiente..... | 61 |
| 2.15.2 | Variable Dependiente | 61 |
| 2.16 | Operacionalización de Variables..... | 62 |
| 3 | CAPÍTULO III..... | 67 |
| 3.1 | MARCO METODOLÓGICO | 67 |
| 3.2 | Nivel de Investigación..... | 67 |
| 3.3 | Tipo de Investigación | 76 |
| 3.4 | Diseño de la Investigación | 77 |
| 3.5 | Población y Muestra..... | 77 |
| 3.6 | Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos..... | 77 |
| 4 | CAPITULO IV | 80 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.1 | RESULTADOS O LOGROS ALCANZADOS SEGÚN LOS OBJETIVOS 80 | |
| 4.1.1 | Resultado del objetivo 1 | 80 |
| 4.1.2 | Resultado del objetivo 2 | 92 |
| 4.1.3 | VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO POR MEDIO DEL ESCLEROMETRO..... | 101 |
| 4.1.4 | Modelamiento para el Análisis Estructural del Puente de la Vía Santa Fe | 103 |
| 4.1.5 | Alcance del análisis estructural. | 103 |
| 4.1.6 | Definición de materiales..... | 105 |
| 4.1.7 | Geometría de la estructura el puente | 107 |
| 4.1.8 | Definición de secciones..... | 110 |
| 4.1.9 | Definición de tablero del puente | 113 |
| 4.1.10 | Definición de guías y carriles del puente | 115 |
| 4.1.11 | Definición y asignación de cargas en el modelo | 121 |
| 4.1.12 | Cargas vehiculares..... | 123 |
| 4.1.13 | Cargas sísmicas | 125 |
| 4.1.14 | Definición de patrones y casos de carga..... | 126 |
| 4.1.15 | Visualización de cargas | 128 |
| 4.1.16 | Condiciones de apoyo | 129 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.1.17 | Resultados del análisis del modelo..... | 130 |
| 4.1.18 | Resultados por cargas permanentes..... | 130 |
| 4.1.19 | Resultados por estado de límite de resistencia | 131 |
| 4.1.20 | Esfuerzos en el tablero del puente..... | 132 |
| 4.1.21 | Resultados por fuerzas sísmicas | 133 |
| 4.1.22 | Cálculo de factor de resistencia..... | 134 |
| 4.1.23 | Deflexiones del tablero..... | 140 |
| 4.1.24 | Desempeño sísmico..... | 141 |
| 4.1.25 | Simulación de tráfico..... | 142 |
| 4.2 | Resultado del Objetivo 3 | 145 |
| 4.2.1 | Proponer medidas de prevención para el mantenimiento de los puentes de la Vía Vinchoa y Santa Fe ante el riesgo sísmico. | 145 |
| 4.2.2 | Mantenimiento Preventivo. – consiste en reparaciones menores que ayudan a prevenir daños, estas acciones son: | 145 |
| 4.2.3 | Reforzamiento con postensado externo..... | 147 |
| 4.2.4 | Reforzamiento con encamisado..... | 147 |
| 4.2.5 | Reforzamiento con láminas de fibra de carbono | 148 |
| 4.2.6 | Reforzamiento con subestructura adicional..... | 149 |
| 5 | CAPÍTULO V..... | 151 |
| 5.1 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 151 |

| | | |
|-----|-----------------------|-----|
| 5.2 | Conclusiones | 151 |
| 5.3 | Recomendaciones | 153 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA | 154 |
| 7 | ANEXOS | 160 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Mapa de Localización de la zona de estudio | 32 |
| Figura 2. Localización del Puente de la Vía Vinchoa..... | 33 |
| Figura 3. Localización del Puente de la Vía Santa Fe..... | 34 |
| Figura 4. Falla Normal | 41 |
| Figura 5. Falla Inversa..... | 42 |
| Figura 6. Falla Transversal..... | 42 |
| Figura 7. Esquema de Vulnerabilidad Estructural | 44 |
| Figura 8. Juntas de Expansión..... | 47 |
| Figura 9. Apoyos..... | 50 |
| Figura 10. Trabes | 50 |
| Figura 11. Modos de Vibración de los Puentes..... | 54 |
| Figura 12. Descripción del Esclerómetro..... | 55 |
| Figura 13. Identificación del Puente de la Vía Vinchoa. | 80 |
| Figura 14. Estribos. | 81 |
| Figura 15. Identificación del Puente de la vía Santa Fe..... | 84 |
| Figura 16. Identificación de los Elementos Estructurales del puente de la vía Santa Fe..... | 85 |
| Figura 17. Portada del software CSiBridge versión 24..... | 104 |
| Figura 18. Definición del modelo en blanco..... | 104 |
| Figura 19. Definición del material hormigón..... | 106 |
| Figura 20. Definición del material acero de refuerzo. | 107 |
| Figura 21. Planta del Puente de la vía Santa Fe. | 108 |

| | |
|---|-----|
| Figura 22. Elevación del Puente de la vía Santa Fe. | 108 |
| Figura 23. Esquema alámbrico del puente. | 109 |
| Figura 24. Geometría de la subestructura del puente. | 109 |
| Figura 25. Definición de sección de hormigón armado. | 110 |
| Figura 26. Configuración de sección no prismática. | 111 |
| Figura 27. Ejemplo de definición de armadura en elementos estructural. | 111 |
| Figura 28. Asignación de sección y punto de inserción. | 112 |
| Figura 29. Asignación de empotramiento perfecto en nodos de apoyo. ... | 112 |
| Figura 30. Asignación de empotramiento perfecto en nodos de apoyo. ... | 113 |
| Figura 31. Dimensiones del tablero del puente. | 113 |
| Figura 32. Módulo de definición del tablero. | 114 |
| Figura 33. Datos ingresados para la definición del tablero. | 115 |
| Figura 34. Definición del eje central del puente. | 116 |
| Figura 35. Definición del carril derecho. | 117 |
| Figura 36. Definición del carril izquierdo. | 117 |
| Figura 37. Discretización de tablero del puente. | 118 |
| Figura 38. Especificación de apoyos libres en los extremos del tablero. .. | 118 |
| Figura 39. Actualización del modelo. | 119 |
| Figura 40. Representación tridimensional del modelo. | 120 |
| Figura 41. Los nodos coinciden perfectamente en el modelo. | 120 |
| Figura 42. Visualización del puente con sus respectivos carriles. | 121 |
| Figura 43. Definición de carga lineal de barrera izquierda. | 122 |
| Figura 44. Definición de la carga de la carpeta asfáltica. | 123 |

| | |
|--|-----|
| Figura 45. Camión de diseño HL – 93K. | 124 |
| Figura 46. Importación de camiones de diseño al modelo..... | 124 |
| Figura 47. Mapa de amenaza sísmica en el cantón Guaranda..... | 125 |
| Figura 48. Importación de camiones de diseño al modelo..... | 126 |
| Figura 49. Definición de patrones y casos de carga..... | 127 |
| Figura 50. Definición de estado de resistencia límite. | 128 |
| Figura 51. Carga de carpeta asfáltica y carga de baranda en el modelo. . | 129 |
| Figura 52. Condiciones de apoyo..... | 129 |
| Figura 53. Compilación del modelo computacional. | 130 |
| Figura 54. Deformaciones por cargas muertas permanentes. | 131 |
| Figura 55. Envolventes de deflexiones verticales, de momentos para el estado de resistencia y diagrama de cortante para el estado de resistencia límite. | 132 |
| Figura 56. Esfuerzos en las fibras superiores e inferiores del tablero (kgf/cm ²)..... | 133 |
| Figura 57. Deformaciones debido a carga sísmica en dirección longitudinal y deformaciones debido a cargas sísmicas en dirección transversal del puente. . | 134 |
| Figura 58. Valores obtenidos del momento para el estado límite de resistencia..... | 136 |
| Figura 59. Niveles de desempeño para estructuras sismorresistentes..... | 142 |
| Figura 60. Parámetros para la simulación de tráfico..... | 143 |
| Figura 61. Simulación de tráfico..... | 143 |
| Figura 62. Mantenimiento preventivo..... | 146 |

| | |
|--|-----|
| Figura 63. Postensado externo. | 147 |
| Figura 64. Encamisado de hormigón armado en pilares de un puente..... | 148 |
| Figura 65. Encamisado de placas metálicas en vigas de un puente. | 148 |
| Figura 66. Reforzamiento de elementos estructurales de un puente con CFRP. | 149 |
| Figura 67. Subestructura metálica anclada a estructura de hormigón..... | 149 |
| Figura 68. Celosía metálica implementada bajo el tablero de puente de hormigón armado. | 150 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Parámetros Escala Mercalli..... | 39 |
| Tabla 2. Parámetros Escala de Richter..... | 40 |
| Tabla 3. Descripción de los Tipos de cimientos. | 48 |
| Tabla 4.Descripción de la Variable Independiente. | 62 |
| Tabla 5. Descripción de la Variable Dependiente..... | 64 |
| Tabla 6. Ficha Técnica SIPUMEX..... | 68 |
| Tabla 7. Parámetro 1. Categoría “Año de Construcción”. | 70 |
| Tabla 8. Parámetro 2 Categorías "Irregularidad en la Subestructura". | 70 |
| Tabla 9. Parámetro 3 " Irregularidad en la Superestructura". | 70 |
| Tabla 10. Parámetro 4. Categorías "Cimentación". | 71 |
| Tabla 11. Parámetro 5. Categorías "Importancia del Puente"..... | 71 |
| Tabla 12. Importancia del Puente..... | 71 |
| Tabla 13. Parámetro 6. Categorías "Peligrosidad Sísmica" | 72 |
| Tabla 14. Parámetro 7. Categorías "Juntas de Expansión" | 72 |
| Tabla 15. Parámetro 8. Categorías "Estribos"..... | 72 |
| Tabla 16. Parámetro 9. Categorías "Pilas" | 73 |
| Tabla 17. Parámetro 10 Categorías "Apoyos" | 74 |
| Tabla 18. Categoría "Trabes"..... | 74 |
| Tabla 19. Categoría "Estado de Conservación" | 75 |
| Tabla 20. Indicador de Vulnerabilidad..... | 76 |
| Tabla 21. Indicadores de vulnerabilidad..... | 78 |
| Tabla 22. Indicadores de Vulnerabilidad..... | 95 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 23. Muestras del Esclerómetro – Puente vía Vinchoa. | 96 |
| Tabla 24. Indicadores de Vulnerabilidad | 100 |
| Tabla 25. Muestras del Esclerómetro – Puente vía Santa Fe. | 101 |
| Tabla 26. Propiedades mecánicas de los materiales..... | 105 |
| Tabla 27. Cargas gravitacionales para el modelo del puente. | 121 |
| Tabla 28. Factores de mayoración de carga por el método de LRFD..... | 127 |
| Tabla 29. Resumen de factores de resistencia para momento y cortante. | 137 |
| Tabla 30. Límites permisibles deflexiones en vanos del puente. | 140 |
| Tabla 31. Evaluación del factor de resistencia..... | 140 |
| Tabla 32. Desplazamiento sísmico..... | 141 |

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|---|-----|
| Fotografía N° 1. Juntas de Expansión – Puente vía Vinchoa..... | 81 |
| Fotografía N° 2. Pilas – Puente vía Vinchoa. | 82 |
| Fotografía N° 3. Apoyos – Puente vía Vinchoa..... | 82 |
| Fotografía N° 4. Trabes – Puente vía Vinchoa. | 83 |
| Fotografía N° 5. Superestructura – Puente vía Vinchoa. | 83 |
| Fotografía N° 6. Cimentación – Puente vía Santa Fe. | 85 |
| Fotografía N° 7. Estribos – Puente vía Santa Fe..... | 87 |
| Fotografía N° 8. Pilas – Puente vía Santa Fe. | 88 |
| Fotografía N° 9. Apoyos – Puente vía Santa Fe. | 89 |
| Fotografía N° 10. Juntas de Expansión – Puente vía Santa Fe. | 90 |
| Fotografía N° 11. Subestructura – Puente vía Santa Fe..... | 91 |
| Fotografía N° 12. Superestructura – Puente vía Santa Fe..... | 92 |
| Fotografía N° 13. Vehículos pesados transitando por los carriles del puente. | 103 |

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Este logro se lo dedico a mi padre Justo Agualongo, que está en el cielo por ser el principal promotor de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me inculco, aunque no estás conmigo físicamente siento tu presencia siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. A mi madre Fanny Agualongo, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A mis hermanas/os quienes me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A mis amigos/as que gracias a su apoyo moral me permitieron permanecer con empeño, dedicación y cariño, a todos quienes contribuyeron para culminar con éxito la meta propuesta.

Edison Bladimir Agualongo Agualongo

El presente estudio de caso dedico primeramente a Dios y la Virgencita Natividad del Guayco por la vida, salud, sabiduría e inteligencia que me han brindado durante este proceso.

A mi madre María Hortencia Chasi por su apoyo moral y económico que me ha proporcionado para poder culminar mi carrera con éxito, por enseñarme hacer una mujer luchadora, trabajadora y perseverante ya que con su ejemplo de humildad y sencillez me ha demostrado que con esfuerzo y trabajo se puede alcanzar cada una de las metas propuestas.

A mis hermanas y sobrinos por ser parte de mi vida, por ser mi inspiración, mi fortaleza para seguir luchando y así lograr uno más de mis objetivos.

Alexandra Beatriz Guamán Chasi

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, por ser el apoyo y fortaleza en los momentos de dificultad y debilidad, a mi familia por ser el pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente pese a las adversidades y dificultades que se presentaron.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Estatal de Bolívar por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años. Doy gracias a mis pares académicos en especial a mi tutor de tesis Ing. Gino Noboa quien con su amplia experiencia y conocimiento me orientaron al correcto desarrollo de la investigación y formar parte de otro objetivo alcanzado.

Y por último a todas las personas que me acompañaron en esta etapa, en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos aportando con un granito de arena a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Edison Bladimir Agualongo Agualongo

Concluyendo con esta etapa de mi vida agradezco a Dios por la vida y salud que me brinda día tras día , a mi familia por el apoyo brindado en este proceso, a mis amigos /as por la paciencia y la amistad incondicional brindada durante todo este tiempo que compartí con ellos, a la UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR que me abrió sus puertas para cumplir una más de mis metas y a todos los docentes quienes con paciencia y sabiduría compartieron sus conocimientos conmigo ya que gracias a ellos he logrado cumplir esta meta.

A mi tutor del estudio de caso Ing. Gino Noboa Flores, por su paciencia, su valiosa guía y asesoramiento durante este proceso para poder culminar satisfactoriamente este trabajo.

Alexandra Beatriz Guamán Chasi

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio de caso tiene como finalidad identificar la vulnerabilidad estructural de los puentes de la vía a Vinchoa y Santa Fe de la ciudad de Guaranda ante la amenaza sísmica, los puentes son estructuras de vital importancia para el desarrollo social y económico y no están exentos de sufrir daños a causa de factores como: ambientales, naturales y antrópicos.

El estudio es de tipo descriptivo, transversal, no experimental y de campo; la metodología utilizada posee un enfoque mixto cuali – cuantitativo. Las técnicas aplicadas fueron: fichas de observación obtenidas de la metodología Sistema de puentes de México (SIPUMEX) que nos permitió visualizar cada uno de los elementos de las estructuras de los puentes, ensayos con el esclerómetro, el programa ARCGIS para la elaboración de mapas para la identificación de la zona de estudio y el software CSI Bridge para realizar el modelamiento.

De los resultados obtenidos de la evaluación del análisis del estado actual de los elementos estructurales de los puentes y la categorización del índice de vulnerabilidad a través de los parámetros de la metodología SIPUMEX nos permitió evaluar la vulnerabilidad estructural de los puentes tomando en cuenta 12 parámetros importantes para la determinación del grado de vulnerabilidad de puentes ante un evento sísmico, cada parámetro recibe una calificación entre “0” y “5” dependiendo de su fragilidad, obtenida mediante una inspección visual y un análisis técnico, se efectuó un modelamiento del puente con mayor índice de vulnerabilidad en este caso el puente de la vía Santa Fe, el cual nos muestra que el puente presenta varias patologías físicas ya que los materiales han llegado a la fatiga y deterioro.

Finalmente se planteó algunas medidas de prevención para el mantenimiento de los puentes, que garantice el funcionamiento correcto dentro de los parámetros normativos vigentes.

Palabras claves: Vulnerabilidad estructural, Amenaza sísmica, SIPUMEX, Modelamiento, Medidas de prevención, Parámetros normativos vigentes.

ABSTRACT

The purpose of this case study is to identify the structural vulnerability of the bridges on the way to Vinchoa and Santa Fe in the city of Guaranda to the seismic threat, bridges are vital structures for social and economic development and are not exempt from damage due to factors such as environmental, natural and anthropic.

The study is descriptive, cross-sectional, non-experimental and field-based; the methodology used has a qualitative - quantitative mixed approach. The techniques applied were: observation sheets obtained from the Mexico Bridge System methodology (SIPUMEX) that allowed us to visualize each of the elements of the structures of the bridges, tests with the sclerometer, the ARCGIS program for the preparation of maps for the identification of the study area and the CSI Bridge software to perform the modeling. From the results obtained from the assessment of the current state of the structural elements of the bridges and the categorization of the vulnerability index through the parameters of the SIPUMEX methodology allowed us to evaluate the structural vulnerability of the bridges taken into account 12 important parameters for determining the degree of vulnerability of bridges to a seismic event, each parameter receives a rating between "0" and "5" depending on its fragility, obtained through a visual inspection and technical analysis, a modeling of the bridge was carried out with a higher vulnerability index in this case the bridge of the Via Santa Fe, which shows us that the bridge presents several physical pathologies since the materials have reached fatigue and deterioration. Finally, some preventive measures were proposed for the maintenance of bridges, which would ensure the correct functioning within the current normative parameters.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador se han registrado históricamente grandes sismos debido a su ubicación geográfica, donde dominan los procesos de subducción y pueden provocar sismos de gran magnitud cerca de los centros de población, afectando gravemente la infraestructura vial, las edificaciones, las personas y la economía del país.

Un gran porcentaje de puentes existentes que conforman las redes viales en el Ecuador fueron diseñados con normas que a la fecha son obsoletas tomando en cuenta principalmente los parámetros técnicos y cargas definidas, por lo tanto, es necesario conocer las circunstancias y la metodología con los cuales estas estructuras fueron diseñadas, tomando en cuenta que muchos de estos puentes ya cumplieron su vida útil (OSORIO & IZA, 2020).

La amenaza sísmica para el territorio de la ciudad de Guaranda, se encuentra distribuido en los siguientes niveles: el 40.82% con un nivel de amenaza medio, el 32.01% con un nivel de amenaza alto debido a las condiciones del suelo, la falla regional de Pallatanga y las fallas locales a lo largo de los ríos Salinas y Guaranda, Chimbo y Milagro-Guaranda, entre otros; y el 27.17% con un nivel de amenaza bajo; donde las personas podrían realizar sus edificaciones con menor probabilidad de sufrir daños en su estructura cuando se presente el evento sísmico (Camacho, 2016).

La estructura vial en el cantón Guaranda se encuentra afectada debido a la alta susceptibilidad a movimientos en masa y siendo los sismos un factor desencadenante, la infraestructura vial podría verse afectada por este tipo de eventos. Especialmente en las partes bajas, la principal afectación ante el riesgo sísmico podría presentarse en los puentes, por la existencia de fallas locales que podrían ocasionar el colapso de algunos puentes como el de la vía a Vinchoa y vía Santa Fe, de los cuales los elementos de la infraestructura se encuentran en mal estado por falta de mantenimiento, el cumplimiento de su vida útil (40 años), la inexistencia de normas de construcción sismo resistentes (NEC) y la falta de control en la movilidad de los vehículos de carga pesada.

De esta problemática surge la necesidad de proponer el estudio de la vulnerabilidad de los elementos de la estructura de los puentes de Santa Fe y Vía Vinchoa de la ciudad de Guaranda ante el riesgo sísmico, a través de la presente investigación se mostró las condiciones reales en las que se encuentran los elementos de la infraestructura

de los puentes, para así proponer algunas medidas de prevención para el reforzamiento estructural ante el riesgo sísmico.

En el presente estudio de caso se implementará un esquema metodológico cualitativo la matriz de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Fenómenos Sísmicos (SIPUMEX) y cuantitativo el modelamiento con el software CSiBridge que nos permitió obtener valores de los cálculos automáticos de los periodos de vibración, rigidez y el análisis de secuencia constructiva, incluyendo efectos diferidos de fluencia, retracción y envejecimiento del hormigón.

CAPÍTULO I

1.1 EL PROBLEMA

1.2 Planteamiento del Problema.

La Red vial se concibe como un conjunto de caminos que integran un país conectando los centros poblados, permite satisfacer las necesidades básicas de educación, trabajo, alimentación y salud; contribuyendo al desarrollo y crecimiento económico. La construcción de los puentes forma parte de los proyectos y obras de infraestructura de transporte permite la interconexión entre asentamientos humanos, entre cantones, parroquias y comunidades.

Según informes realizados por (Pol Armijos, 2019) la ubicación geográfica del Ecuador y su geomorfología peculiar hacen que las carreteras de la red nacional sean propensas a amenazas de terremotos, deslizamientos, inundaciones y actividad volcánica, condiciones que generan interrupciones en actividades y servicios que dependen de la red vial nacional y agravan la situación de otros sectores; como también, incrementan la vulnerabilidad de las comunidades. Los puentes también se han visto afectados considerablemente por sismos fuertes ocurridos, muchas de estas estructuras requieren de estudios técnicos con el objetivo de mejorar su comportamiento ante el riesgo sísmico.

Según estudios realizados por el autor (Escorza Jaramillo,1993) la ciudad de Guaranda se ubica en la zona conocida como “Depresión Guaranda”, la cual está delimitada por 3 fallas geológicas por lo que es altamente vulnerable a sismos de magnitudes considerables. Se destaca que la ciudad de Guaranda se encuentra asentada en un terreno conformado por laderas de materiales poco consolidados, por rellenos no debidamente compactados y sobre todo con un mal drenaje superficial, que induce gradientes elevados de filtración en el flujo subterráneo, presenta lamentablemente las condiciones más favorables para que se generen fenómenos de inestabilidad en el área urbana del cantón.

La estructura vial del casco urbano de la ciudad de Guaranda posee 5 puentes que sirven de interconexión entre asentamientos humanos, entre cantones, parroquias y comunidades, estos puentes cuentan con una superestructura en mal estado debido a la

falta de mantenimiento por las autoridades correspondientes, cumplimiento de la vida útil (40 años), a causa de la modificación en las normas usadas desde años anteriores a la actualidad en cuanto a lo que rige en el diseño de los puentes y su capacidad; dando como posible resultado la recomendación de un reforzamiento en aquellos puentes construidos en años donde las normas no se controlaban como hoy en día. (CONGOPE, 2019, págs. 30-40)

Debido a estos antecedentes es necesario realizar una investigación sobre el estado de los elementos de la estructura que nos permita definir la vulnerabilidad física de los puentes (de Santa Fe y Vía Vinchoa) de la ciudad de Guaranda.

1.3 ¿Formulación del Problema?

¿Cuál es la vulnerabilidad de los elementos estructurales en los puentes de la Vía Vinchoa y Santa Fe de la ciudad de Guaranda ante la amenaza sísmica?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL:

Identificar la vulnerabilidad estructural de los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe de la ciudad de Guaranda ante la amenaza sísmica.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1.** Analizar la situación actual de los elementos estructurales de los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe.
- 2.** Evaluar la vulnerabilidad estructural de los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe mediante la aplicación de la metodología SIPUMEX y un modelamiento a través del software CSi Bridge.
- 3.** Proponer medidas de prevención para el mantenimiento de los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe ante el riesgo sísmico.

1.5 Justificación de la Investigación

Guaranda históricamente ha sido afectada por fuertes terremotos, la ciudad por lo menos en cuatro ocasiones se ha visto afectada por sismos de intensidades VIII, lo que evidencia la fuerte actividad sísmica de la región y la localidad; también la infraestructura vial podría verse afectada por este tipo de eventos y los puentes no están exentos de sufrir daños y contratiempos que les permita permanecer en servicio durante su vida útil, estas construcciones están expuestas a múltiples factores, tales como: ambientales, naturales y antropogénicos. Por lo que se recomienda realizar investigaciones que permitan proponer estrategias de conservación para incrementar la vida útil de las estructuras viales. (UEB, 2013)

El presente estudio de caso se lo realiza por la necesidad de definir el grado de vulnerabilidad de los elementos de la estructura como: columnas, vigas, armaduras, pilares, estribos, superestructura y cimientos que pueden llegar a causar el derrumbe parcial o total de los puentes (de la vía Santa Fe, vía Vinchoa) que constituyen la red vial del casco urbano de la ciudad de Guaranda.

El interés del presente estudio de caso es que las autoridades correspondientes en conjunto con los profesionales en Gestión del Riesgo desarrollen proyectos enfocados en el análisis de los elementos de las estructuras viales que constituyen un instrumento estratégico para impulsar y fortalecer el desarrollo económico y social de una ciudad, es a través de las redes viales por donde se moviliza la producción agrícola, artesanal, industrial, desde los centros de producción hacia los mercados; se interconectan poblados; se ofertan los servicios públicos, financieros, logísticos, e información y permite a la población el acceso hacia los centros de educación y salud, esto con la finalidad de proponer estrategias encaminadas a la reducción de los impactos generados por la ocurrencia de eventos peligrosos.

Como futuros profesionales en la carrera de Ingeniería en Administración para Desastres y Gestión del Riesgo por primera vez se realizó un estudio orientado en el análisis de los elementos de la estructura de puentes para definir la vulnerabilidad física, mediante la metodología cualitativa matriz de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Fenómenos Sísmicos (SIPUMEX) se obtuvo una evaluación de los parámetros físicos estructurales mediante una inspección visual y un análisis técnico de la estructura y con

el modelamiento en el software CSiBridge se observó las capacidades de modelado, análisis y dimensionamiento de estructuras de puentes con la aplicación de este método se obtuvieron valores de los cálculos automáticos de los periodos de vibración, rigidez y el análisis de secuencia constructiva, incluyendo efectos diferidos de fluencia, retracción y envejecimiento del hormigón.

En el estudio de caso han intervenido estudiantes y docentes de la Universidad Estatal de Bolívar, de la carrera de Administración para Desastres y Gestión del Riesgo.

1.6 Limitaciones

La investigación está limitada en lo que respecta:

- Inexistencia de estudios previos a la construcción de los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe.
- Carencia de informes técnicos por parte del Ministerio de Transporte y Obras Públicas que permitan evidenciar las afectaciones de la estructura vial.
- Escasa información sobre el puente de la vía Vinchoa lo cual dificulta la elaboración del modelamiento.
- Limitado estudio específico sobre modelamientos estructurales dentro de nuestro cantón, para la identificación de la vulnerabilidad estructural de los puentes.

CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEORICO

2.2 Marco Referencial.

2.3 Localización del Área de Estudio

La ciudad de Guaranda se encuentra localizada en el centro del Ecuador, en la Hoya del Chimbo al noreste de la Provincia de Bolívar, dentro de las coordenadas: 726191.6616 y 9826420.2961. (Guaranda G. A., 2014)

2.4 Limites

Al Norte, las provincias de Tungurahua y Cotopaxi; al Sur, los Cantones San José de Chimbo y San Miguel de Bolívar; al Este, la Provincia de Chimborazo y Tungurahua; y al Oeste, los cantones Las Naves, Echeandía y Caluma y su superficie es de 189.209 Has. 189.2 Km. (Guaranda G. A., 2014)

2.5 Población:

El cantón Guaranda, según el Censo de Población y Vivienda del año 2010, contabilizó una población total de 91.877 habitantes, siendo 44.353 hombres y 47.524 mujeres. (Guaranda G. A., 2014)

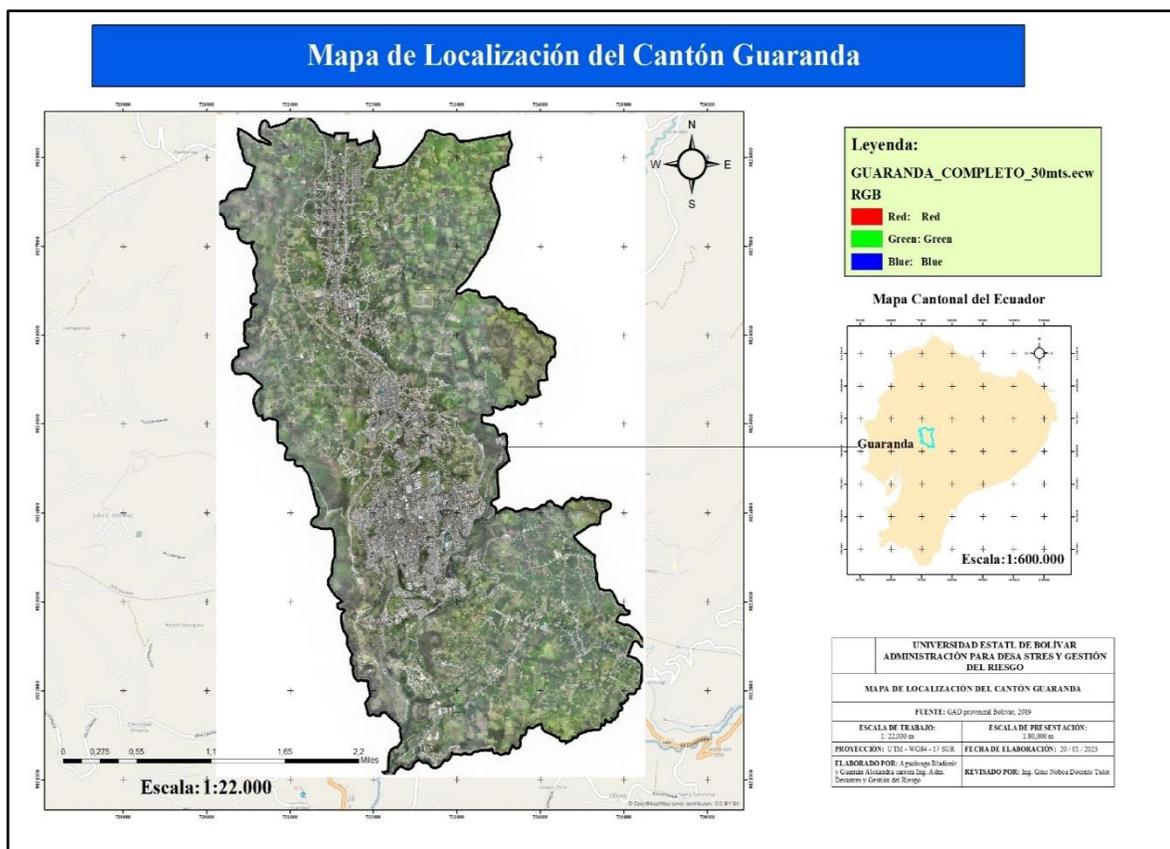
2.6 Relieve:

El relieve del cantón es bastante accidentado en su zona interandina, debido a la presencia de la Cordillera Occidental de Los Andes y el ramal de la Cordillera de Chimbo tiene pequeños valles en Guanujo, Guaranda y San Simón (meseta interandina) y valles mayores San Luis de Pambil (en la parte subtropical). Su relieve oscila entre los 4.100 metros en el Arenal (sierra), y 180 metros en San Luis de Pambil (subtrópico). (Guaranda G. A., 2014)

2.7 Geología:

La ciudad de Guaranda se encuentra asentada sobre la denominada “Zona de Depresión” la misma que está limitada por 3 fallas geológicas que son: la falla del Río Salinas (RS), que es una extensión de la Falla del Río Chimbo, que tiene rumbo Norte – Sur, y esta falla a su vez puede ser considerada un ramal de la Falla Regional Puná – Pallatanga – Riobamba; la segunda falla del Río Guaranda (RG) o Falla Illangama – Guaranda que se localiza paralela a la Cordillera de Chimbo y paralela al flanco oeste de la Cordillera Occidental; la tercera falla de Negroyacu (NG), según el esquema tectónico de Depresión de Guaranda. (UEB, 2013)

Figura 1. Mapa de Localización de la zona de estudio



Nota. identificación del área de estudio, elaboración propia en ArcGIS, 2023.

2.8 Sistema Vial del Cantón Guaranda

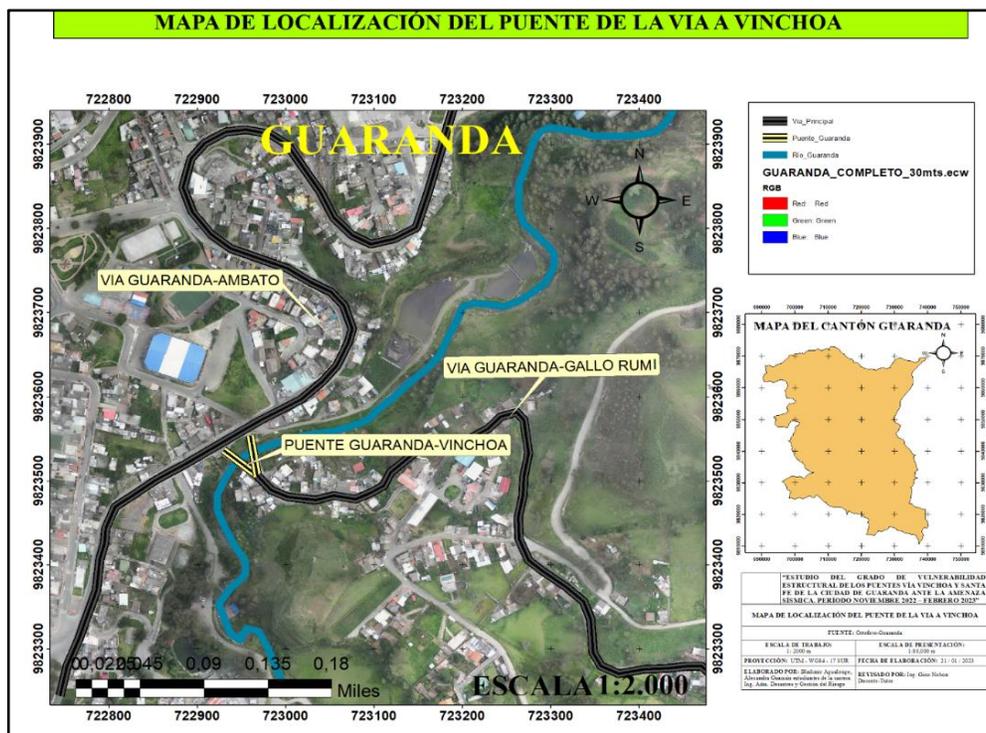
La estructura vial del casco urbano de la ciudad de Guaranda posee 5 puentes (puente de la Vía Vinchoa, Vía San Simón, Vía Pircapamba (Club de Leones), Vía Santa Fe y Vía Julio Moreno), que sirven de interconexión entre asentamientos humanos, entre

cantones, parroquias y comunidades, estos puentes cuentan con una superestructura en mal estado debido a la falta de mantenimiento por las autoridades correspondientes, cumplimiento de la vida útil (40 años) y la falta de control en la movilidad de los vehículos de carga pesada a causa de la modificación en las normas usadas desde años anteriores a la actualidad en cuanto a lo que rige en el diseño de los puentes y su capacidad; dando como posible resultado la recomendación de un reforzamiento a aquellos puentes construidos en años donde las normas no se controlaban como hoy en día (CONGOPE, 2019).

2.9 Puente de la Vía Vinchoa

El puente sobre el río Guaranda fue construido en el año de 1990, tiene aproximadamente 32 años de operación, posee una longitud de y se localiza al Sur de la ciudad de Guaranda.

Figura 2. Localización del Puente de la Vía Vinchoa

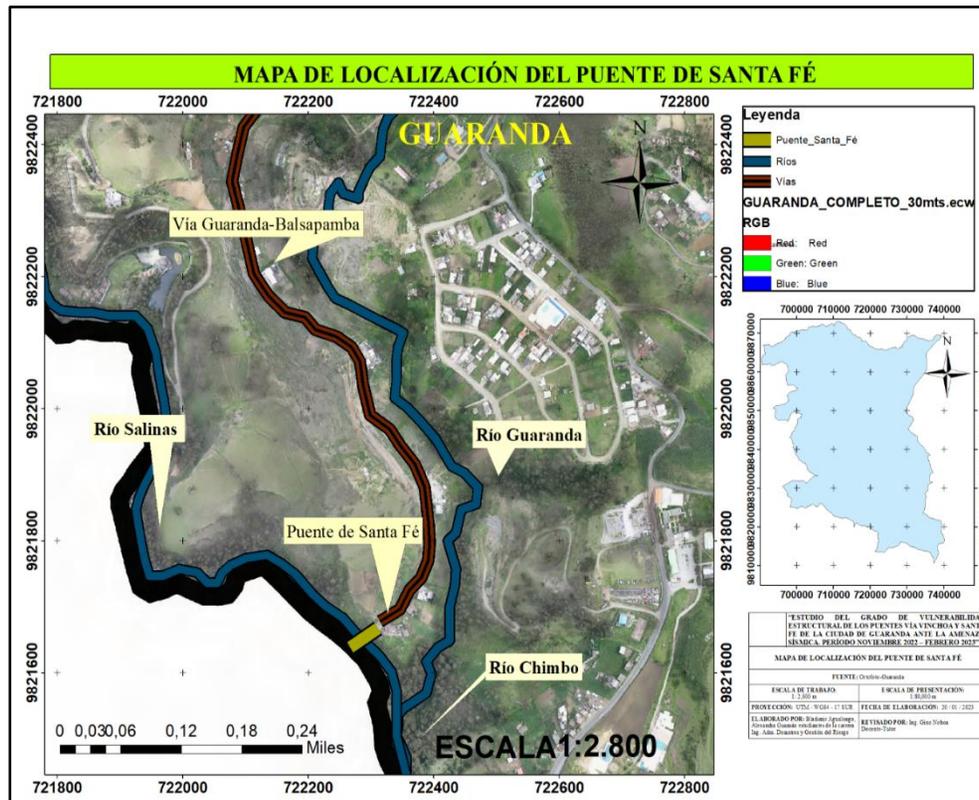


Nota. Localización del área de estudio, elaboración propia en ArcGIS, 2023.

2.10 Puente de la Vía Santa Fe

El puente sobre el río Salinas fue construido en el año 1973, tiene aproximadamente 49 años de operación tiene una longitud de 68.39m y se localiza en la carretera Guaranda – Balsapamba, en el cruce con el río Salinas, cantón Guaranda, provincia de Bolívar.

Figura 3. Localización del Puente de la Vía Santa Fe



Nota. Localización del área de estudio, elaboración propia en ArcGIS, 2023.

2.11 Antecedentes de la Investigación

Para el desarrollo del estudio de caso se ha revisado estudios similares con el tema planteado esto con el fin de identificar experiencias que pueden ser utilizados como referentes técnicos e investigativos los cuales nos servirá para el análisis y la obtención de una adecuada metodología.

Según explican los autores (OSORIO & IZA, 2020). **“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MOCORA MEDIANTE EL ANÁLISIS TEÓRICO DE CAPACIDAD DE CARGA PLANTEADO POR THE MANUAL FOR BRIDGE EVALUATION (AASHTO)”**. Actualmente el sistema de

red vial de un país es vital para el desarrollo económico social haciendo posible el comercio entre regiones con una adecuada conectividad, razón por la cual es importante creación de nuevas carreteras y puentes, así como también de la evaluación, rehabilitación de los ya existentes en la red vial. Uno de los componentes importantes de una red vial son los puentes, estas estructuras permiten franquear obstáculos naturales y artificiales como ríos, valles, líneas férreas o carreteras con el fin de acortar tiempos y tener una continuidad vial. Un gran porcentaje de puentes existentes que conforman las redes viales en el Ecuador fueron diseñados con normas que a la fecha son obsoletas tomando en cuenta principalmente los parámetros técnicos y cargas definidas, por lo tanto, es necesario conocer las circunstancias y la metodología con los cuales estas estructuras fueron diseñadas, tomando en cuenta que muchos de estos puentes ya cumplieron su vida útil.

Se elaboró un modelo en el Software CSI Bridge, tomando en cuenta las normativas actuales, para así determinar los efectos de carga de diseño a las cuales el puente debería resistir efectivamente, se realizó un análisis modal para determinar el periodo fundamental y conocer el comportamiento que va a tener ante un evento sísmico.

El presente trabajo técnico aportará una guía para la evaluación y mantenimiento de puentes tomando como ejemplo los problemas técnicos de los elementos del puente sobre el Rio Mocora, para ello se aportará con información actualizada, para con ello dar un diagnóstico de las cargas propias, servicio y sísmicas que puedan soportar los elementos que conforman el puente, de tal manera de extender la vida útil de los puentes que conforman la red vial así también brinden una seguridad ante un desastre natural; para lograr el cometido se realizará inspecciones visuales, levantamiento de la estructura, modelamiento numérico y analíticos, considerando cargas sísmicas, condiciones de tráfico de la zona; así determinar las capacidades de carga reales, deficiencias del puente y nivel de servicio de la estructura.

Según los autores (LIZBETH & ALEXANDRA, 2017). **“EVALUACIÓN TÉCNICO VISUAL DE PUENTES ANTE FENÓMENOS NATURALES Y EVALUACIÓN ANTE CARGAS”**. El presente proyecto tiene como objetivo aplicar una evaluación técnica – visual de estructuras ante fenómenos naturales como son eventos sísmicos y erupciones volcánicas, y su resistencia ante cargas, para prever su

comportamiento. Este análisis está enfocado a 6 puentes que atraviesan los ríos Pita, Santa Clara y San Pedro; ubicados en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Se describirá las condiciones estructurales actuales de los 6 puentes en estudio, de manera visual; con el fin de determinar su vulnerabilidad ante los desastres naturales anteriormente especificados.

Para cumplir el objetivo de esta investigación se hace uso de una ficha técnica diseñada de tal manera que facilite obtener los datos necesarios para la aplicación de una evaluación técnica – visual ante eventos sísmicos y erupciones volcánicas.

Para la determinación de vulnerabilidad ante eventos sísmicos de los puentes en estudio, se hace uso de la metodología propuesta por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México (SIPUMEX), la misma que es utilizada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, y propone evaluar parámetros físicos estructurales obteniendo una puntuación global, con lo cual se puede determinar el grado de vulnerabilidad de la estructura ante eventos sísmicos. De esta manera se podrán tomar medidas por parte de las autoridades competentes que permitirán mitigar la vulnerabilidad existente en las zonas aledañas a los puentes en estudio.

Según (Guerrero, 2017). **“ESTUDIOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE SOBRE EL RÍO SALINAS, EN LA CARRETERA GUARANDA - BALZAPAMBA, UBICADO EN LA ABSCISA 1+600”**. El Ecuador geográficamente se encuentra caracterizado por accidentados entornos, debido a la presencia de la cordillera de los Andes a través de todo su territorio. En cuanto al tema de vialidad, esto ha significado, un reto a lo largo del tiempo para quienes definen las políticas, planes, estudios y obras para la conexión terrestre entre poblaciones de la Costa, Sierra y Oriente del Ecuador Continental.

El cantón Guaranda por estar ubicado en las estribaciones entre la costa y la sierra ecuatorianas, posee una diversidad de pisos climáticos; su relieve es muy irregular, sus características geológicas, tipo de suelo de formación volcánica, entre otros factores, hace que su territorio esté expuesto a varios tipo de riesgos como las hidrometeorológicos (movimientos en masa, inundaciones), geológicos (sismos, caída de ceniza de volcanes), climáticos (heladas, déficit hídrico, vientos fuerte), antrópicas (incendios estructurales, incendios forestales, accidentes de tránsito). Por tales condiciones es de gran importancia

trabajar el subsistema de gestión de riesgo como eje transversal en los diferentes sistemas del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón, sus parroquias y demás centros poblados. Los riesgos locales deben ser identificados para establecer las estrategias y acciones de reducción y los sistemas de preparativos ante posibles desastres; de no tomar estas previsiones, los riesgos se transformarían en factores negativos en los procesos de desarrollo local.

Al ser Guaranda una zona propensa a sismos, también se debe analizar el impacto a las estructuras viales, ya que estas representan elementos esenciales para el desarrollo local; los puentes de la Vía Vinchoa y Vía Santa Fe fueron construidos entre los años de 1990 y 1973, con el paso del tiempo y el uso, existe un envejecimiento natural de los puentes, que se traduce estructuralmente en pérdidas de resistencia y rigidez. Existen factores que aceleran este envejecimiento como: la falta de mantenimiento y las cargas adicionales por cambios en los pesos de los vehículos y/o el aumento en el tráfico, esto ha provocado un deterioro evidente en los miembros estructurales de hormigón armado y las vibraciones que los usuarios sienten al circular sobre los puentes, así como las deformaciones de la superestructura que se puedan apreciar a simple vista.

Realizar el estudio de evaluación del puente sobre el río Salinas permitió evaluar el peligro sísmico de acuerdo con la norma NEC-15 y la vulnerabilidad de la estructura. Esto con la finalidad de proponer alternativas de reforzamiento o reemplazo, sin considerar el aumento de tamaño, la incorporación de nuevos carriles o variaciones en la ubicación del puente al considerarse una futura reforma geométrica del trazado vial.

2.12 Bases teóricas

2.12.1 Amenaza sísmica.

La Amenaza Sísmica es un término técnico mediante el cual se caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio, durante un período de tiempo.

La Amenaza Sísmica puede calcularse a nivel regional y a nivel local, para lo cual se deben considerar los parámetros de fuentes sismogénicas, así como también los registros de eventos sísmicos ocurridos en cada zona fuente y la atenuación del movimiento del terreno (Sismológicas, 1997).

2.12.2 Tipos de amenaza sísmica.

2.12.3 Tectónica.

Cuando los sismos implican una deformación de la corteza terrestre en forma de pliegues o fracturas se llaman tectónicos o de carácter estructural (del griego Tekto= Construir) son éstos los de mayor interés por cuanto la energía liberada es extraordinariamente mayor que la de los otros dos tipos y en general poseen características de terremoto, su origen está asociado a la constante deformación de la corteza terrestre, estudio que puede complementarse con el análisis de las teorías "tectónica de placas" y de "rebote elástico" (Colombiana, 1993).

Las placas se mueven relativamente entre ellas y en los bordes o zonas de interacción pueden producirse algunos de los siguientes fenómenos:

2.12.4 Formación de nueva corteza:

El desplazamiento del magma, fundido y muy caliente, que escapa hacia el exterior provoca volcanes y terremotos de magnitud variable.

2.12.5 Roce entre placas:

Al pasar una al lado de la otra se crean esfuerzos, los cuales se liberan violentamente cuando las rocas llegan a su punto de fractura. Esta situación produce terremotos.

2.12.6 Choques entre placas:

Aquí se pueden dar 3 situaciones: Choque de dos placas continentales. Debido a su poca densidad ninguna se hunde, pero el choque hace que se arruguen formando una cadena montañosa, Choque entre una placa oceánica y una placa continental. Como la corteza oceánica es más densa, la placa subduce, regresa al manto y forma las grandes fosas que se han encontrado en los bordes de los océanos. Como consecuencia del choque se arruga la corteza y se forma una cadena montañosa.

2.12.7 Choque de dos placas oceánicas:

Aquí se hunde la más delgada o densa de las dos. También ocurren terremotos y volcanes y se pueden originar islas volcánicas (Sismológicas, 1997).

2.12.8 Intensidad.

La intensidad de un terremoto se refiere a los efectos que tuvieron las ondas sísmicas en la superficie terrestre. Se mide utilizando la Escala de Intensidad Mercalli Modificada que consiste en una serie de respuestas claves para cada intensidad. Se utilizan números romanos del I al XII para clasificar la misma. Comenzando por intensidad I que significa que no fue sentido o que fue sentido por un mínimo de personas, y terminando en XII que significa destrucción total. Por lo general, las intensidades menores se refieren a cuán fuerte las personas sintieron el terremoto y las intensidades mayores se refieren a daños estructurales (ECOEXPLORATORIO, 2020).

Tabla 1. *Parámetros Escala Mercalli*

| ESCALA DE MERCALLI | | |
|----------------------------|-------------|--|
| NIVEL | ACELERACIÓN | DESCRIPCIÓN |
| I. Imperceptible | <5 | Microsismo, detectado por instrumentos. |
| II. Muy Leve | 5-10 | Sentido por personas (generalmente en reposo). |
| III. Leve | 10-20 | Sentido por personas dentro de edificios. |
| IV. Moderado | 20-40 | Sentido por personas fuera de los edificios. |
| V. Poco Fuerte | 40-80 | Sentido por casi todos. |
| VI. Fuerte | 80-160 | Sentido por todos. |
| VII. Muy Fuerte | 160-320 | Las construcciones sufren daño moderado |
| VIII. Destructivo | 320-640 | Daños considerables en las estructuras. |
| IX. Muy Destructivo | 640-1280 | Daños graves y pánico en general. |
| X. Desastroso | 1280-2560 | Destrucción en edificios bien contruidos. |
| XI. Muy Desastroso | 2560-5120 | Casi nada queda en pie. |
| XII. Catastrófico | >5120 | Destrucción total. |

Nota. Adaptado de *Escala de Richter: matemáticas de los terremotos* (Tabla), por María Sorando Muzás, matemáticas en tu mundo (https://matematicasentumundo.es/NATURALEZA/naturaleza_Richter.htm). (CC BY-NC 3.0 ES)

Tabla 2. Parámetros Escala de Richter

| ESCALA DE RICHTER | | | |
|---------------------------|--------------------|---|---------------------------------|
| MAGNITUDES RICHTER | DESCRIPCIÓN | EFFECTOS | FRECUENCIA DE OCURRENCIA |
| Menos de 2,0 | Micro | No son perceptibles. | Alrededor de 8000 por día. |
| 2,0-2,9 | Menor | Generalmente no son perceptibles. | Alrededor de 1000 por día. |
| 3,0-3,9 | | Perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños. | 49000 por año. |
| 4,0-4,9 | Ligero | Movimiento de objetos. Sismo significativo, pero con daño poco probable. | 6200 por año. |
| 5,0-5,9 | Moderado | Puede causar daños mayores en edificaciones débiles o mal construidas. | 800 por año. |
| 6,0-6,9 | Fuerte | Pueden ser destructivos en áreas pobladas, en hasta unos 160 kilómetros a la redonda. | 120 por año. |
| 7,0-7,9 | Mayor | Puede causar daños serios en zonas extensas. | 18 por año. |
| 8,0-8,9 | Catastrófico | Puede causar graves daños en zonas de cientos de kilómetros. | 1-3 por año. |
| 9,0-9,9 | | Devastadores en zonas de miles de kilómetros. | 1-2 en 20 años. |

Nota. Adaptado de *Escala de Mercalli Modificada* (Tabla), por Shakeout, 2021, Red Sísmica (<http://www.prsn.uprm.edu/Spanish/educacion/terremotos/tamano.php>).

2.12.9 Magnitud.

La magnitud de un terremoto se refiere a la cantidad de energía liberada durante éste. Originalmente se utilizaba la escala de magnitud Richter. Esta escala fue diseñada en el 1935 por Charles F. Richter del Instituto de Tecnología de California para medir y comparar el tamaño de los terremotos específicamente en la bahía de San Francisco en California. Esta es una medida logarítmica a base de 10. Esto significa que la vibración de un terremoto de magnitud 6 es 10 veces mayor a uno de magnitud 5 (ECOEXPLORATORIO, 2020).

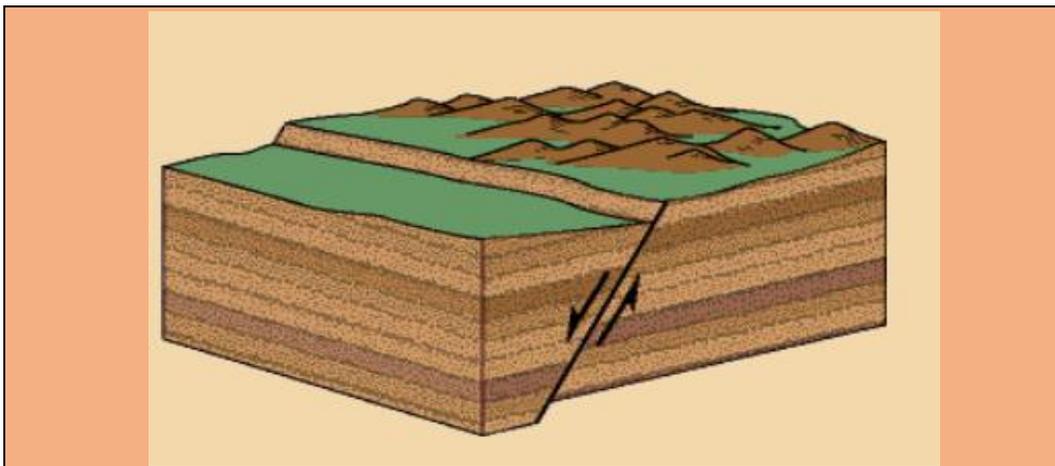
2.12.10 Geológico.

Una falla geológica es una grieta en la corteza terrestre. Generalmente, las fallas están asociadas con, o forman, los límites entre las placas tectónicas de la Tierra. En una falla activa, las piezas de la corteza de la Tierra a lo largo de la falla se mueven con el transcurrir del tiempo. El movimiento de estas rocas puede causar terremotos. Las fallas inactivas son aquellas que en algún momento tuvieron movimiento a lo largo de ellas pero que ya no se desplazan. El tipo de movimiento a lo largo de una falla depende del tipo de falla. (Universo, 2011)

2.12.11 Tipo de fallas.

Las fallas normales se producen en áreas donde las rocas se están separando (fuerza tractiva), de manera que la corteza rocosa de un área específica es capaz de ocupar más espacio.

Figura 4. *Falla Normal*

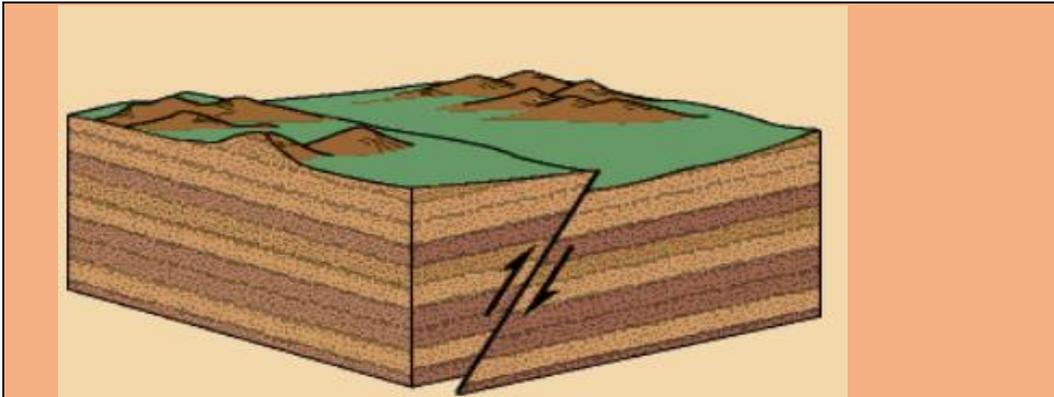


Nota. Adaptado de *Falla Normal* (Fotografía) por Ventanas al Universo, 2010, (https://www.windows2universe.org/earth/geology/fault.html&lang=sp#google_vignette).

2.12.12 Fallas inversas

Las fallas inversas ocurren en áreas donde las rocas se comprimen unas contra otras (fuerzas de compresión), de manera que la corteza rocosa de un área ocupe menos espacio (Universo, 2011).

Figura 5. Falla Inversa

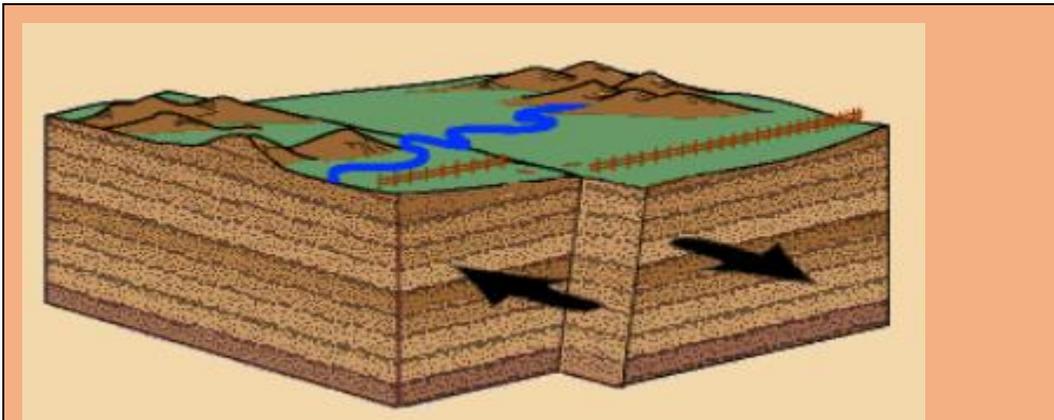


Nota. Adaptado de *Falla Inversa* (Fotografía) por Ventanas al Universo,2010, (https://www.windows2universe.org/earth/geology/fault.html&lang=sp#google_vignette).

2.12.13 Falla Transversal

El movimiento a lo largo de la grieta de la falla es horizontal, el bloque de roca a un lado de la falla se mueve en una dirección mientras que el bloque de roca del lado opuesto de la falla se mueve en dirección opuesta. Las fallas de desgarre no dan origen a precipicios o fallas escarpadas porque los bloques de roca no se mueven hacia arriba o abajo con relación al otro (Universo, 2011).

Figura 6. Falla Transversal



Nota. Adaptado de *Falla Transversal* (Fotografía) por Ventanas al Universo,2010, (https://www.windows2universe.org/earth/geology/fault.html&lang=sp#google_vignette).

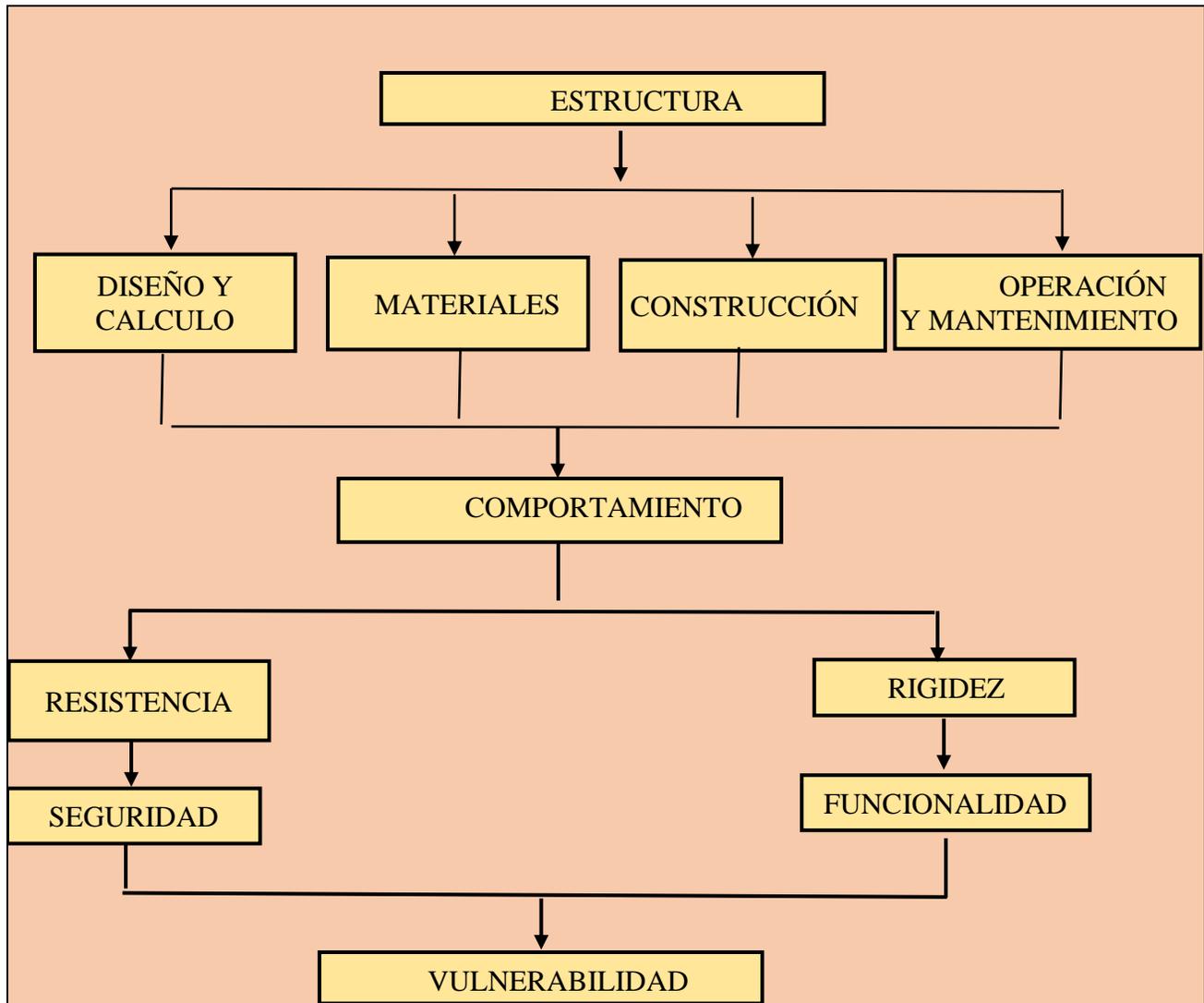
2.12.14 Vulnerabilidad.

Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes o los sistemas a los efectos de las amenazas; también se puede entender como vulnerabilidad a la incapacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre (RIESGOS, 2018).

2.12.15 Vulnerabilidad estructural.

La vulnerabilidad estructural de un edificio, casa, puente o cualquier edificación construida por la mano del hombre está relacionada con la debilidad de los cimientos, vigas, columnas, losas aligeradas o macizas, muros portales, que se diseñaron para transferir las fuerzas horizontales y verticales y con el tiempo o con un evento se han debilitado amenazando la estabilidad de la construcción (Quispe, 2017).

Figura 7. Esquema de Vulnerabilidad Estructural



Nota. Adaptado de *Estudio de Vulnerabilidad Estructural*, por Diego Páez, 2005, Metodología para el estudio de la vulnerabilidad estructural de edificaciones (https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros/suelosyestructuras/documentos/vulnerabilidad/01_diego_paez.pdf).

2.12.16 Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica está relacionada con el daño que presenta una estructura ante un evento sísmico con determinadas particularidades, por lo que va a depender de las características propias de la estructura, sin considerar el nivel de peligrosidad del lugar, puesto que estudios realizados en una misma región sísmica donde han ocurrido sismos y las edificaciones con el mismo tipo de estructura han presentado daños

diferentes. A pesar de no existir una metodología estandarizada para determinar la vulnerabilidad de las estructuras, los estudios desarrollados como el de Melone (2002), consideran que la vulnerabilidad es un indicador de daño que expresa la degradación que experimentarían un tipo de estructura al ser estremecida por un sismo con determinadas características, por lo que la vulnerabilidad puede ser entendida como “una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención y mitigación y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado elevado”.

2.12.17 Dimensiones de la vulnerabilidad

- Física es la que está interrelacionada con las características físicas de las infraestructuras y su ubicación geográfica que puede estar expuesta a peligros o eventos y a sufrir sus efectos.
- Social es la dimensión que se relaciona con el comportamiento, las creencias, la cultura y la organización social de las personas dentro de una comunidad para actuar ante los efectos de un evento o peligro.
- Ambiental está relacionada con la forma en que las personas y la comunidad utilizan el ambiente y el entorno de una forma no sostenible, debilitando el ecosistema, el cual puede sufrir los efectos de un evento o peligro.
- Económica se relaciona con la falta de recursos económicos que tienen los habitantes de una comunidad debido al mal uso de los recursos disponibles ante un riesgo

2.12.18 Estudio para la evaluación de la vulnerabilidad estructural

Para realizar una evaluación de vulnerabilidad de una estructura se deben contar con los conocimientos necesarios para que sea realista ante las potenciales amenazas dentro de un periodo de vida útil. Los pasos recomendados por (Buitrago, 2019) para un estudio de la vulnerabilidad son:

- ✓ Definir las características de los materiales y la tipología estructural.
- ✓ Dimensionar los elementos estructurales.
- ✓ Determinar el sistema de fundación.
- ✓ Definir los estados de carga.
- ✓ Analizar la interacción de la estructura con el suelo.

- ✓ Analizar el esfuerzo y deformación de los materiales que componen la estructura como vigas y columnas considerando los efectos del tiempo.
- ✓ Identificar los elementos críticos en la estructura.

2.12.19 ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE.

2.12.20 Puente.

Un puente es una estructura esencial en la infraestructura vial, destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar; así como obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos, es una parte importante del patrimonio infraestructural del país, principalmente es la conexión en la red vial para la transportación en general y en consecuencia para el crecimiento y desarrollo de sus habitantes. Debido a esto es importante preservar dicho patrimonio de una atenuación prematura, por lo cual es necesario mantener un conocimiento completo y actualizado de su estado (Díaz, 2012)

2.12.21 Subestructura.

La subestructura se refiere a la parte del edificio que se encuentra bajo el suelo. La subestructura distribuye el peso del edificio al suelo que se encuentra debajo del mismo. La superestructura se construye, pues, justo contra el suelo. La subestructura puede hacer o deshacer una estructura. Es crucial trabajar con ingenieros estructurales para garantizar que los pilares, las vigas de apoyo y los cimientos de la subestructura no se derrumben.

La base de la subestructura se construye con hormigón de cemento reforzado o con hormigón de cemento simple. El hormigón de cemento se cubre con ladrillos o piedra y hormigón adicional hasta el nivel deseado del zócalo. A continuación, se coloca una capa antihumedad para evitar que la humedad penetre en la subestructura (Gerardi, 2022).

2.12.22 Superestructura.

La superestructura describe toda la parte de un edificio que se encuentra por encima del suelo o de los cimientos. La superestructura suele ser más extensa que la subestructura en función del tipo y el tamaño del edificio (Gerardi, 2022).

Algunas partes de la superestructura pueden incluir;

- **Pisos:** Los pisos separan los niveles dentro de la superestructura.

- **Vigas:** Son los elementos horizontales dentro de la superestructura que soportan todas las cargas verticales.
- **Muros:** Los muros ayudan a proporcionar cerramiento e intimidad. Los muros también soportan parte del peso de las vigas y los forjados.
- **Columnas:** Son las estructuras verticales que soportan la mayor parte de las cargas de la superestructura y transfieren este peso a los cimientos. Las columnas son esenciales en los edificios altos (Gerardi, 2022).

2.12.23 Juntas de expansión.

Las juntas son dispositivos que dependen de los movimientos de la estructura, y sus funciones se pueden cumplir solo cuando las longitudes de apoyo (Seating) de las vigas o losas sean suficientes para suplir los movimientos que se sucedan por eventos sísmicos. Al calcular estas longitudes debe tomarse en cuenta que los elementos estructurales pueden perder sus respectivos recubrimientos al golpearse entre ellos (Dugarte, s.f.).

Figura 8. *Juntas de Expansión.*



Nota. Adaptado de *Juntas de Expansión en Puentes*, por RB Conspro, 2016, RB Conspro (<https://rbconspro.wordpress.com/2016/11/03/juntas-de-expansion-en-puentes-pasos-a-desnivel-vehiculares-y-peatonales/>).

Estribos.

El estribo de un puente es su elemento estructural en el que el tablero se apoya en ambos extremos. El estribo a su vez se cimenta sobre el terreno y cumple las siguientes funciones:

- Servir de elemento de transición entre la vía y el tablero
- Colaborar con las pilas en la sustentación del tablero
- Sujetar el terreno circundante impidiendo que éste último invada por derrame la zona de sombra del puente (Structuralia, 2021).

2.12.24 Pilas.

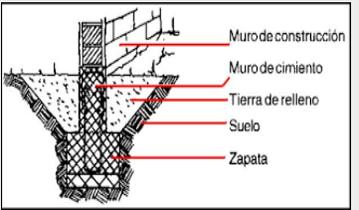
Son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos. Deben soportar la carga permanentemente y sobrecargas sin asientos, ser insensibles a la acción de los agentes naturales (viento, riadas, etc.) (Alsina, 2021).

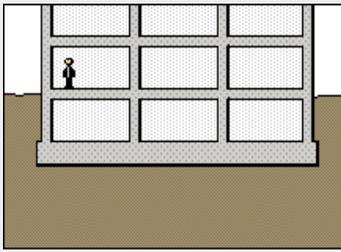
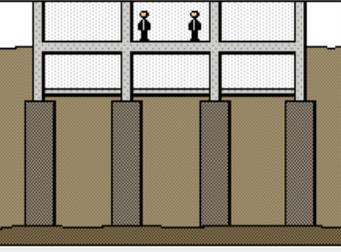
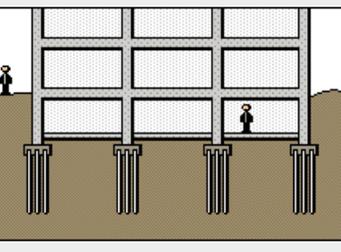
2.12.25 Cimentación.

Se denominan cimientos o cimentación al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación o elementos apoyados en este al suelo, distribuyéndolas de forma que no superen una serie de valores máximos del terreno de apoyo. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que la de los pilares o muros que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será mucho más grande que los elementos soportados (excepto en suelos rocosos muy coherentes) (Búa, 2014).

2.12.26 Tipos de Cimientos.

Tabla 3. Descripción de los Tipos de cimientos

| Tipos de cimientos | Descripción | Imagen |
|--------------------|---|---|
| De zapatas | Sistema económico para cimentaciones de la superficie del suelo. La zapata es utilizada cuando el suelo es resistente, es decir, es capaz de soportar pesos elevados. |  |

| | | |
|---|--|--|
| <p>De losas continuas</p> | <p>Se utiliza cuando las cargas que soportan el edificio son relativamente grandes y el terreno es inestable. Son placas de hormigón cerca de superficie “flote” sobre el suelo como una sola unidad.</p> |  |
| <p>Pozos o pilares</p> | <p>Son cimentaciones de profundidad media, utilizadas en terreno blandos en superficie. Mediante pilares de hormigón, se transmite las cargas del edificio directamente al lecho de roca estable más profundo.</p> |  |
| <p>De pilotes</p> | <p>Sistemas utilizados para terrenos blandos. La carga del edificio se distribuye mediante pilotes o pequeños pilares de hormigón a profundidad considerable.</p> |  |
| <p><i>Nota.</i> Adaptado de <i>Tipos de Cimientos</i>, por Juan Henao, 2000, Angelfire (https://www.angelfire.com/ak4/strong/c3.htm).</p> | | |

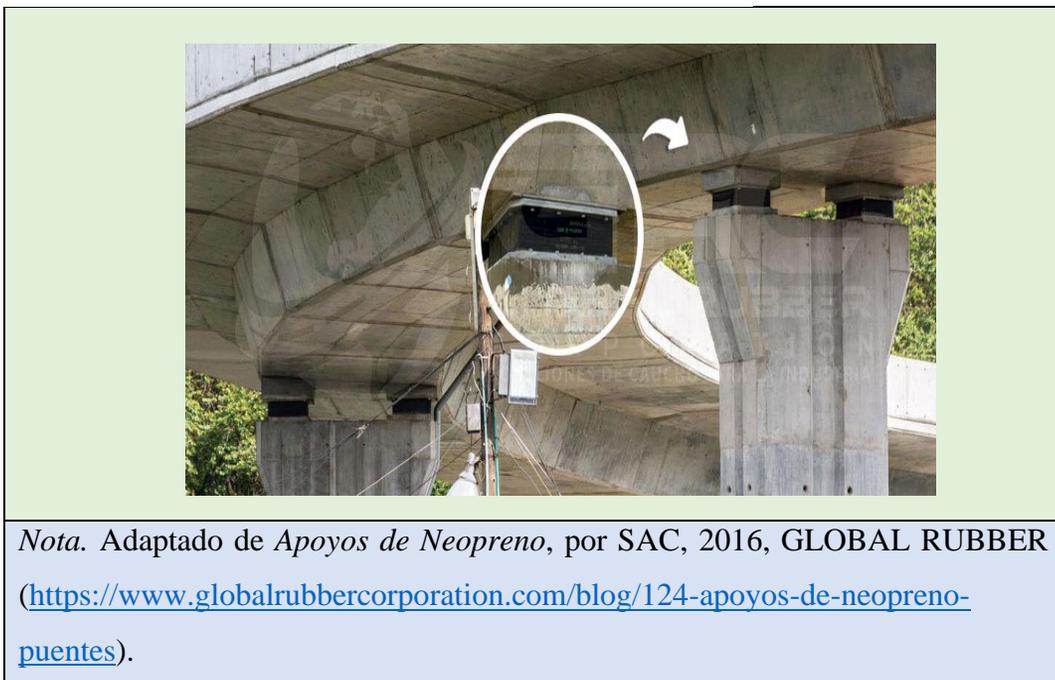
Sus funciones principales son las siguientes:

- ✓ Los movimientos totales del puente proyectados sobre las juntas se cumplan sin golpear o deteriorar los elementos estructurales.
- ✓ Asegurar la continuidad de la capa de rodamiento del puente, para dar mayor confort a los usuarios vehiculares, pedestres, bicicletas y motos.
- ✓ Ser Impermeables y evacuar las aguas sobre el tablero en forma rápida y segura.
- ✓ No deben ser fuente de ruidos, impactos y vibraciones al soportar las cargas del tráfico (Dugarte, s.f.).

2.12.27 Apoyos.

Son dispositivos colocados entre dos elementos de una estructura (cubierta, y vigas o pilares en el caso de los puentes) que garantizan la transmisión de cargas de un elemento a otro al soportar el paso de vehículos de diferentes cargas. Además, los apoyos de neopreno permiten o previenen movimientos relativos (rotación y movimiento) del elemento de unión. Son formuladas para ofrecer una alta durabilidad y resistencia al deterioro, por lo tanto, pueden ser utilizadas en una larga vida útil (S.A.C, 2016).

Figura 9. *Apoyos*



2.12.28 Trabes.

Las trabes AASHTO son vigas de concreto reforzado que se utilizan comúnmente en puentes vehiculares ya que son ideales para soportar cargas grandes en claros de hasta 45m. Las siglas AASHTO representan en inglés: “Association of American State Highway and Transportation Officials”, estas vigas se clasifican de Tipo I hasta Tipo VI, que varía según los tamaños/dimensiones de las piezas (CCI, s.f.).

Figura 10. *Trabes*



Nota. Adaptado de *Trabes para puentes* (Fotografía), por CCI (<https://ccidi.mx/contacto>).

2.12.29 Envejecimiento del hormigón.

El termino envejecimiento hace referencia para cambios en el desempeño de los materiales con el pasar del tiempo. El envejecimiento acelerado simula las variaciones del clima a las que están sometidas las diferentes muestras de materiales de construcción en un periodo de tiempo determinado. El envejecimiento artificial trata de reproducir el clima de una zona, en condiciones controladas, para analizar lo que le sucede a un material en función del tiempo (**Bohórquez & Mendoza, 2020**).

2.12.30 Resistencia del hormigón.

Es una propiedad importante para el diseño de las estructuras; en elementos de concreto reforzado se puede producir el agrietamiento bajo diversas condiciones de carga o por medio de otros efectos, como son las condiciones ambientales críticas. De lo anterior se desprende la necesidad de contar con ecuaciones de predicción de resistencia a tensión, a partir de la resistencia a compresión axial del concreto, que es la propiedad que más se ha estudiado en este material (Romero & Solís, 2016).

En la mayoría de los casos, su composición es la siguiente:

- **Cemento:** de tipo I y II. Debe tener mayor contenido de silicato tricálcico, un alto módulo de finura y una composición química uniforme.
- **Grava:** de tamaño pequeño y alta densidad. Tiene que presentar una buena resistencia mecánica, bajo nivel de absorción y buena adherencia.

- **Agua:** alcanza con que cumpla con las normas generales establecidas por el concreto.
- **Arena:** bien graduada, con poco contenido de material fino plástico y un módulo de finura controlado, cercano a un valor de 3,00.
- **Aditivos:** en la mayoría de los casos, se emplean materiales superplastificantes o retardantes (o una combinación de ambos).
- **Cenizas volantes:** subproducto de los hornos de carbón mineral que genera energía.
- **Escorias molidas de alto horno:** aditivo no metálico derivado del hierro.
- **Microsílice:** material puzolánico de alta reactividad (Cemix, 2023).

2.12.31 Modos de vibración de Puentes.

Una vibración en todo un movimiento oscilatorio con respecto a una posición de referencia, es decir los movimientos que se registran en base a un punto. Las vibraciones suelen presentarse debido al problema de fabricación, a errores en calibración o uso de maquinaria, al rediseño de alguna estructura debido a que no se considera algunos cambios y con estos factores suelen presentarse dichos movimientos. (Transporte, 2005)

Una vibración tiene dos posibles clasificaciones, que son:

- **Vibraciones libres:** acurren sin la aplicación de fuerzas externas, su presencia generalmente es debido a que un sistema se desplaza.
- **Vibraciones forzadas:** se aplican fuerzas externas y la estructura arroja una respuesta, pueden ser periódicas cuando el movimiento que se genera debido a las fuerzas externas se repite con todas las características iniciales en un intervalo de tiempo. (Transporte, 2005)

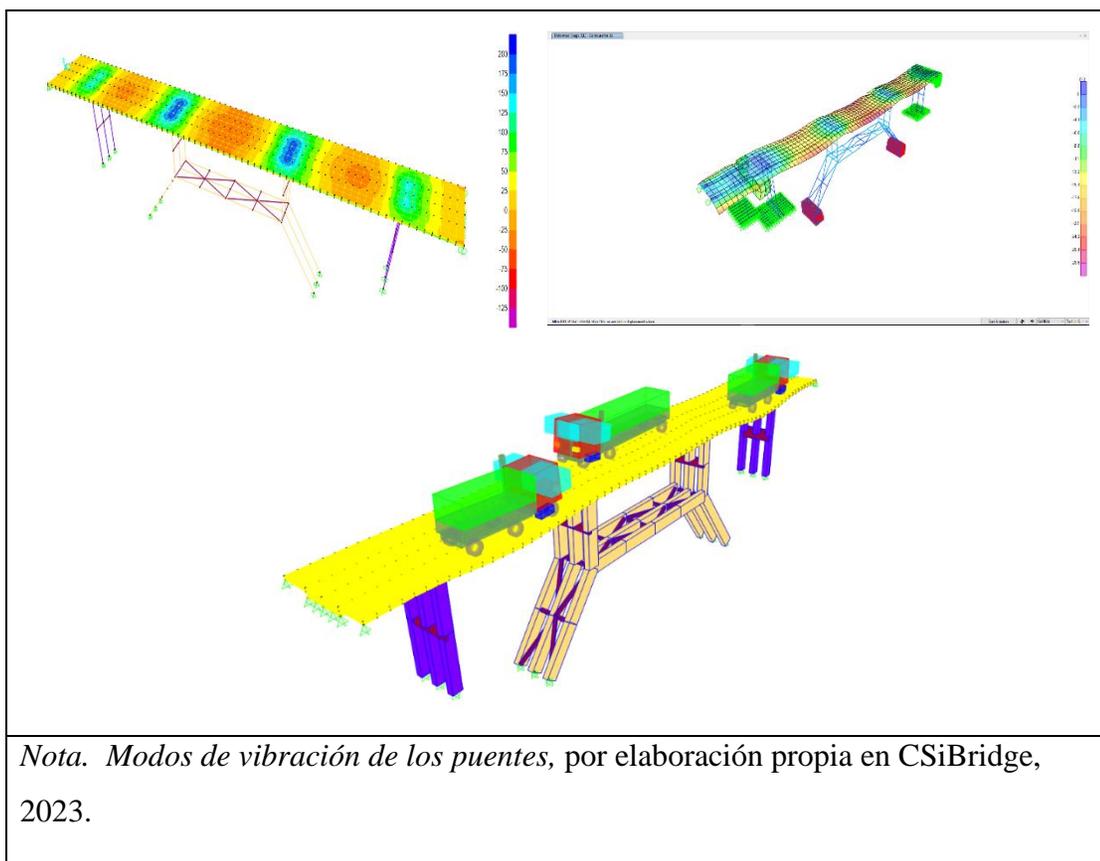
El análisis de la vibración de los puentes es fundamental importante ya que permite modelar o medir la respuesta de los puentes ante ciertos tipos de excitaciones, sirve para evaluar potenciales daños sufridos; estimando con ello el nivel de daño estructural e incluso la posición en la que se presenta el debilitamiento estructural. Por otro lado, al estar asociados los niveles de vibración al esfuerzo de los elementos del

puede ser posible identificar qué factores afectan de manera importante a la infraestructura del puente. (Zérega, 2016)

Para determinar la medición de vibraciones en puentes se considera los siguientes factores:

1. **Excitación de la Estructura.** – las técnicas disponibles para efectuar la excitación de vibraciones en puentes son:
 - ✓ **Efectos ambientales.** – estos efectos incluyen el tráfico vehicular sobre el puente, el viento, y los sismos. (Zérega, 2016)
2. **Excitación por Desplazamiento.** – consiste en la aplicación de una fuerza estática al puente la cual induce un desplazamiento estático, posteriormente la carga se libera de manera instantánea y el puente tiende a recuperar su punto de equilibrio. (Zérega, 2016)
3. **Excitación por liberación de Cargas.** – en este caso la vibración se genera cuando se libera del puente una carga significativa que normalmente se cuelga del centro del claro.
4. **Métodos de análisis de sensibilidad.** – las características de una estructura pueden ser estudiadas a partir de sus parámetros modales (frecuencias naturales y sus modos dinámicos asociados) o mediante sus parámetros estructurales (masa, amortiguamiento y rigidez). (Zérega, 2016)
5. **Evaluación de la interacción vehículo – puente.** – permiten analizar los efectos que sobre la dinámica del puente tienen variables tales como: la rugosidad de la superficie de rodamiento, la velocidad de tránsito, el tipo y las características del vehículo. (Zérega, 2016)
6. **Mediciones de Flexibilidad.** – la comparación entre valores modales obtenidos experimentalmente y valores analíticos, de la flexibilidad de una estructura es una propuesta confiable para evaluar la condición existente de un puente; de igual manera las mediciones de flexibilidad en el tiempo pueden ser tomadas para definir el índice de deterioro de una estructura. (Zérega, 2016)

Figura 11. Modos de Vibración de los Puentes.



2.12.32 Método para la Evaluación de Vulnerabilidad Ante Fenómenos Sísmicos SIPUMEX.

La presente metodología estudia 12 parámetros importantes para la determinación del grado de vulnerabilidad de puentes ante un evento sísmico, estos parámetros fueron obtenidos mediante aportes propuestos por profesionales expertos en la evaluación de sistemas viales, los mismos que recomendaron un procedimiento de fácil estimación logrando una evaluación visual no muy larga. Cada parámetro recibe una calificación entre “0” y “5” dependiendo de su fragilidad, obtenida mediante una inspección visual y un análisis técnico de la estructura, siendo “5” la calificación más desfavorable. Se uniformaron algunos criterios para definir los valores de los parámetros mediante la solución de una ecuación de múltiples variables y suponiendo un total de 100% en todos ellos (LIZBETH & ALEXANDRA, 2017).

2.12.33 CSiBridge.

El modelo estructural con el software CSI Bridge permite establecer el comportamiento del puente a sus diferentes estados de carga aplicados para una evaluación del puente, de esta manera se obtienen sus fuerzas cortantes y momentos a flexión en la superestructura. Además, se obtiene un análisis modal, el cual permite conocer el periodo fundamental de la estructura (OSORIO & IZA, 2020).

2.12.34 Esclerómetro.

Figura 12. Descripción del Esclerómetro.



Fuente: (Ávila & Herazo, 2017)

El comprador de hormigón o esclerómetro es un instrumento que se emplea para la medición de la resistencia a compresión del hormigón, el dispositivo mide el rebote y se convierte en una resistencia de compresión. Este procedimiento es aplicable para determinar la uniformidad del concreto, delinear la calidad del concreto en un estructura y estimar su resistencia. (Ávila & Herazo, 2017)

Los ensayos para obtener la resistencia a la compresión del concreto son realizados para evaluar la calidad del concreto a edades tempranas para así proyectar la resistencia a edades más avanzadas. El esclerómetro o martillo de rebote Schmidt es un ensayo no destructivo que mide la dureza de una superficie que proporciona un rápido y sencillo medio para verificar la uniformidad del concreto a través de la lectura del número del rebote, como también estima la resistencia del concreto. (Ávila & Herazo, 2017)

2.13 MARCO LEGAL

Gestión del Riesgo

Art. 389.- El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad. (ECUADOR, 2008, pág. 118)

El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten al territorio ecuatoriano.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
4. Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.
5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencias en el territorio nacional.
7. Garantizar financiamiento suficiente y oportuno para el funcionamiento del Sistema, y coordinar la cooperación internacional dirigida a la gestión de riesgo. (ECUADOR, 2008, pág. 118)

Art. 390.- “Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad”. (ECUADOR, 2008, pág. 118)

LEY SISTEMA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA VIAL

TRANSPORTE TERRESTRE

Competencias de los Gobiernos Autónomos Descentralizados

Art. 16.- “Competencias de vialidad. Los gobiernos autónomos descentralizados en sus respectivas circunscripciones territoriales, a más de las atribuciones conferidas en la presente Ley, tendrán las facultades y atribuciones en materia de vialidad que correspondan, de conformidad con la Constitución, el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, las resoluciones del Consejo Nacional de Competencias y demás normativa aplicable para el ejercicio, en el ámbito de su competencia:

1. Elaborar e implementar el Plan Sectorial de Infraestructura del Transporte Terrestre Cantonal, Provincial o Regional y el Plan Estratégico de Movilidad Cantonal, Provincial o Regional de su respectiva circunscripción territorial, el mismo que será un insumo de su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.
2. Administrar la red vial de su jurisdicción realizando las acciones de planificación, diseño, construcción, rehabilitación, señalización, conservación, mantenimiento, operación y financiamiento, considerando el mínimo impacto ambiental.
3. Incorporar al sistema nacional vial, la información que incluya a toda la red vial de su jurisdicción en coordinación con el ministerio rector. (TERRESTRE, 2017, pág. 6)

Código Orgánico de Organización Territorial Autonomías y

Descentralización (COOTAD)

Del Ejercicio de las Competencias Constitucionales

Art. 129.- Ejercicio de la competencia de vialidad. -El ejercicio de la competencia de vialidad atribuida en la Constitución a los distintos niveles de gobierno, se cumplirá de la siguiente manera:

1. Al gobierno autónomo descentralizado provincial le corresponde las facultades de planificar, construir y mantener el sistema vial de ámbito provincial, que no incluya las zonas urbanas. (CODIGO ORGANICO DE ORGANIZACION TERRITORIAL, 2018, pág. 55)

Código Orgánico de Organización Territorial Autonomías y

Descentralización (COOTAD)

Art. 140.- “Ejercicio de la competencia de gestión de riesgos. - La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al territorio se gestionarán de manera concurrente y de forma articulada por todos los niveles de gobierno de acuerdo con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley”. (CODIGO ORGANICO DE ORGANIZACION TERRITORIAL, 2018, pág. 61)

Plan de Creación de Oportunidades 2021 – 2025

Objetivo 9.- Garantizar la seguridad ciudadana, orden público y gestión de riesgos: Busca fortalecer la gestión de riesgos identificando los riesgos que afecten al territorio ecuatoriano, coordinar acciones de prevención pertinentes a prevenir, enfrentar y mitigar los riesgos.

9.2 Fortalecer la seguridad de los sistemas de transporte terrestre y aéreo, promoviendo ambientes seguros.

9.3 Impulsar la reducción de riesgos de desastres y atención oportuna a emergencias ante amenazas naturales o antrópicas en todos los sectores y niveles territoriales.

B6. Garantizar que en el proceso de clasificación y subclasificación del suelo se incorpore de manera transversal la gestión de riesgo, así como variables de conservación ambiental.

E1. Mejorar e impulsar el conocimiento del riesgo de desastres en todo el territorio nacional, con la participación de la academia e instituciones técnico – científicas, para la toma de decisiones que promuevan un desarrollo sostenible.

F9. Fortalecer la resiliencia ante los efectos del cambio climático y los eventos adversos de la naturaleza.

G3. Incluir la variable de gestión de riesgos de desastres en todos los niveles de acción en territorio.

G10. Desarrollar e implementar sistemas de alerta para gestionar los riesgos de desastres en todos los niveles territoriales.

G11. Incorporar en el ordenamiento del territorio medidas para la implementación de programas de relocalización y reubicación de asentamientos humanos en zonas de riesgo no mitigable (Secretaría Nacional de Planificación, 2021, págs. 76,77).

2.14 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Amenaza: Se considera como la probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento latentemente desastroso durante un determinado tiempo, en un lugar determinado (ARBOLEDA, 2001).

Análisis: Es un proceso en el cual se pueden identificar y evaluar las características presentes en un lugar determinado (ARBOLEDA, 2001).

CSiBridge: es un software totalmente independiente que integra las capacidades de modelado, análisis y dimensionamiento de estructuras de puentes en un único modelo, para satisfacer las necesidades de los profesionales de ingeniería (Spain, 2011).

Desastre: Es una interrupción grave en el funcionamiento de la comunidad en alguna escala, debido a la interacción de eventos peligrosos con las condiciones de exposición y de vulnerabilidad que conlleven a pérdidas o impactos de alguno de los siguientes tipos: humanos, materiales, económicos o ambientales que requiere atención del Estado central (RIESGOS, 2018).

Deterioro: Empeoramiento del estado y la calidad de estructuras (LARA, 2017).

Diagnóstico: El diagnóstico es el resultado del análisis de riesgos, en donde se puede valorar y establecer las estrategias de acción (CENAPRED, 2014).

Estimación del Riesgo: Es un procedimiento de levantamiento de información que se lo efectúa para conocer las posibles causas del fenómeno (CENAPRED, 2014).

Evaluación: Consiste en la búsqueda de información y en su comunicación para la toma de decisiones (RIESGOS, 2018).

Evento Peligroso: Es la manifestación o materialización de una o varias amenazas en un período de tiempo específico (RIESGOS, 2018).

Exposición: Se considera como la condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo (RIESGOS, 2018).

Infraestructura: Una infraestructura constituye instalaciones públicas que unen partes de la ciudad y proporcionan los servicios básicos que la ciudad necesita para el funcionamiento, como la red de caminos y servicios públicos (Reduction, 2011).

Mantenimiento: Son acciones que se toman para evitar la degradación de objetos, evitando la limitación de su vida útil (SALAZAR, 2009).

Magnitud de un Sismo: Se lo considera a la magnitud de un sismo como el número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada. Se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1000 (Geofísica, 2008).

Material de construcción: Son cuerpos físicos, con una extensión limitada y propiedades específicas, que se colocan en un orden y debida proporción, para elaborar una obra de infraestructura (Cañas, 2006).

Medidas de Reforzamiento Estructural: Acción para incrementar la resistencia de una estructura o sus componentes, para mejorar la estabilidad estructural de la construcción (Swisscontact, 2015).

Método Cualitativo: El método cualitativo evita la cuantificación, su análisis es mediante registros narrativos de los fenómenos que son estudiados mediante técnicas como la observación participante y las entrevistas no estructuradas (Álvarez, 2011).

Método Cuantitativo: Es un método de investigación que se mide en términos numéricos, analizando y comprobando una investigación (Álvarez, 2011).

Patología estructural: Se lo considera como el estudio de las enfermedades de los procesos anormales de causas conocidas o desconocidas. Para probar la existencia de una patología, se examina la existencia de una lesión en sus niveles estructurales

Prevención de Riesgos: Actividades y medidas encaminadas a evitar los riesgos de desastres existentes y nuevos (RIESGOS, 2018).

Riesgo sísmico: Se lo considera como las consecuencias sociales y económicas inducidas por un terremoto como consecuencia de la falla de estructuras donde su capacidad de resistencia fue excedida por el terremoto (RIESGOS, 2018).

SIPUMEX: Sistema de Administración de Puentes denominado Sistema Integral de Puentes Mexicanos. Esta metodología contempla, entre lo más importante desde el punto de vista estructural, las características geométricas, ubicación con coordenadas geográficas, material y tipo de estructura, fecha de construcción, etc. Además, posee la información de las reparaciones realizadas, así como una calificación de 0 a 5 que define el estado que guarda el puente desde el punto de vista estructural. Esta calificación informa si el puente está en excelentes condiciones (calificación 0) o si ha rebasado su límite último y requiere de atención urgente (calificación 5) (Acosta, Moreno, & Madrid, 2010).

2.15 SISTEMAS DE VARIABLES

2.15.1 Variable Independiente

Amenaza Sísmica

2.15.2 Variable Dependiente

Vulnerabilidad de los Elementos Estructurales en los puentes

2.16 Operacionalización de Variables

Tabla 4. Descripción de la Variable Independiente.

| VARIABLE INDEPENDIENTE | | | | | | |
|------------------------|---|-----------|-------------|-------------------|--------------|---|
| Variable | Definición | Dimensión | Indicadores | Ítems/Escala | | Técnica e instrumentos |
| | | | | ESCALA DE RICHTER | | |
| Amenaza sísmica | Amenaza sísmica es un término técnico que cuantifica la probabilidad estadística de que ocurra un sismo o un terremoto de cierta magnitud en un lugar determinado dentro de un período de tiempo. | Tectónico | Magnitud | Menos de 2,0 | Micro | Entrevista a los actores sociales. Revisión bibliográfica. |
| | | | | 2,0-2,9 | Menor | |
| | | | | 3,0-3,9 | | |
| | | | | 4,0-4,9 | Ligero | |
| | | | | 5,0-5,9 | Moderado | |
| | | | | 6,0-6,9 | Fuerte | |
| | | | | 7,0-7,9 | Mayor | |
| | | | | 8,0-8,9 | Catastrófico | |
| | | | | 9,0-9,9 | | |

| | | | | ESCALA DE MERCALLI | | |
|--|--|-----------|--------------------|----------------------------|----------------|--|
| | | | Intensidad | I. Imperceptible | <5 | |
| | | | | II. Muy Leve | 5-10 | |
| | | | | III. Leve | 10-20 | |
| | | | | IV. Moderado | 20-40 | |
| | | | | V. Poco Fuerte | 40-80 | |
| | | | | VI. Fuerte | 80-160 | |
| | | | | VII. Muy Fuerte | 160-320 | |
| | | | | VIII. Destructivo | 320-640 | |
| | | | | IX. Muy Destructivo | 640-1280 | |
| | | | | X. Desastroso | 1280-2560 | |
| | | | | XI. Muy Desastroso | 2560-5120 | |
| | | | | XII. Catastrófico | >5120 | |
| | | Geológico | Aceleración máxima | Muy alta | ≥ 0.50 | Cartografía digital, utilización de sistemas de información geográfica (ARCGIS). |
| | | | | Alta | 0,25 – 0,40 | |
| | | | | Intermedia | 0,15 | |
| | | | Tipo de fallas | Normal | Tracción | |
| | | | | Inversa | Compresión | |
| | | | | Transversal | Desplazamiento | |

Nota: Operacionalización de la variable independiente, elaboración propia, 2023.

Tabla 5. Descripción de la Variable Dependiente.

| VARIABLE DEPENDIENTE | | | | | |
|---|---|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Variable | Definición | Dimensión | Indicadores | Ítems/Escala | Técnica e instrumentos |
| Vulnerabilidad de los elementos estructurales en los puentes. | Se refiere a la vulnerabilidad de los elementos estructurales del puente a verse afectados o dañados cuando se someten a fuerzas sísmicas junto con otras cargas estructurales. | Análisis cualitativo | Cimentación | 1. Sin daño | |
| | | | | 2. Moderadamente vulnerable | |
| | | | | 3. Vulnerable | |
| | | | Irregularidad en la Subestructura | 1. Sin daño | |
| | | | | 2. Moderadamente vulnerable | |
| | | | | 3. Vulnerable | |
| | | | Irregularidad en Superestructura | 1. Sin daño | |
| | | | | 2. Moderadamente vulnerable | |
| | | | | 3. Vulnerable | |
| | | | Juntas de Expansión | 1. Sin daño | |
| | | | | 2. Moderadamente vulnerable | |
| | | | | 3. Vulnerable | |
| Estribos | 1. Sin daño | | | | |
| | 2. Poco vulnerable | | | | |
| | 3. Moderadamente vulnerable | | | | |

| | | | | | |
|--|--|-----------------------|-----------------------|---|--|
| | | | | 4. Vulnerable | Guía de observación Ficha técnica (SIPUMEX) |
| | | | | 5. Muy vulnerable | |
| | | Pilas | | 1. Sin daño | |
| | | Pilas | | 2. Poco vulnerable | |
| | | Pilas | | 3. Moderadamente vulnerable | |
| | | Pilas | | 4. Vulnerable | |
| | | Apoyos | | 1. Sin daño | |
| | | Apoyos | | 2. Poco vulnerable | |
| | | Apoyos | | 3. Moderadamente vulnerable | |
| | | Apoyos | | 4. Vulnerable | |
| | | Trabes | | 1. Sin daño | |
| | | Trabes | | 2. Poco vulnerable | |
| | | Trabes | | 3. Moderadamente vulnerable | |
| | | Trabes | | 4. Vulnerable | |
| | | Trabes | | 5. Muy vulnerable | |
| | | Análisis cuantitativo | Modelado paramétrico. | 1. Determinar la capacidad a fuerza cortante y momento flector de las vigas del puente. | |
| | | | | 2. Determinar el factor de capacidad RF de las vigas a nivel de operación. | |

| | | | | | |
|--|--|---|--|--|---|
| | | | | 3. Deflexiones de las vigas del puente. | Herramientas Computacionales (modelamiento en CSiBridge). |
| | | Análisis y dimensionamiento de la estructura. | | 1. Cálculos automáticos de los periodos de vibración y rigidez. | |
| | | | | 2. Análisis de secuencia constructiva, incluyendo efectos diferidos de fluencia, retracción. | |
| | | Análisis de secuencia constructiva. | | 1. Comportamiento de la estructura | |
| | | | | 2. Desplazamientos | |
| | | | | 3. Resistencia | |
| | | | | 4. Envejecimiento del hormigón. | |

Nota: Operacionalización de la variable dependiente, elaboración propia, 2023.

CAPÍTULO III

3.1 MARCO METODOLÓGICO

3.2 Nivel de Investigación

Nivel Descriptivo

El nivel de investigación del presente estudio de caso fue descriptivo con un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), ya que se busca especificar las características de los elementos estructurales para la determinación de su comportamiento ante un probable evento sísmico. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refiere. (Maimone, 2010)

Por lo antes mencionado este estudio de caso se enmarca en el nivel descriptivo no experimental ya que nos permitió identificar el nivel de vulnerabilidad estructural de los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe de la ciudad de Guaranda ante la amenaza sísmica, con los parámetros establecidos en las matrices de observación directa de la ficha técnica de Evaluación de Vulnerabilidad ante Fenómenos Sísmicos (SIPUMEX) y el modelamiento en CSi Bridge.

Metodología

En este trabajo la metodología a utilizar es de observación directa Evaluación de Vulnerabilidad ante Fenómenos Sísmicos (SIPUMEX), con su respectiva matriz de ponderación adaptadas para el Estudio de la Vulnerabilidad Estructural de los Puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe de la ciudad de Guaranda ante la Amenaza Sísmica.

Evaluación de Vulnerabilidad Ante Fenómenos Sísmicos

(SIPUMEX) La presente metodología estudia 12 parámetros importantes para la determinación del grado de vulnerabilidad de puentes ante un evento sísmico, estos parámetros fueron obtenidos mediante aportes propuestos por profesionales expertos en la evaluación de sistemas viales, los mismos que recomendaron un procedimiento de fácil estimación logrando una evaluación visual no muy larga.

Cada parámetro recibe una calificación entre “0” y “5” dependiendo de su fragilidad, obtenida mediante una inspección visual y un análisis técnico de la estructura, siendo “5”

la calificación más desfavorable. Se uniformaron algunos criterios para definir los valores de los parámetros mediante la solución de una ecuación de múltiples variables y suponiendo un total de 100% en todos ellos.

Tabla 6. Ficha Técnica SIPUMEX

| | | | |
|-----------------------------------|--|---------------------------------|----|
| DATOS INFORMATIVOS | | INSPECTOR: | |
| Nombre del puente: | | Fecha: | |
| Nombre del río: | | CIMENTACION | |
| Nombre de la vía | | | |
| Año de construcción: | | Roca: | |
| Mantenimiento: | | Arcilla: | |
| UBICACIÓN | | Granular: | |
| Sector: | | TIPOS DE ELEMENTOS | |
| Ciudad: | | Estribos: | |
| Provincia: | | Pilas: | |
| CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE | | Apoyos: | |
| Simplemente apoyado: | | Trabes: | |
| Continúa: | | ESTADO DEL REVESTIMIENTO | |
| Tramos: | | Bueno: | |
| Atirantado: | | Regula: | |
| Colgante: | | Malo: | |
| Otros (Especifique): | | UTILIDAD PUENTE | |
| ESTÁNDARES DE DISEÑO | | Puente Peatonal: | |
| NORMA MOP 2002: | | Puente Vehicular: | |
| VERSIÓN ANTERIOR: | | GEOMETRÍA | |
| NO APLICA NORMA: | | Longitud: | |
| IMPORTANCIA DEL PUENTE | | Ancho Total: | |
| Red Comunitaria: | | Irregularidad de Pilas: | |
| Red Secundaria: | | Número de Vías: | |
| Red Básica: | | COORDENADAS UTM | X: |
| Autopista: | | | Y: |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la ficha técnica SIPUMEX

| | PARÁMETRO | CATEGORÍA | | | | | Wi | Yi | Wi* Yi |
|----|-----------------------------------|------------------------------------|--|--|-------------------------------------|---|--------|----|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | Año de Construcción | >1993 | 1985 – 1993 | 1977 – 1985 | 1959 – 1977 | 1959 < | 0.1154 | 4 | 0,4616 |
| 2 | Irregularidad en la Subestructura | Ninguna | - | Altura de pilas \neq 1.5 a 2 veces | - | Altura de pilas \neq 5 veces | 0.1154 | 3 | 0,3462 |
| 3 | Irregularidad en Superestructura | Esviaje: <10 | Esviaje: $10^{\circ} \leq \alpha < 30^{\circ}$ | Esviaje: $30^{\circ} \leq \alpha < 45^{\circ}$ | - | Esviaje: > 45° | 0.1154 | 2 | 0,2308 |
| 4 | Cimentación | Roca | - | Arcilla | - | Granular | 0.1154 | 3 | 0,3462 |
| 5 | Importancia del Puente | Camino D | Camino C | Camino B | - | Camino A | 0.0962 | 3 | 0,2886 |
| 6 | Peligrosidad Sísmica | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D | Zona E | 0.1346 | 4 | 0,5384 |
| 7 | Juntas de Expansión | Claros <1 | Claros entre 2 y 3 | Claros entre 4 y 5 | - | Claros > 5 | 0.0192 | 3 | 0,0576 |
| 8 | Estribos | Con aleros integrados, de concreto | Con aleros integrados, de mampostería | Pilotes con cabezal, de concreto | Pilotes con cabezal, de mampostería | Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén) | 0.0384 | 1 | 0,0384 |
| 9 | Pilas | Pila sólida, concreto | Pila sólida, mampostería. | Columna sola con cabezal | Columna sola | Otros | 0.0769 | 1 | 0,0769 |
| 10 | Apoyos | Apoyo deslizante | De neoprenos | - | Apoyo rolado | Contacto Directo | 0.0769 | 2 | 0,1538 |
| 11 | Trabes | Vano único | Vigas monolíticas | Vigas continuas | Vigas simplemente soportadas | Vanos múltiples | 0.0769 | 1 | 0,0769 |
| 12 | Estado de Conservación | Acción de mantenimiento <5 años | - | Acción de mantenimiento > 5 años | - | No se ha realizado mantenimiento | 0.0577 | 5 | 0,2885 |
| | | | | | | | | | |

Tabla 7. *Parámetro 1. Categoría "Año de Construcción".*

| AÑO DE CONSTRUCCIÓN | GRADO DE FRAGILIDAD | COMENTARIOS |
|----------------------------|----------------------------|---|
| >1993 | 1 | Puentes construidos desde el año 1993 hasta la actualidad |
| 1985 – 1993 | 2 | Puentes construidos entre los años 1985 y 1993 |
| 1977 – 1985 | 3 | Puentes construidos entre los años 1977 y 1985 |
| 1959 – 1977 | 4 | Puentes construidos entre los años 1959 y 1977 |
| 1959 < | 5 | Puentes construidos antes del año 1959 |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros del año de construcción de la ficha SIPUMEX.

Tabla 8. *Parámetro 2 Categorías "Irregularidad en la Subestructura".*

| IRREGULARIDAD EN LA SUBESTRUCTURA | GRADO DE FRAGILIDAD | COMENTARIOS |
|--|----------------------------|--|
| Ninguna | 1 | Modelo Regular |
| Altura de pilas \neq 1.5 a 2 veces | 3 | Cuando la variación entre la pila central y extrema sea diferente de 1.5 a 2 veces |
| Altura de pilas \neq 5 veces | 5 | Cuando la variación entre la pila central y extrema sea diferente de 5 veces. |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la irregularidad en la subestructura de la ficha SIPUMEX.

Tabla 9. *Parámetro 3 " Irregularidad en la Superestructura".*

| IRREGULARIDAD EN LA SUPERESTRUCTURA | GRADO DE FRAGILIDAD | COMENTARIOS |
|--|----------------------------|---|
| Esviaje: $<10^\circ$ | 1 | Ángulo de esviaje menor a 10° |
| Esviaje: $10^\circ \leq \alpha < 30^\circ$ | 2 | Ángulo de esviaje mayor o igual a 10° y menor que 30° |
| Esviaje: $30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$ | 3 | Ángulo de esviaje mayor o igual a 30° y menor que 45° |
| Esviaje: $> 45^\circ$ | 5 | Ángulo de esviaje mayor a 45° |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la irregularidad en la superestructura de la ficha SIPUMEX.

Tabla 10. *Parámetro 4. Categorías "Cimentación".*

| TIPO DE SUELO | GRADO DE FRAGILIDAD |
|----------------------|----------------------------|
| Roca | 1 |
| Arcilla | 3 |
| Granular | 5 |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la categoría Cimentación.

Tabla 11. *Parámetro 5. Categorías "Importancia del Puente".*

| TIPO CAMINO | GRADO DE FRAGILIDAD | COMENTARIOS |
|--------------------|----------------------------|--------------------|
| Camino D | 1 | Red comunitaria |
| Camino C | 2 | Red secundaria |
| Camino B | 3 | Red básica |
| Camino A | 5 | Autopista |

Tabla 12. *Importancia del Puente.*

| SIPUMEX | Red Vial Ecuatoriana | Comentario |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Red Comunitaria | Red Cantonal | Caminos vecinales |
| Red Secundaria | Red Secundaria | Calles que alimentan a la red |

| | | |
|------------|--------------|-------------------------|
| | | básica |
| Red Básica | Red Primaria | Principales avenidas |
| Autopista | Autopista | Autopista, vías rápidas |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la categoría de la Importancia del puente de la ficha SIPUMEX.

Tabla 13. *Parámetro 6. Categorías “Peligrosidad Sísmica”*

| ZONA | GRADO DE FRAGILIDAD | LA ACELERACIÓN SÍSMICA |
|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| Zona A | 1 | a. Max < 0.1g |
| Zona B | 2 | 0.1g ≤ a. Max < 0.2g |
| Zona C | 3 | 0.2g ≤ a. Max < 0.4g |
| Zona D | 4 | 0.4g ≤ a. Max < 0.7g |
| Zona E | 5 | a. Max ≥ 0.7 g |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la categoría Peligrosidad Sísmica de la ficha SIPUMEX

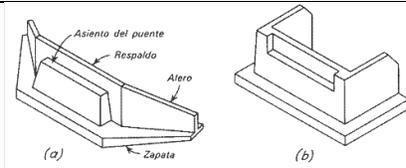
Tabla 14. *Parámetro 7. Categorías “Juntas de Expansión”*

| NÚMERO DE CLAROS | GRADO DE FRAGILIDAD | COMENTARIOS |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Claros <1 | 1 | Un solo claro |
| Claros entre 2 y 3 | 2 | Dos o tres claros |
| Claros entre 4 y 5 | 3 | Cuatro o cinco claros |
| Claros > 5 | 5 | Más de cinco claros |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la categoría Juntas de Expansión de la ficha SIPUMEX

Tabla 15. *Parámetro 8. Categorías “Estribos”*

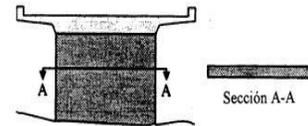
| ESTRIBOS | GRADO DE FRAGILIDAD | COMENTARIOS |
|-----------------|----------------------------|--------------------|
|-----------------|----------------------------|--------------------|

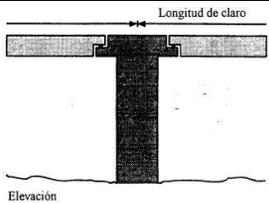
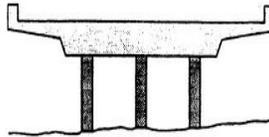
| | | |
|---------------------------------------|---|---|
| Con aleros integrados, de concreto | 1 |  <p>Una pila central soportando el apoyo del puente y de dos aleros para retener el terraplén. Los tres elementos descansan en una sola zapata. Si los aleros están en ángulo recto con la pila, la estructura se llama estribo en U.</p> |
| Con aleros integrados, de mampostería | 2 | Mismo esquema que estribos con aleros de concreto, pero de ladrillo o bloque. |
| Pilotes con cabezal, de concreto | 3 | |

| | | |
|---|---|--|
| | |  <p>Dos o más columnas verticales con un cabezal que soporta los apoyos del puente.</p> |
| Pilotes con cabezal, de mampostería | 4 | Mismo esquema que estribos con pilotes con cabezal, pero de ladrillo o bloque. |
| Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén) | 5 | Cimentados sobre terraplén |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la categoría Estribos de la ficha SIPUMEX

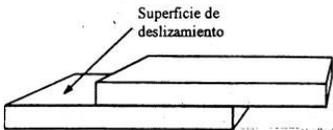
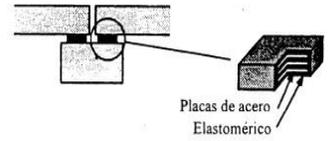
Tabla 16. Parámetro 9. Categorías "Pilas"

| PILAS | GRADO DE FRAGILIDAD | COMENTARIOS |
|--|---------------------|---|
| Pila tipo pantalla, concreto | 1 |  |
| Pila tipo pantalla con mampostería estructural | 2 | Igual esquema que la pila sólida, pero de ladrillo o bloque. |

| | | |
|--|---|---|
| Pila con cabezal, tablero simplemente apoyado. | 3 |  |
| Dos o más columnas sin cabezal | 4 |  |
| Otros | 5 | Estructuras que carecen de datos. |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la categoría Pilas de la ficha SIPUMEX

Tabla 17. Parámetro 10 Categorías “Apoyos”

| APOYOS | GRADO DE FRAGILIDAD | COMENTARIOS |
|------------------|---------------------|---|
| Apoyo Deslizante | 1 |  |
| De Neoprenos | 2 |  |
| Apoyo Rolado | 3 |  |
| Contacto Directo | 5 | No existen apoyos |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la categoría Apoyos de la ficha SIPUMEX

Tabla 18. Categoría "Trabes"

| TRABES | GRADO DE FRAGILIDAD | COMENTARIOS |
|-------------------|---------------------|--|
| Vano Único | 1 | Vano: Espacio que queda por debajo de un puente entre dos apoyos consecutivos. |
| Vigas Monolíticas | 2 | Puentes de hormigón cuya tipología responde a un único tablero de luz corta-media (entre 30 y 50 m). |

| | | |
|------------------------------|---|--|
| Vigas Continuas | 3 | Poseen una superestructura rígida, de vigas en celosía (de acero de alma llena u hormigón), apoyada en tres o más pilas; admiten grandes luces, pero son muy sensibles a los asentamientos de las pilas. |
| Vigas Simplemente Soportadas | 4 | Vigas simplemente apoyadas. |
| Vanos Múltiples | 5 | Estructura con más de un vano. |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la categoría Trabes de la ficha SIPUMEX.

Tabla 19. Categoría “Estado de Conservación”

| ESTADO DE CONSERVACIÓN | GRADO DE FRAGILIDAD | COMENTARIOS |
|----------------------------------|---------------------|---|
| Acción de mantenimiento <5 años | 1 | Si se ha hecho algún mantenimiento a la estructura en los últimos 5 años. |
| Acción de mantenimiento > 5 años | 3 | Si se ha hecho algún mantenimiento a la estructura en algún momento. |
| No se ha realizado mantenimiento | 5 | No se ha realizado mantenimiento a la estructura. |

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la categoría Estado de Conservación de la ficha SIPUMEX

Una vez analizados los doce parámetros, categorías y ponderaciones de cada puente, se calcula el índice de vulnerabilidad ante un evento sísmico con el uso de la siguiente Ecuación:

$$IV_{MG} = \sum_{i=1}^{12} Y_i * W_i$$

Donde:

IV_{MG} = Índice de vulnerabilidad por acción sísmica.

Y_i = Valor de categoría por cada parámetro.

W_i = Ponderación por cada parámetro.

| <i>IV_{MG}</i> | Calificación Cualitativa |
|------------------------|---|
| 0 | Puente recientemente construido o separado. Sin problemas |
| 1 | Puente en buen estado. No requiere atención |
| 2 | Estructuras con problemas menores, plazo de atención indefinido |
| 3 | Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años |
| 4 | Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años |
| 5 | Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible. |

Σ = Sumatoria de términos.

Tomando el resultado de la sumatoria de términos, se procede a redondear para proseguir a la tabla de índice de vulnerabilidad visto que dicha tabla muestra solo números enteros, se redondeara el resultado del cálculo por cada 0.5 con el inmediato superior.

Tabla 20. *Indicador de Vulnerabilidad*

| ÍNDICE DE VULNERABILIDAD | DESCRIPCIÓN |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1 | Sin daño |
| 2 | Poco vulnerable |
| 3 | Moderadamente vulnerable |
| 4 | Vulnerable |
| 5 | Muy vulnerable |

Nota. Esta tabla muestra los Indicadores y la Categorización de Vulnerabilidad de la metodología SIPUMEX

Modelamiento en CSiBridge: este modelo estructural nos permitió establecer el comportamiento del puente de la vía Santa Fe en sus diferentes estados de carga, las fuerzas cortantes, momentos de flexión en la superestructura. Además, se obtuvo un análisis modal de los periodos de vibración, rigidez y envejecimiento del hormigón.

3.3 Tipo de Investigación

Cualitativo:

Se realizó el análisis del estado de los elementos estructurales de los puentes mediante la aplicación de la ficha técnica de Evaluación Estructural de Puentes ante Fenómenos Sísmicos (SIPUMEX).

Cuantitativo:

Mediante los datos obtenidos del modelamiento con el software CSiBridge se obtuvieron valores de los cálculos automáticos de los periodos de vibración, rigidez y el análisis de secuencia constructiva, incluyendo efectos diferidos de fluencia, retracción y envejecimiento del hormigón de los puentes; indicando el índice de vulnerabilidad.

3.4 Diseño de la Investigación

Transversal.

El presente estudio de caso es de carácter transversal, se analizó los datos de las variables recopiladas en un tiempo determinado en la zona de estudio.

No experimental

El estudio de caso se sustenta en un proceso observacional donde se describirán las características de los elementos estructurales de los puentes, aspectos que permitirán definir el grado de vulnerabilidad estructural.

De Campo.

Se efectuó las inspecciones de campo con las respectivas fichas técnicas en los puentes de la vía Vinchoa y Sante Fe, para poder determinar las condiciones actuales de los elementos estructurales; permitiendo obtener datos reales.

3.5 Población y Muestra

Para el desarrollo del estudio de caso no aplica el cálculo de la muestra ya que la información recolectada corresponde a fuentes secundarias.

Pero se analizó el estado de los elementos estructurales de los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe a través de la aplicación de la ficha técnica (SIPUMEX) y el modelamiento en CSiBridge.

3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el desarrollo del presente estudio de caso se ha tomado en cuenta una serie de métodos y técnicas, que nos ayudara a solucionar el problema y cumplir con los objetivos propuestos.

- **Revisión bibliográfica:** Se recopiló información de artículos científicos, PDOT de Guaranda, documentos de sitios web, mapas, planos, fotografías, estudios similares y Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS 10.5).

- **Entrevistas:** se realizó un acercamiento con las autoridades del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Pública), con la finalidad de obtener información necesaria para el desarrollo del estudio de caso.
- **Matriz de la Metodología de Evaluación de Vulnerabilidad ante Fenómenos**

| <i>IV_{MG}</i> | Calificación Cualitativa |
|------------------------|---|
| 0 | Puente recientemente construido o separado. Sin problemas |
| 1 | Puente en buen estado. No requiere atención |
| 2 | Estructuras con problemas menores, plazo de atención indefinido |
| 3 | Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años |
| 4 | Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años |
| 5 | Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible. |

Sísmicos: ficha técnica (SIPUMEX).

La interpretación del nivel de vulnerabilidad física – estructural a la que están expuestas los puentes de la vía Vinchoa y vía Santa Fe será presentada a través de la siguiente matriz.

Tabla 21. *Indicadores de vulnerabilidad*

| ÍNDICE DE VULNERABILIDAD | DESCRIPCIÓN |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1 | Sin daño |
| 2 | Poco vulnerable |
| 3 | Moderadamente vulnerable |
| 4 | Vulnerable |
| 5 | Muy vulnerable |

Nota. Esta tabla muestra los Indicadores y la Categorización de Vulnerabilidad de la metodología SIPUMEX

- **Observación directa:** mediante esta técnica se implementó fichas técnicas de observación en los puentes (vía Vinchoa y vía Santa Fe) para determinar de manera cualitativa el grado de vulnerabilidad física – estructural.
- **Modelamiento CSiBridge:** se obtuvo valores de cálculos automáticos de los periodos de vibración, rigidez, análisis de la secuencia constructiva y efectos diferidos de retracción y envejecimiento del hormigón.

Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos (Estadísticos utilizado), para cada uno de los objetivos específicos

Objetivo 1: Para el cumplimiento el primer objetivo: Analizar la situación actual de los elementos estructurales de los puentes de la Vía Vinchoa ($x=722961 - y= 9823522$ y Santa Fe ($x=722285 - y=9821643$), esto se logró mediante la revisión bibliografía, entrevistas y el método de observación directa el cual fue requerido para el análisis y validación de la información.

Objetivo 2: Para el cumplimiento el segundo objetivo: Evaluar la vulnerabilidad estructural de los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe mediante la aplicación de la metodología SIPUMEX y un modelamiento a través del software CSi Bridge, se recolectó la información mediante la observación directa y la aplicación de las fichas técnicas en los puentes para identificar las características de los elementos estructurales y así evaluar el grado de vulnerabilidad de manera cualitativa.

Realizamos las reuniones necesarias con las autoridades del MTOP para la obtención de planos que nos facilitaron la elaboración del modelamiento.

Objetivo 3: Para el cumplimiento con el tercer objetivo: Proponer medidas de prevención para el mantenimiento de los puentes de la vía Vinchoa y Sante Fe ante el riesgo sísmico en base al análisis de vulnerabilidad, se dará a conocer cuáles son las posibles medidas que se deben aplicar para prevenir el riesgo.

CAPITULO IV

4.1 RESULTADOS O LOGROS ALCANZADOS SEGÚN LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

4.1.1 Resultado del objetivo 1

Analizar la situación actual de los elementos estructurales de los puentes de la Vía Vinchoa y Santa Fe.

Puente de la vía Vinchoa

El puente de la vía Guaranda – Vinchoa fue construido aproximadamente en el año de 1990 y tiene una longitud de 31m de largo por 10 m de ancho, el sistema estructural del puente está compuesto de un solo tramo, 4 vigas de 1,20 de alto por 50cm de grosor y de 2 aleros integrados, de concreto, un alero a cada extremo del puente.

Figura 13. *Identificación del Puente de la Vía Vinchoa.*



Nota. Adaptado de Google Earth *Identificación del puente de la vía Vinchoa*, por elaboración propia, 2023.

Identificación de los Elementos Estructurales del puente de la vía Santa Fe

1. Juntas de expansión. - En el diseño del puente de la Vía Guaranda – Vinchoa se visualiza que es de un solo tramo por lo tanto no existen las juntas de expansión.

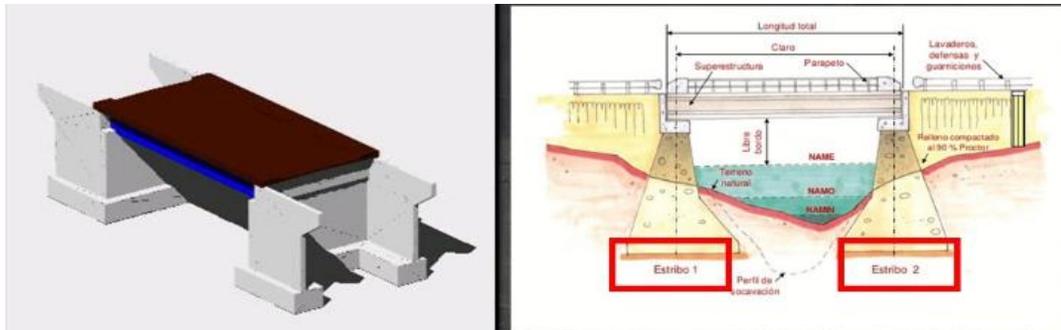
Fotografía N° 1. Juntas de Expansión – Puentes vía Vinchoa.



Nota. Identificación de las juntas de expansión del puente de la vía Vinchoa, elaboración propia, 2023.

- 2. Estribos.** - Los estribos son el apoyo extremo de un puente, el cual recibe la reacción de un tramo de puente y soporta a su vez el empuje de tierra. Por lo tanto, los estribos del puente de la vía Guaranda – Vinchoa se encuentra con un desgaste ya que con las intensas precipitaciones que se produce producen año tras año hace que aumente el caudal del río y esto a su vez va debilitando.

Figura 14. Estribos.



Nota. Adaptado de *Estribos y sus funciones*, por Structuralia, 2021, (<https://blog.structuralia.com/estribos-en-puentes-tipologia-y-materiales>).

- 3. Pilas.** - En el diseño de este puente las pilas son de tipo pantalla de hormigón que mediante la evaluación de la resistencia del hormigón que se realizó si cumplen con la normativa NEC anterior que es de 210 kg/cm².

Fotografía N° 2. Pilas – Puente vía Vinchoa.



Nota. Identificación de las Pilas del puente de la vía Vinchoa, elaboración propia, 2023.

- 4. Apoyos.** - se observó que en el puente existe 4 neoprenos 2 a cada extremo del puente, los cuales aún existen y están intactas. Esto se utiliza para reducir las vibraciones causadas por los vehículos en los puentes y es de material de caucho sintético.

Fotografía N° 3. Apoyos – Puente vía Vinchoa.



Nota. Identificación de los apoyos del puente de la vía Vinchoa, elaboración propia, 2023.

5. **Trabes.** - Se visualizó que en la categoría trabes es de Vano único: Espacio que queda por debajo de un puente entre dos apoyos consecutivos.

Fotografía N° 4. *Trabes – Puente vía Vinchoa.*



Nota. Identificación de los Trabes del puente de la vía Vinchoa, elaboración propia, 2023.

6. **Superestructura.** - El tablero que soporta directamente las cargas se encuentran en buen estado. El puente está diseñado con 4 vigas horizontales de un diámetro de 1.20 cm de alto y 50 cm de espesor, esto hace que el puente sea resistente a las cargas vehiculares.

Fotografía N° 5. *Superestructura – Puente vía Vinchoa.*



Nota. Identificación de la superestructura del puente de la vía Vinchoa, elaboración propia, 2023.

Puente de la vía Santa Fe

Se realizó una inspección en campo para aplicar una ficha técnica y así identificar el estado actual de los elementos estructurales del puente de la vía Santa Fe.

El puente de la vía Santa Fe se localiza en la carretera Guaranda – Balsapamba sobre el río Salinas, fue construido en el año 1973, tiene aproximadamente 49 años de operación y posee una longitud de 68.39m, la estructura del puente fue construida en hormigón armado y su configuración estructural corresponde a un puente de tipo losa con pilares intermedios y estribos en los extremos. Fue diseñado bajo normativas y parámetros en los años 70's y para un tráfico promedio diario anual (TPDA) significativamente menos al actual.

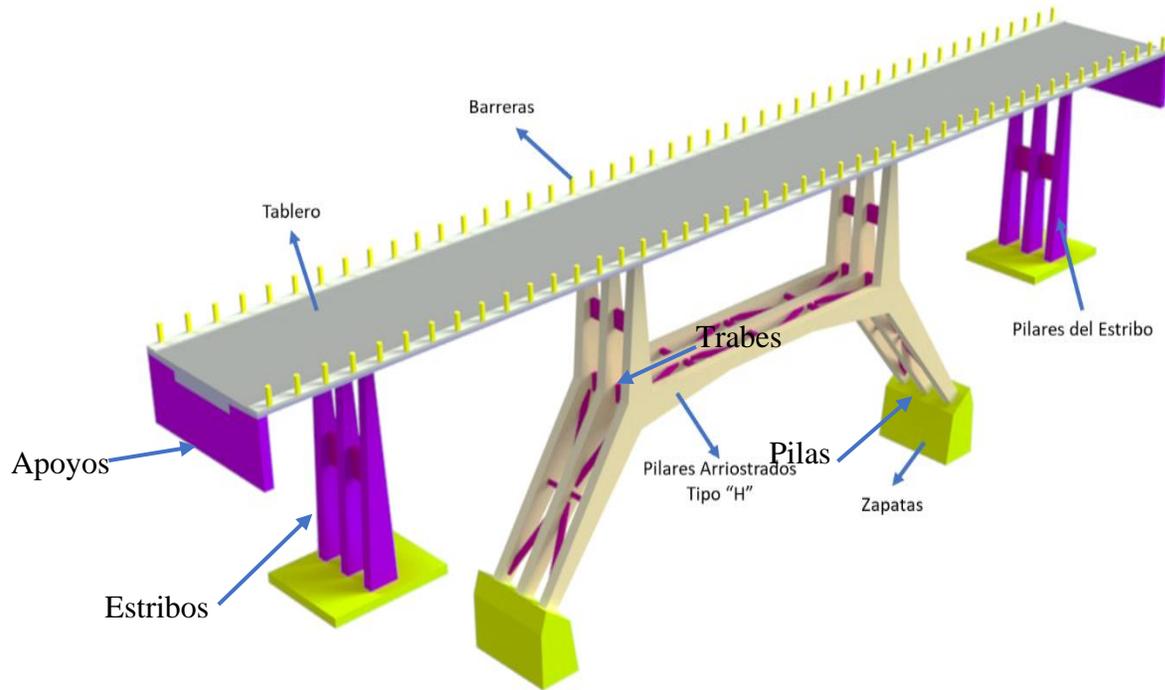
En general el puente presenta un mantenimiento deficiente que ha provocado un deterioro en los miembros estructurales; se puede apreciar la existencia de baches sobre la carpeta asfáltica, presenta desprendimiento de hormigón, la junta de construcción se muestra a desnivel de la carpeta.

Figura 15. *Identificación del Puente de la vía Santa Fe.*



Nota. Adaptado de *Puente sobre el río Salinas*, por Guaranda Tv, 2022, (<https://youtu.be/PIH0iVVTZOU>).

Figura 16. *Identificación de los Elementos Estructurales del puente de la vía Santa Fe*



Nota. Elementos Estructurales del puente de la vía a Santa Fe, Elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Descripción de los elementos estructurales del puente de la vía Santa Fe

- 1. Cimentación.** – la cimentación del puente se asienta sobre un suelo firme constituido en la mayoría por fragmentos de roca en una matriz de arena limosa, presenta un deterioro en su estructura, debido a la erosión del suelo y el paso de los años.

Fotografía N° 6. *Cimentación – Puente vía Santa Fe.*



Nota. Identificación de la Cimentación del Puente de Santa Fe, elaboración propia, 2023.

- 2. Estribos.** – en los estribos se observó un deterioro a causa de los deslizamientos de tierra producto de las lluvias que año tras año se presenta en la zona y a los cambios de temperatura constantes típicos de la región.

Fotografía N° 7. Estribos – Puente vía Santa Fe.



Nota. Identificación de los Estribos del Puente de Santa Fe, elaboración propia, 2023.

- 3. Pilas.** – se observó que la funcionalidad de las pilas se ha deteriorado a causa de los diferentes fenómenos naturales suscitados en la zona y los cambios de temperatura constantes en la región.

Fotografía N° 8. Pilas – Puente vía Santa Fe.



Nota. Identificación de las Pilas del Puente de Santa Fe, elaboración propia, 2023.

- 4. Apoyos.** – se observó que los apoyos que se encuentran en los extremos del puente tienen contacto directo debido a la inexistencia de neoprenos, lo cual provoca: mayor carga en la losa, movimientos y choques fuertes entre los tramos por el paso de los vehículos.

Fotografía N° 9. Apoyos – Puentes vía Santa Fe.



Nota. Identificación de los Apoyos del Puente de Santa Fe, elaboración propia, 2023.

5. Juntas de Expansión. – se observó que poseen una abertura de 10cm las cuales se agrandan debido a las vibraciones por el tránsito vehicular y movimientos relativos de la superestructura, las acciones tomadas por parte de las autoridades correspondientes es rellenar estos orificios con asfalto para de esta forma controlar que se produzcan daños a los revestimientos internos y externos de la estructura.

Fotografía N° 10. *Juntas de Expansión – Puente vía Santa Fe.*



Nota. Identificación de las Juntas de Expansión del Puente de Santa Fe, elaboración propia, 2023.

6. Subestructura. – sirve de sustento a la superestructura se encuentra conformada por apoyos, pilas, estribos y cimentación. La superestructura del puente de la vía Santa Fe se encuentra libre sin soporte debido a los deslizamientos de tierra, lo cual produce más carga en la losa provocando movimientos y choques fuertes entre los tramos; también se evidencia el deterioro en la resistencia de hormigón.

Fotografía N° 11. *Subestructura – Puente vía Santa Fe.*



Nota. Identificación de la Subestructura del Puente de Santa Fe, elaboración propia, 2023.

7. Superestructura. – el tablero muestra deformaciones permanentes perceptibles a simple vista, en la superestructura también existe la presencia de corrosión del acero de refuerzo.

Fotografía N° 12. *Superestructura – Puente vía Santa Fe.*



Nota. Identificación de la Superestructura del Puente de Santa Fe, elaboración propia, 2023.

4.1.2 Resultado del objetivo 2

Evaluar la vulnerabilidad estructural de los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe mediante la aplicación de la metodología SIPUMEX y un modelamiento a través del software CSi Bridge.

Ficha Técnica de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Fenómenos Sísmicos (SIPUMEX)

| | | | |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------|--|
| DATOS INFORMATIVOS | | INSPECTOR: | Bladimir Agualongo Alexandra Guamán |
| Nombre del puente: | Puente Guaranda | Fecha: | 30/01/2023 |
| Nombre del río: | Río Guaranda | CIMENTACION | |
| Nombre de la vía | Vía Guaranda – Vinchoa | Roca: | |
| Año de construcción: | 1990 | Arcilla: | X |
| Mantenimiento: | NO | Granular: | |
| UBICACIÓN | | TIPOS DE ELEMENTOS | |
| Sector: | El Peñón | Estribos: | Con aleros integrados, de concreto |
| Ciudad: | Guaranda | Pilas: | Pila tipo pantalla, concreto |
| Provincia: | Bolívar | Apoyos: | De Neoprenos |
| CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE | | Trabes: | Vano Único |
| Simplemente apoyado: | | ESTADO DEL REVESTIMIENTO | |
| Continua: | X | Bueno: | |
| Tramos: | | Regula: | X |
| Atirantado: | | Malo: | |
| Colgante: | | UTILIDAD PUENTE | |
| Otros (Especifique): | | Puente Peatonal: | |
| ESTÁNDARES DE DISEÑO | | Puente Vehicular: | X |
| NORMA MOP 2002: | | GEOMETRÍA | |
| VERSIÓN ANTERIOR: | X | Longitud: | 30.50 m |
| NO APLICA NORMA: | | Ancho Total: | 10 m |
| IMPORTANCIA DEL PUENTE | | Irregularidad de Pilas: | X |
| Red Comunitaria: | | Número de Vías: | 2 |
| Red Secundaria: | | COORDENADAS UTM | X: 722961 |
| Red Básica: | X | | Y: 9823522 |
| Autopista: | | | |

| | PARÁMETRO | CATEGORÍA | | | | | Wi | Yi | Wi* Yi |
|----|-----------------------------------|------------------------------------|--|--|-------------------------------------|---|--------|----|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | Año de Construcción | >1993 | 1985 - 1993 | 1977 - 1985 | 1959 - 1977 | 1959 < | 0.1154 | 2 | 0,2308 |
| 2 | Irregularidad en la Subestructura | Ninguna | - | Altura de pilas $\neq 1.5$ a 2 veces | - | Altura de pilas $\neq 5$ veces | 0.1154 | 1 | 0,1154 |
| 3 | Irregularidad en Superestructura | Esviaje: <10 | Esviaje: $10^\circ \leq \alpha < 30^\circ$ | Esviaje: $30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$ | - | Esviaje: > 45° | 0.1154 | 2 | 0,2308 |
| 4 | Cimentación | Roca | - | Arcilla | - | Granular | 0.1154 | 3 | 0,3462 |
| 5 | Importancia del Puente | Camino D | Camino C | Camino B | - | Camino A | 0.0962 | 3 | 0,2886 |
| 6 | Peligrosidad Sísmica | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D | Zona E | 0.1346 | 3 | 0,4038 |
| 7 | Juntas de Expansión | Claros <1 | Claros entre 2 y 3 | Claros entre 4 y 5 | - | Claros > 5 | 0.0192 | 1 | 0,0192 |
| 8 | Estribos | Con aleros integrados, de concreto | Con aleros integrados, de mampostería | Pilotes con cabezal, de concreto | Pilotes con cabezal, de mampostería | Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén) | 0.0384 | 1 | 0,0384 |
| 9 | Pilas | Pila sólida, concreto | Pila sólida, mampostería. | Columna sola con cabezal | Columna sola | Otros | 0.0769 | 1 | 0,0769 |
| 10 | Apoyos | Apoyo deslizante | De neoprenos | - | Apoyo rolado | Contacto Directo | 0.0769 | 2 | 0,1538 |
| 11 | Trabes | Vano único | Vigas monolíticas | Vigas continuas | Vigas simplemente soportadas | Vanos múltiples | 0.0769 | 1 | 0,0769 |
| 12 | Estado de Conservación | Acción de mantenimiento <5 años | - | Acción de mantenimiento > 5 años | - | No se ha realizado mantenimiento | 0.0577 | 5 | 0,2885 |
| | | | | | | | | | 2,3 |

Una vez analizados los doce parámetros, categorías y ponderaciones de cada puente, se calcula el índice de vulnerabilidad ante un evento sísmico con el uso de la siguiente Ecuación.

Donde:

$$IV_{MG} = \sum_{i=1}^{12} Y_i * W_i$$

IV_{MG} = Índice de vulnerabilidad por acción sísmica.

Y_i = Valor de categoría por cada parámetro.

W_i = Ponderación por cada parámetro.

\sum = Sumatoria de términos.

Tomando el resultado de la sumatoria de términos, se procede a redondear para proseguir a la tabla de índice de vulnerabilidad visto que dicha tabla muestra solo números enteros, se redondeara el resultado del cálculo por cada 0.5 con el inmediato superior.

Tabla 22. *Indicadores de Vulnerabilidad*

| IV_{MG} | Calificación Cualitativa |
|-----------|---|
| 0 | Puente recientemente construido o separado. Sin problemas |
| 1 | Puente en buen estado. No requiere atención |
| 2 | Estructuras con problemas menores, plazo de atención indefinido |
| 3 | Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años |
| 4 | Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años |
| 5 | Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible. |

| ÍNDICE DE VULNERABILIDAD | DESCRIPCIÓN |
|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Sin daño |
| 2 | Poco vulnerable |
| 3 | Moderadamente vulnerable |
| 4 | Vulnerable |
| 5 | Muy vulnerable |

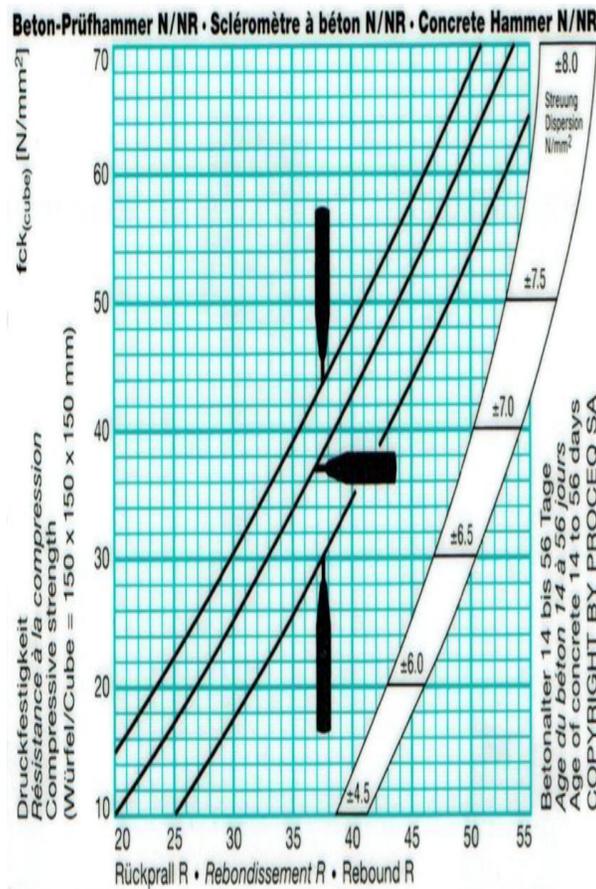
Nota: Esta tabla muestra la calificación cualitativa obtenida del puente de la vía Vinchoa, mediante la metodología SIPUMEX.

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO POR MEDIO DEL ESCLEROMETRO

Tabla 23. Muestras del Esclerómetro – Puente vía Vinchoa.

| | |
|--|------------------------|
| Identificación de la Estructura | Puente vía Vinchoa. |
| Fecha de Ensayo | 11 de febrero del 2023 |
| Orientación | Horizontal/ Vertical |
| Marca y serie del Esclerómetro | Proceq/ N° 34-072538 |

RESULTADOS DEL ENSAYO EN CAMPO.



| ANGULO DE IMPACTO α | | | | | |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|
| R | $\alpha-90^\circ$ | $\alpha-45^\circ$ | 0° | $\alpha+45^\circ$ | $\alpha+90^\circ$ |
| 20 | 125 | 115 | | | |
| 21 | 135 | 125 | | | |
| 22 | 145 | 135 | 110 | | |
| 23 | 160 | 145 | 120 | | |
| 24 | 170 | 160 | 130 | | |
| 25 | 180 | 170 | 140 | 100 | |
| 26 | 198 | 185 | 158 | 115 | |
| 27 | 210 | 200 | 165 | 130 | 105 |
| 28 | 220 | 210 | 180 | 140 | 120 |
| 29 | 238 | 220 | 190 | 150 | 138 |
| 30 | 250 | 238 | 210 | 170 | 145 |
| 31 | 260 | 250 | 220 | 180 | 160 |
| 32 | 280 | 265 | 238 | 190 | 170 |
| 33 | 290 | 280 | 250 | 210 | 190 |
| 34 | 310 | 290 | 260 | 220 | 200 |
| 35 | 320 | 310 | 280 | 238 | 218 |
| 36 | 340 | 320 | 290 | 250 | 230 |
| 37 | 350 | 340 | 310 | 265 | 245 |
| 38 | 370 | 350 | 320 | 280 | 260 |
| 39 | 380 | 370 | 340 | 300 | 280 |
| 40 | 400 | 380 | 350 | 310 | 295 |
| 41 | 410 | 400 | 370 | 330 | 310 |
| 42 | 425 | 415 | 380 | 345 | 325 |
| 43 | 440 | 430 | 400 | 360 | 340 |
| 44 | 460 | 450 | 420 | 380 | 360 |
| 45 | 470 | 460 | 430 | 395 | 375 |
| 46 | 490 | 480 | 450 | 410 | 390 |
| 47 | 500 | 495 | 465 | 430 | 410 |
| 48 | 520 | 510 | 480 | 445 | 430 |
| 49 | 540 | 525 | 500 | 460 | 445 |
| 50 | 550 | 540 | 515 | 480 | 460 |
| 51 | 570 | 560 | 530 | 500 | 480 |
| 52 | 580 | 570 | 550 | 515 | 500 |
| 53 | 600 | 590 | 565 | 530 | 520 |
| 54 | MAS DE 600 | MAS DE 600 | 580 | 550 | 530 |
| 55 | MAS DE 600 | MAS DE 600 | 600 | 570 | 550 |

RESULTADOS DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO CON EL ESCLEROMETRO EN EL PUENTE DE LA VIA VINCHOA.

| Del Esclerómetro | | | Del ensayo en Campo | | | | | | | | | | | | | | | Resultados | | | | | | | |
|------------------|----------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|-----------------|--------------------------|--------------------------|-------------|---|
| Area | Elemento | Características de la Superficie | Tipo de martillo y serie | Fecha de Verificación | Orientación | Numero de Rebote | | | | | | | | | | | | | | | Rebote Promedio | Dureza Elastica (Kg/cm2) | Promedio Dureza (Kg/cm2) | Observación | |
| | | | | | | 32 | 30 | 28 | 29 | 30 | 33 | 31 | 28 | 31 | 28 | 28 | 28 | 30 | 28 | 33 | | | | | 28 |
| PT01 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072538 | 11/2/2023 | Horizontal | 32 | 30 | 28 | 29 | 30 | 33 | 31 | 28 | 31 | 28 | 28 | 28 | 30 | 28 | 33 | 28 | 30 | 210 | 223 | Una vez realizado el ensayo con el esclerometro en el puente de la via Vinchoa se observó que si cumple con la resistencia a compresión de acuerdo a la normativa anterior que es de 210 Km/cm2 |
| PT02 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072539 | 11/2/2023 | Horizontal | 27 | 35 | 28 | 30 | 36 | 31 | 34 | 31 | 28 | 28 | 30 | 31 | 28 | 34 | 26 | 30 | 30 | 210 | | |
| PT03 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072540 | 11/2/2023 | Horizontal | 32 | 28 | 28 | 28 | 30 | 28 | 32 | 35 | 26 | 22 | 30 | 28 | 30 | 32 | 30 | 34 | 30 | 210 | | |
| PT04 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072541 | 11/2/2023 | Horizontal | 29 | 30 | 34 | 37 | 37 | 33 | 37 | 34 | 38 | 40 | 34 | 40 | 40 | 38 | 42 | 40 | 36 | 290 | | |
| PT05 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072542 | 11/2/2023 | Horizontal | 38 | 32 | 28 | 34 | 28 | 27 | 33 | 28 | 30 | 28 | 24 | 32 | 28 | 26 | 32 | 30 | 30 | 210 | | |
| PT06 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072543 | 11/2/2023 | Horizontal | 30 | 30 | 32 | 28 | 28 | 28 | 28 | 32 | 30 | 32 | 32 | 30 | 28 | 35 | 32 | 32 | 30 | 210 | | |

**Ficha Técnica de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Fenómenos Sísmicos
(SIPUMEX)**

| | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--|
| DATOS INFORMATIVOS: | | INSPECTOR: | Bladimir Agualongo Alexandra Guamán |
| Nombre del puente: | Santa Fe | Fecha: | 30 – 01 – 2023 |
| Nombre del río: | Salinas | CIMENTACIÓN | |
| Nombre de la vía: | Guaranda – Balsapamba | | |
| Año de construcción: | 1973 | Roca: | |
| Mantenimiento: | NO | Arcilla: | X |
| UBICACIÓN | | Granular: | |
| Sector: | “Las Palamas” | TIPOS DE ELEMENTOS | |
| Ciudad: | Guaranda | Estribos: | Con aleros integrados, de concreto. |
| Provincia: | Bolívar | Pilas: | Pila sólida, concreto. |
| CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE | | Apoyos: | Contacto Directo. |
| Simplemente apoyado: | | Trabes: | Vigas simplemente apoyadas. |
| Continua: | | ESTADO DEL REVESTIMIENTO | |
| Tramos: | X | Bueno: | |
| Atirantado: | | Regular: | X |
| Colgante: | | Malo: | |
| Otros (Especifique): | | UTILIDAD PUENTE | |
| ESTÁNDARES DE DISEÑO | | Puente Peatonal: | |
| NORMA MOP 2002: | | Puente Vehicular: | X |
| VERSIÓN ANTERIOR: | X | GEOMETRÍA | |
| NO APLICA NORMA: | | Longitud: | 68.39m |
| IMPORTANCIA DEL PUENTE | | Ancho Total: | 9m |
| Red Comunitaria: | | Irregularidad de Pilas: | X |
| Red Secundaria: | | Número de Vías: | 2 |
| Red Básica: | X | COORDENADAS UTM | X: 722285 |
| Autopista: | | | Y: 9821643 |

| | PARÁMETRO | CATEGORÍA | | | | | Wi | Yi | Wi* Yi |
|----|-----------------------------------|------------------------------------|--|--|-------------------------------------|---|--------|----|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | Año de Construcción | >1993 | 1985 - 1993 | 1977 - 1985 | 1959 - 1977 | 1959 < | 0.1154 | 4 | 0,4616 |
| 2 | Irregularidad en la Subestructura | Ninguna | - | Altura de pilas \neq 1.5 a 2 veces | - | Altura de pilas \neq 5 veces | 0.1154 | 5 | 0,577 |
| 3 | Irregularidad en Superestructura | Esviaje: <10 | Esviaje: $10^{\circ} \leq \alpha < 30^{\circ}$ | Esviaje: $30^{\circ} \leq \alpha < 45^{\circ}$ | - | Esviaje: > 45° | 0.1154 | 2 | 0,2308 |
| 4 | Cimentación | Roca | - | Arcilla | - | Granular | 0.1154 | 3 | 0,3462 |
| 5 | Importancia del Puente | Camino D | Camino C | Camino B | - | Camino A | 0.0962 | 3 | 0,2886 |
| 6 | Peligrosidad Sísmica | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D | Zona E | 0.1346 | 3 | 0,4038 |
| 7 | Juntas de Expansión | Claros <1 | Claros entre 2 y 3 | Claros entre 4 y 5 | - | Claros > 5 | 0.0192 | 3 | 0,0576 |
| 8 | Estribos | Con aleros integrados, de concreto | Con aleros integrados, de mampostería | Pilotes con cabezal, de concreto | Pilotes con cabezal, de mampostería | Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén) | 0.0384 | 1 | 0,0384 |
| 9 | Pilas | Pila sólida, concreto | Pila sólida, mampostería. | Columna sola con cabezal | Columna sola | Otros | 0.0769 | 1 | 0,0769 |
| 10 | Apoyos | Apoyo deslizante | De neoprenos | - | Apoyo rolado | Contacto Directo | 0.0769 | 5 | 0,3845 |
| 11 | Trabes | Vano único | Vigas monolíticas | Vigas continuas | Vigas simplemente apoyadas | Vanos múltiples | 0.0769 | 4 | 0,3076 |
| 12 | Estado de Conservación | Acción de mantenimiento <5 años | - | Acción de mantenimiento > 5 años | - | No se ha realizado mantenimiento | 0.0577 | 5 | 0,2885 |
| | | | | | | | | | 3,5 |

Una vez analizados los doce parámetros, categorías y ponderaciones de cada puente, se calcula el índice de vulnerabilidad ante un evento sísmico con el uso de la siguiente ecuación:

$$IV_{MG} = \sum_{i=1}^{12} Y_i * W_i$$

Donde:

IV_{MG} = Índice de vulnerabilidad por acción sísmica.

Y_i = Valor de categoría por cada parámetro.

W_i = Ponderación por cada parámetro.

Σ = Sumatoria de términos.

Tomando el resultado de la sumatoria de términos, se procede a redondear para proseguir a la tabla de índice de vulnerabilidad visto que dicha tabla muestra solo números enteros, se redondeara el resultado del cálculo por cada 0.5 con el inmediato superior.

Tabla 24. Indicadores de Vulnerabilidad

| IV_{MG} | Calificación Cualitativa |
|-----------|---|
| 0 | Puente recientemente construido o separado. Sin problemas |
| 1 | Puente en buen estado. No requiere atención |
| 2 | Estructuras con problemas menores, plazo de atención indefinido |
| 3 | Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años |
| 4 | Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años |
| 5 | Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible. |

| ÍNDICE DE VULNERABILIDAD | DESCRIPCIÓN |
|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Sin daño |
| 2 | Poco vulnerable |
| 3 | Moderadamente vulnerable |
| 4 | Vulnerable |
| 5 | Muy vulnerable |

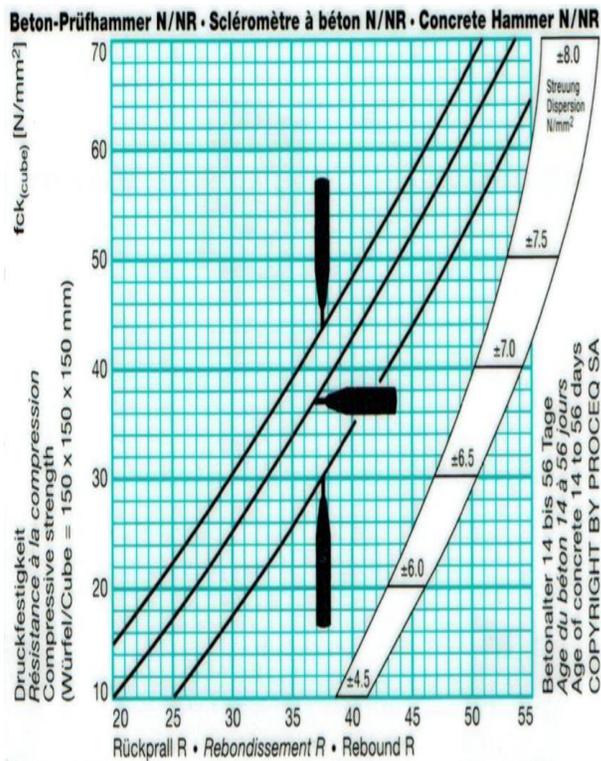
Nota: Esta tabla muestra la calificación cualitativa obtenida del puente de Santa FE, mediante la metodología SIPUMEX.

4.1.3 VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO POR MEDIO DEL ESCLEROMETRO

Tabla 25. Muestras del Esclerómetro – Puente vía Santa Fe.

| | |
|--|---------------------------|
| Identificación de la Estructura | Puente de la vía Santa Fe |
| Fecha de Ensayo | 11 de febrero del 2023 |
| Orientación | Horizontal |
| Marca y serie del Esclerómetro | Proceq/ N° 34-072538 |

RESULTADOS DE ENSAYO EN CAMPO



| ANGULO DE IMPACTO α | | | | | |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|
| R | $\alpha-90^\circ$ | $\alpha-45^\circ$ | 0° | $\alpha+45^\circ$ | $\alpha+90^\circ$ |
| 20 | 125 | 115 | | | |
| 21 | 135 | 125 | | | |
| 22 | 145 | 135 | 110 | | |
| 23 | 160 | 145 | 120 | | |
| 24 | 170 | 160 | 130 | | |
| 25 | 180 | 170 | 140 | 100 | |
| 26 | 198 | 185 | 158 | 115 | |
| 27 | 210 | 200 | 165 | 130 | 105 |
| 28 | 220 | 210 | 180 | 140 | 120 |
| 29 | 238 | 220 | 190 | 150 | 138 |
| 30 | 250 | 238 | 210 | 170 | 145 |
| 31 | 260 | 250 | 220 | 180 | 160 |
| 32 | 280 | 265 | 238 | 190 | 170 |
| 33 | 290 | 280 | 250 | 210 | 190 |
| 34 | 310 | 290 | 260 | 220 | 200 |
| 35 | 320 | 310 | 280 | 238 | 218 |
| 36 | 340 | 320 | 290 | 250 | 230 |
| 37 | 350 | 340 | 310 | 265 | 245 |
| 38 | 370 | 350 | 320 | 280 | 260 |
| 39 | 380 | 370 | 340 | 300 | 280 |
| 40 | 400 | 380 | 350 | 310 | 295 |
| 41 | 410 | 400 | 370 | 330 | 310 |
| 42 | 425 | 415 | 380 | 345 | 325 |
| 43 | 440 | 430 | 400 | 360 | 340 |
| 44 | 460 | 450 | 420 | 380 | 360 |
| 45 | 470 | 460 | 430 | 395 | 375 |
| 46 | 490 | 480 | 450 | 410 | 390 |
| 47 | 500 | 495 | 465 | 430 | 410 |
| 48 | 520 | 510 | 480 | 445 | 430 |
| 49 | 540 | 525 | 500 | 460 | 445 |
| 50 | 550 | 540 | 515 | 480 | 460 |
| 51 | 570 | 560 | 530 | 500 | 480 |
| 52 | 580 | 570 | 550 | 515 | 500 |
| 53 | 600 | 590 | 565 | 530 | 520 |
| 54 | MAS DE 600 | MAS DE 600 | 580 | 550 | 530 |
| 55 | MAS DE 600 | MAS DE 600 | 600 | 570 | 550 |

RESULTADOS DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO CON EL ESCLEROMETRO EN EL PUENTE DE SANTA FE.

| | | | Del Esclerómetro | | | Del ensayo en Campo | | | | | | | | | | | | | Resultados | | | | | | |
|------|----------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-----|-----|--|
| Area | Elemento | Características de la Superficie | Tipo de martillo y serie | Fecha de Verificación | Orientación | Numero de Rebote | | | | | | | | | | | | | Rebote Promedio | Dureza Elastica (Kg/cm2) | Promedio Dureza (Kg/cm2) | Observación | | | |
| | | | | | | 29 | 30 | 35 | 34 | 32 | 32 | 32 | 36 | 36 | 36 | 32 | 40 | 36 | | | | | 35 | 35 | 32 |
| PT01 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072538 | 11/2/2023 | Horizontal | 29 | 30 | 35 | 34 | 32 | 32 | 32 | 36 | 36 | 36 | 32 | 40 | 36 | 35 | 35 | 32 | 34 | 260 | 238 | Una vez realizado el ensayo con el esclerometro en el puente de la via Santa Fe se observó que si cumple con la resistencia a compresión de acuerdo a la normativa NEC anterior que es de 210 Km/cm2 |
| PT02 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072539 | 11/2/2023 | Horizontal | 36 | 36 | 36 | 33 | 38 | 38 | 42 | 36 | 30 | 34 | 38 | 36 | 32 | 29 | 35 | 36 | 35 | 280 | | |
| PT03 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072540 | 11/2/2023 | Horizontal | 30 | 32 | 32 | 30 | 28 | 32 | 31 | 28 | 30 | 32 | 32 | 34 | 28 | 32 | 28 | 29 | 31 | 220 | | |
| PT04 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072541 | 11/2/2023 | Horizontal | 32 | 38 | 32 | 30 | 28 | 31 | 36 | 28 | 30 | 29 | 28 | 30 | 28 | 29 | 26 | 26 | 30 | 210 | | |
| PT05 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072542 | 11/2/2023 | Horizontal | 30 | 28 | 28 | 26 | 28 | 26 | 26 | 28 | 30 | 28 | 28 | 28 | 28 | 27 | 27 | 26 | 28 | 180 | | |
| PT06 | Columnas | Pulida | Proceq/ N° 34-072543 | 11/2/2023 | Horizontal | 38 | 34 | 42 | 34 | 30 | 34 | 36 | 32 | 38 | 38 | 38 | 40 | 28 | 28 | 36 | 34 | 35 | 280 | | |

4.1.4 Modelamiento para el Análisis Estructural del Puente de la Vía Santa Fe

La estructura del puente fue construida en hormigón armado y su configuración estructural corresponde a un puente tipo losa con pilares intermedios arriostrados y estribos en el extremo, el puente fue diseñado bajo normativas y parámetros de los años 70's y para un tráfico promedio diario anual (TPDA) significativamente menor al actual. Además, los camiones de carga que circulan hoy en día son de mayor carga que los vehículos de diseño del puente (Triana & Villalta, 2020).

Fotografía N° 13. Vehículos pesados transitando por los carriles del puente.



Nota. Adaptado de Puente sobre el río Salinas, por Guaranda Tv, 2022, (<https://youtu.be/PIH0iVVTZOU>).

4.1.5 Alcance del análisis estructural.

El análisis estructural contemplará una evaluación del puente mediante un modelo computacional elaborado y compilado en el software CSiBridge bajo una licencia educativa. En el software se someterá al puente a cargas gravitacionales, vehiculares y sísmicas. En base a los resultados obtenidos mediante el software se evaluará si el puente tiene la capacidad de resistir las fuerzas de demanda establecidas en las normativas vigentes.

En el software CSiBridge se modelará el tablero, los pilares arriostrados y los estribos del puente. Es decir, se modelará la superestructura y la subestructura soportante del tablero. Para la evaluación estructural se empleará la metodología descrita en el *Manual for Bridge Evaluation* en su 3ra Edición (AASHTO, Manual for Bridge Evaluation, 2018). En síntesis, la metodología empleada relaciona la capacidad estructural del puente con la demanda vehicular y sísmica a la que está expuesta.

Modelo computacional del puente

El software que se utilizará para el análisis estructural es CSiBridge. Este paquete computacional utiliza el método de los elementos finitos para el cálculo de fuerzas internas: momento flecto, fuerza cortante y fuerza axial. También se pueden simular en el software la fuerza sísmica mediante el espectro de diseño.

Figura 17. Portada del software CSiBridge versión 24.

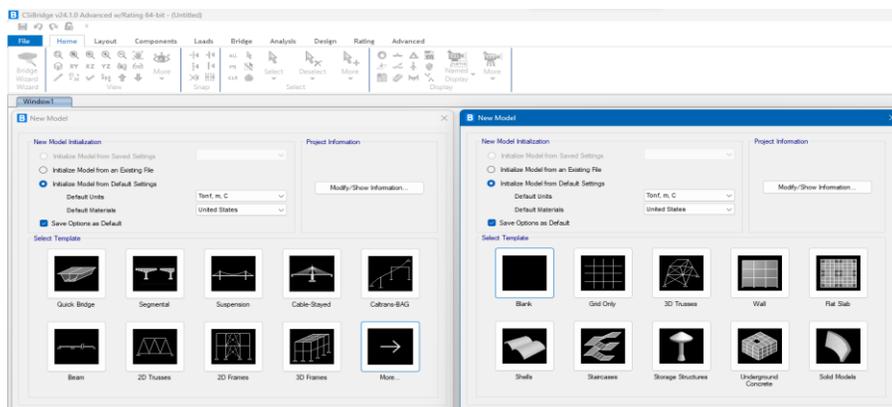


Nota. Adaptado de Portada del software CSiBridge version 24, por CSi (<https://www.csiamerica.com/>).

En las siguientes secciones se describirá el proceso seguido para elaborar el modelo computacional según los parámetros geométricos y mecánicos del puente.

Para inicializar un archivo en CSiBridge, se crea un nuevo modelo en blanco, a través de la pestaña *File/New*. Se abrirá una ventana en donde se indica el sistema de unidades en las que se diseñará y la plantilla en blanco, ya que se modelará todos los elementos según la configuración establecida en los planos de levantamiento del puente.

Figura 18. Definición del modelo en blanco



Nota. Definición del modelo en blanco, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.6 Definición de materiales

La estructura del hormigón está conformada por hormigón y acero de refuerzo. Considerando que el puente fue construido en el año 1973, se considerará un hormigón de resistencia degradada, mientras que el acero se modelará considerando un acero de refuerzo ASTM Grado 60.

Tabla 26. *Propiedades mecánicas de los materiales*

| Material | Esfuerzo | Módulo de Elasticidad | Densidad |
|----------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------|
| | (kg/cm ²) | (kg/cm ²) | (kg/m ³) |
| Hormigón Debilitado | 180.00 | 160996.89 | 2402.76 |
| Acero de Refuerzo A615Gr60 | 4218.41 | 2038901.90 | 7849.04 |

Nota. Esta tabla muestra las propiedades mecánicas de los materiales en el modelamiento, elaboración propia, 2023.

El módulo de elasticidad del hormigón fue estimado usando la siguiente relación:

$$E_c = 12000\sqrt{f'_c}$$

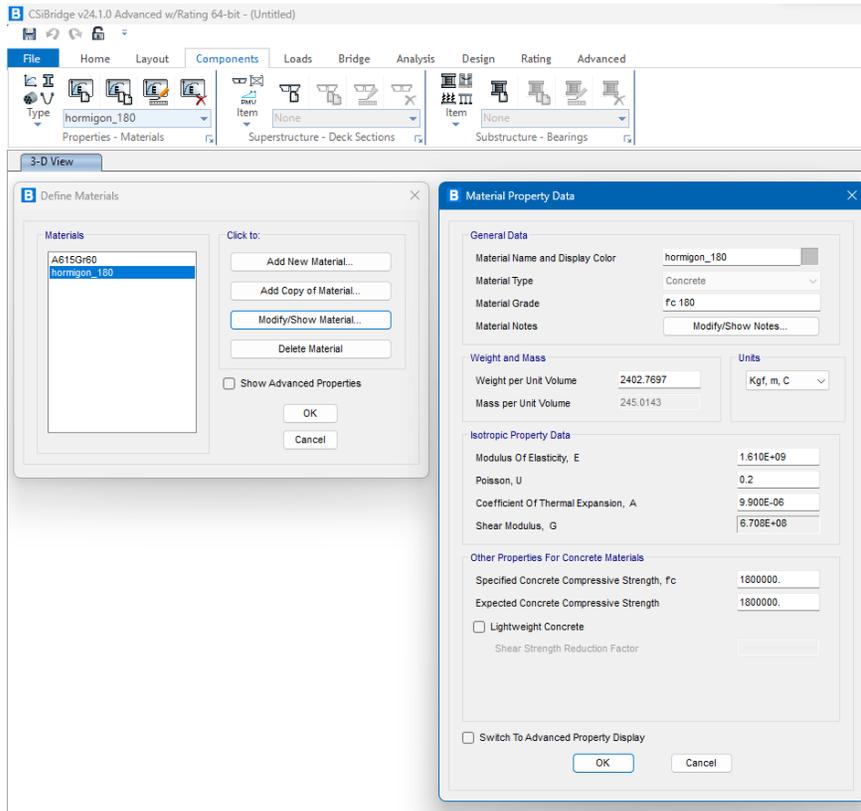
Donde:

E_c : Módulo de elasticidad del hormigón en kg/cm².

f'_c : Resistencia a la compresión del hormigón, se consideró 210 kg/cm².

Estos parámetros se ingresan en el software en la pestaña *Components/Materials*. En la figura siguiente se muestra la definición del hormigón.

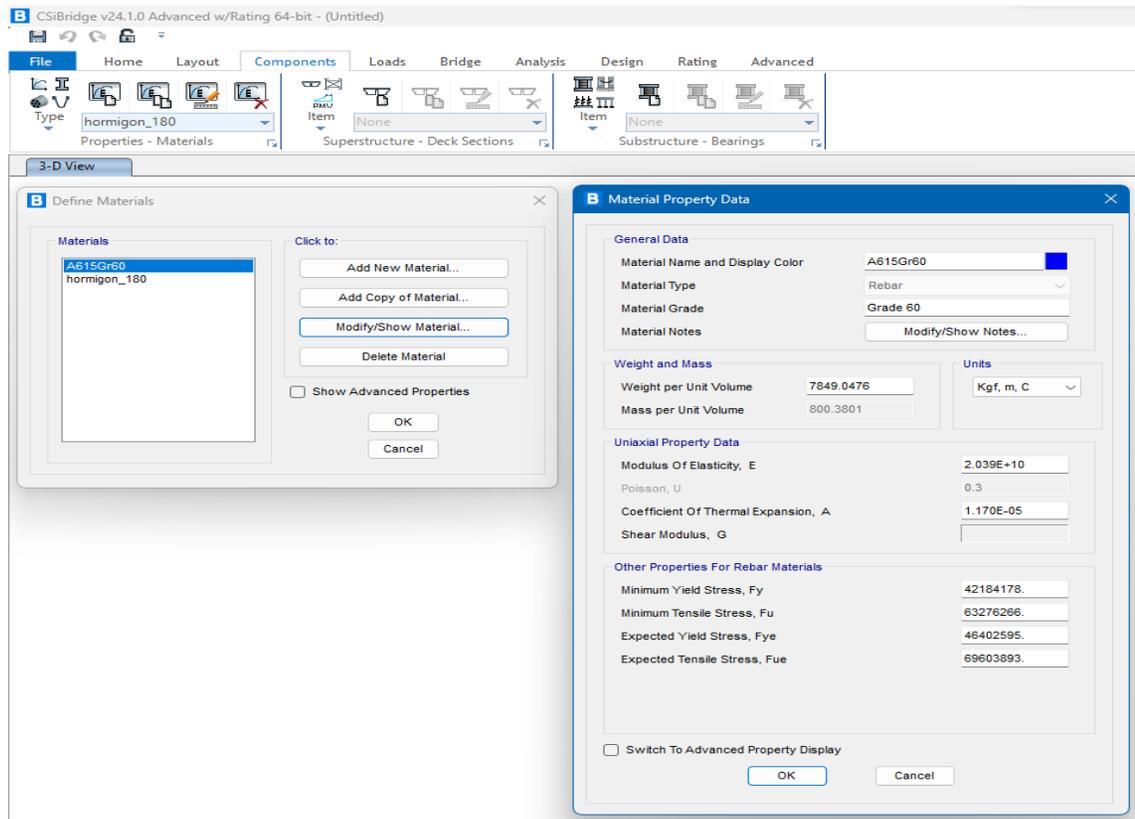
Figura 19. Definición del material hormigón.



Nota. Definición de materiales de Hormigón, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Se realiza lo mismo para el acero. La siguiente figura ilustra los parámetros considerados para la definición del acero de refuerzo.

Figura 20. Definición del material acero de refuerzo.



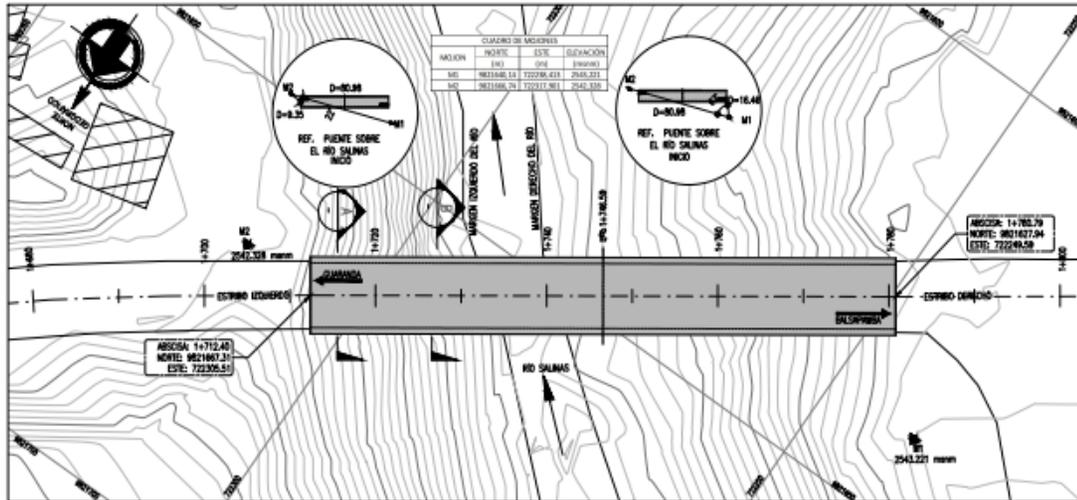
Nota. Definición del material acero de refuerzo, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.7 Geometría de la estructura el puente

Como ya se mencionó anteriormente, el puente está conformado por un tablero de 68.10 m de longitud que se apoya sobre pilares arriostrados en la parte intermedia y sobre estribos en los extremos. Se cuenta con planos de evaluación en los que constan las dimensiones y la configuración de los elementos estructurales (MTOP, 2022).

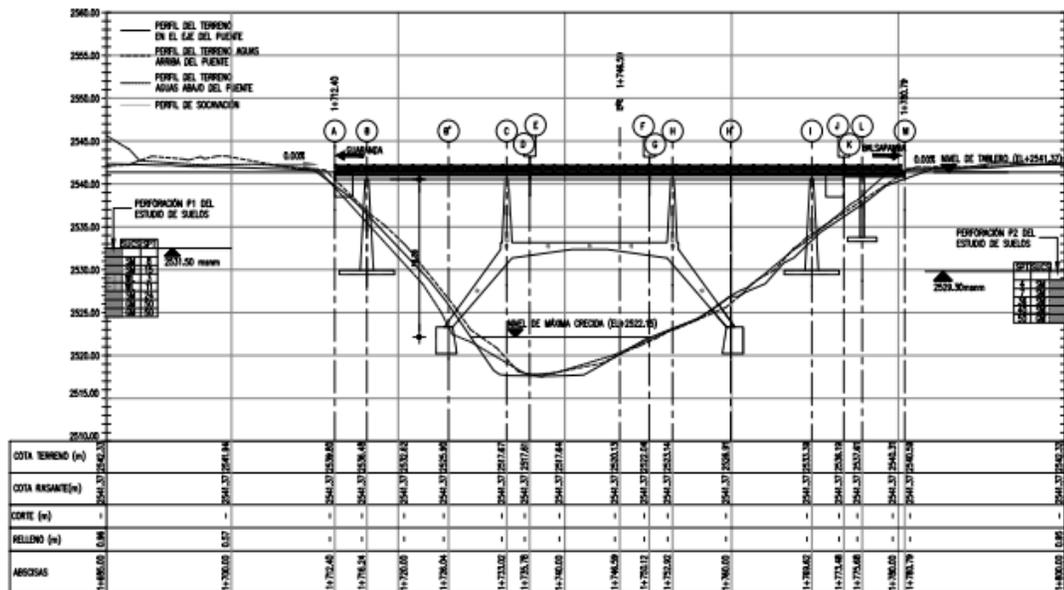
Siguiendo las especificaciones de los planos, se han definido las secciones y la distribución de los elementos estructurales. En la sección de **Anexo: Planos de Evaluación**, se puede apreciar las láminas proporcionadas por el MTOP de donde se obtuvieron las medidas y armados de acero de los elementos estructurales del puente.

Figura 21. Planta del Puente de la vía Santa Fe



Nota. Adaptado de *Planta del Puente de la Vía Santa Fe* (pág. 16), por MTOP, 2022, Estudio de Evaluación del Puente sobre el Río Salinas.

Figura 22. Elevación del Puente de la vía Santa Fe

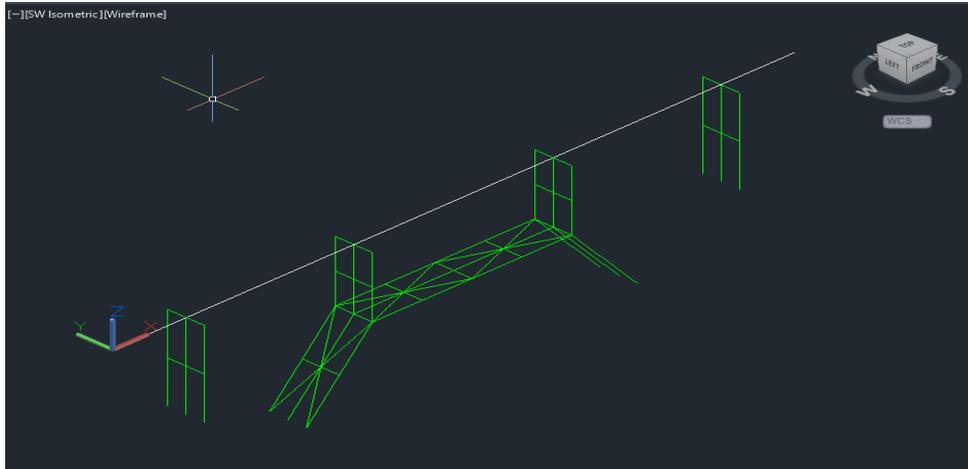


Nota. Adaptado de *Elevación del Puente de la Vía Santa Fe* (pág. 15), por MTOP, 2022, Estudio de Evaluación del Puente sobre el Río Salinas.

Debido a que la geometría de la subestructura del puente es compleja, ya que cuenta con pilares diagonales y arriostrados, se ha optado por modelar únicamente la geometría en AutoCAD para luego exportar a CSiBridge.

En AutoCAD se obtiene un esquema alámbrico del modelo tridimensional de la estructura, posteriormente definirá las secciones que se asignarán en el modelo de CSiBridge. La única condición que se debe tener en cuenta es que el origen del sistema de coordenadas de AutoCAD coincida con el sistema de coordenadas globales de CSiBridge.

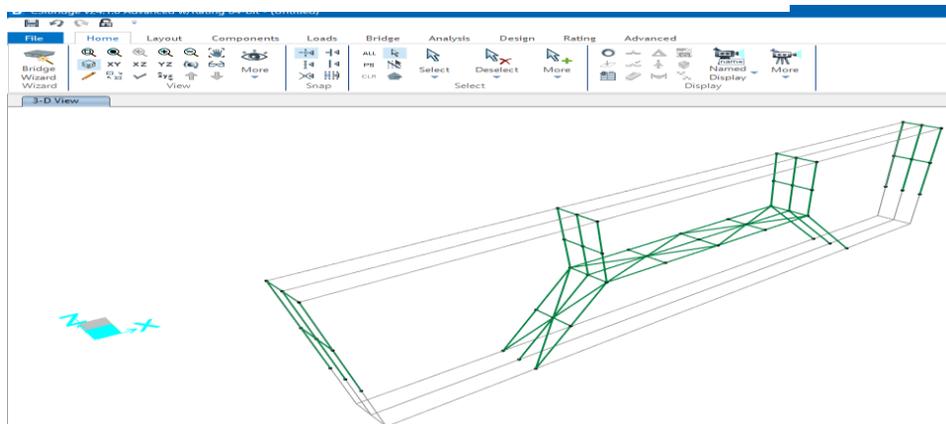
Figura 23. Esquema alámbrico del puente.



Nota. Esquema Alámbrico del Puente de Santa Fe, elaboración propia en AutoCAD, 2023.

Para importar la estructura alámbrica, se utiliza el módulo de importación de CSiBridge, *File/Import/AutoCAD*, y siguiendo las indicaciones y parámetros de importación, se obtiene el modelo como elementos tipo *frame*.

Figura 24. Geometría de la subestructura del puente

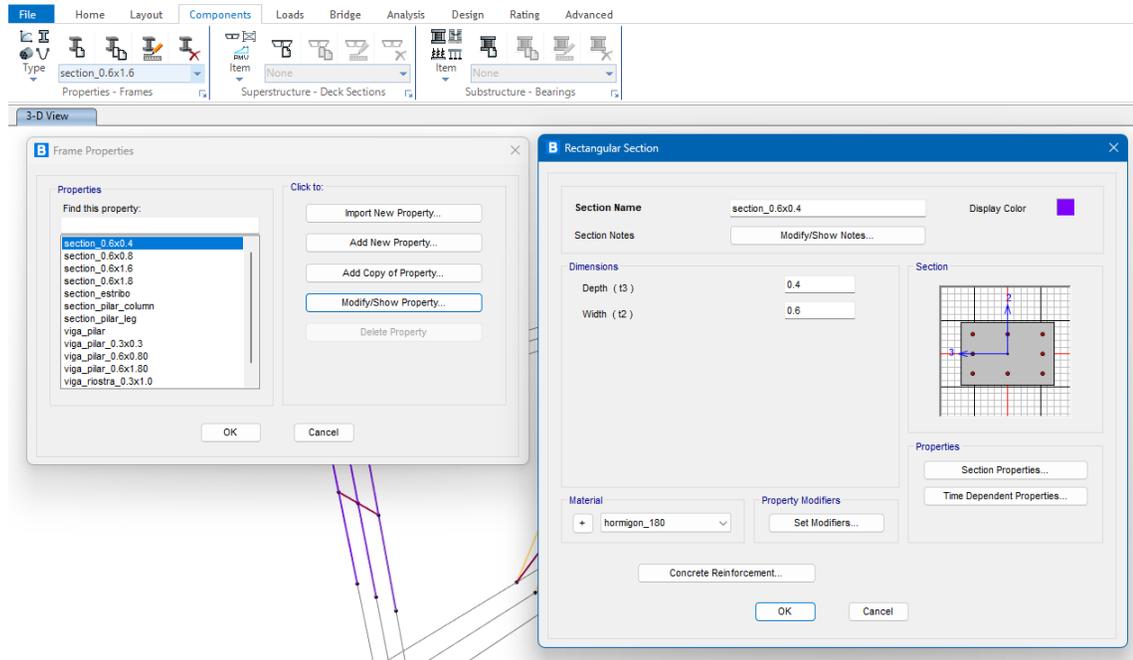


Nota. Geometría de la Subestructura del Puente Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge versión 24, 2023.

4.1.8 Definición de secciones

Una vez determinada la geometría alámbrica, se procede a definir las secciones de hormigón según las dimensiones y el armado especificado en el plano. A continuación, se presenta un ejemplo de definición de la sección de los pilares que conforman el estribo del puente.

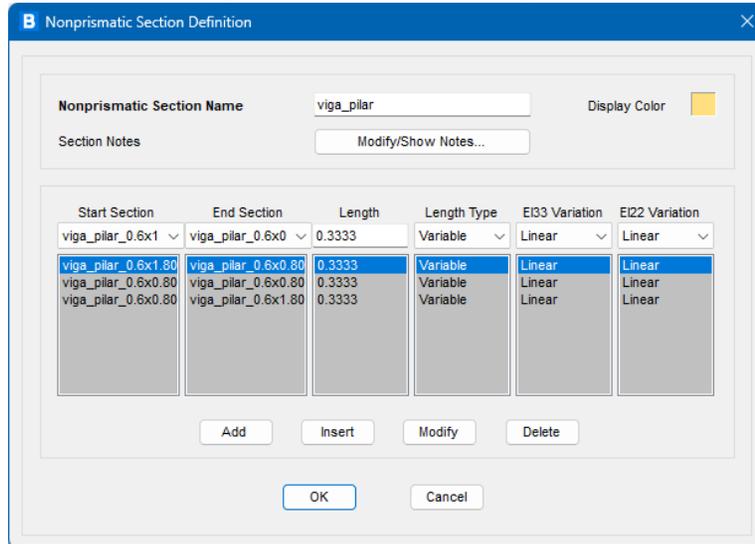
Figura 25. Definición de sección de hormigón armado



Nota. Definición de Sección del Hormigón Armado Puente Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge versión 24, 2023.

Se utilizó la herramienta de secciones no prismáticas para que el modelo sea aproximado lo más posible a la realidad y conseguir el efecto de reducción de sección en los elementos estructurales.

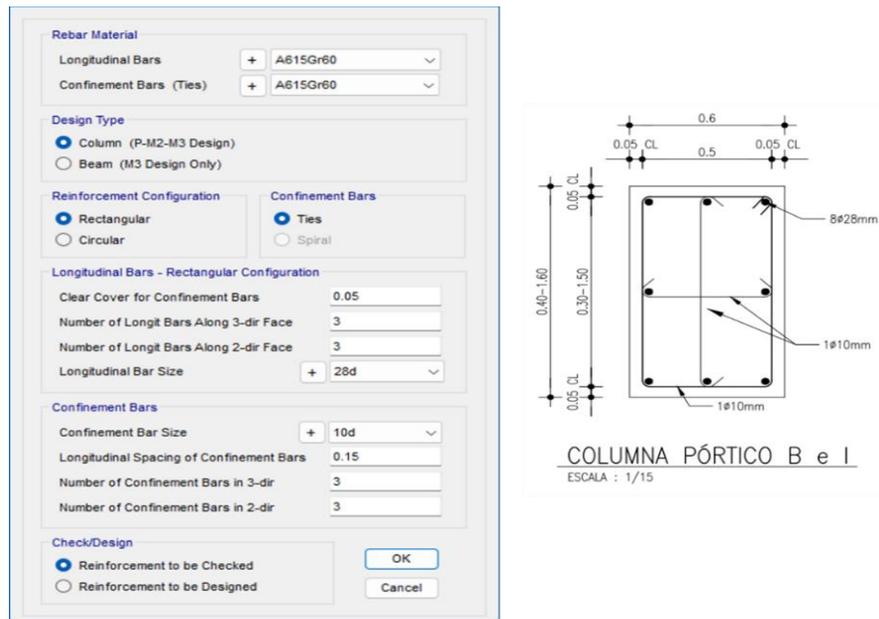
Figura 26. Configuración de sección no prismática.



Nota. Configuración de la Sección no Prismática del Puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge versión 24, 2023.

El armado que se consideró para modelar la estructura va conforme a la evaluación estructural.

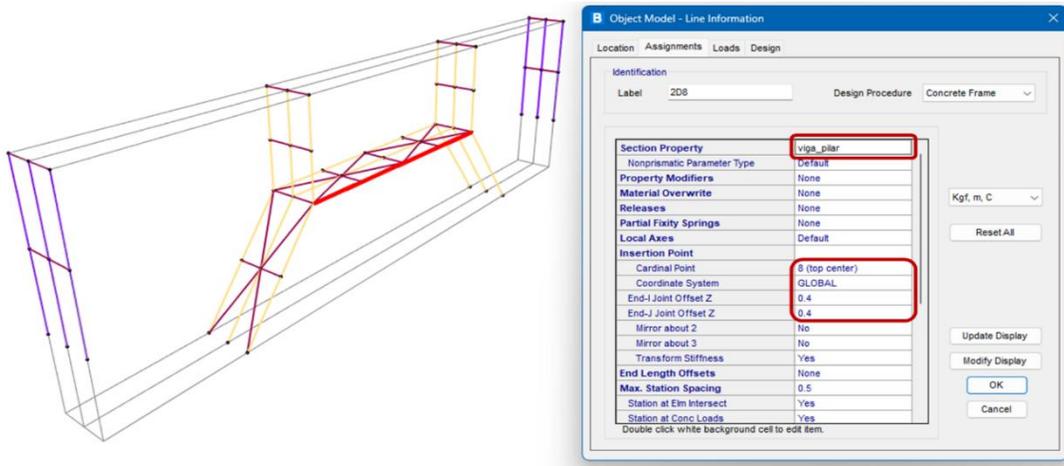
Figura 27. Ejemplo de definición de armadura en elementos estructural



Nota. Ejemplo de Definición de Armadura en Elementos Estructurales, elaboración propia en CSiBridge versión 24, 2023.

Una vez definidas todas las secciones para todos los elementos, se revisa que los puntos de inserción sean acordes a los ejes de los elementos estructurales.

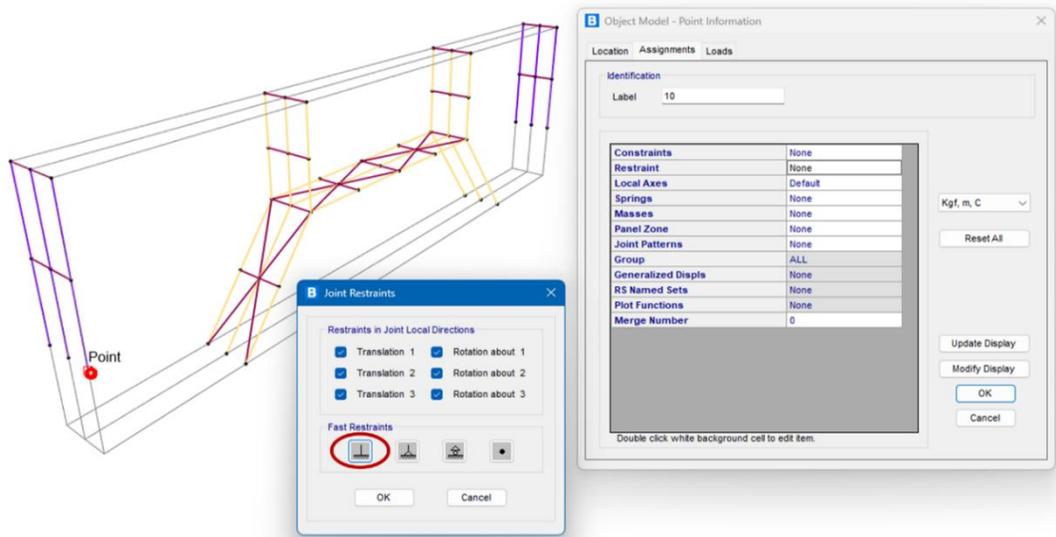
Figura 28. Asignación de sección y punto de inserción



Nota. Asignación de Sección y Punto de Inserción, elaboración propia en CSiBridge versión 24, 2023.

Siguiendo con las condiciones estructurales, se debe asignar restricciones a los puntos de apoyo de los pilares y los estribos. Se considerarán puntos de apoyo de empotramiento perfecto en la base de los elementos.

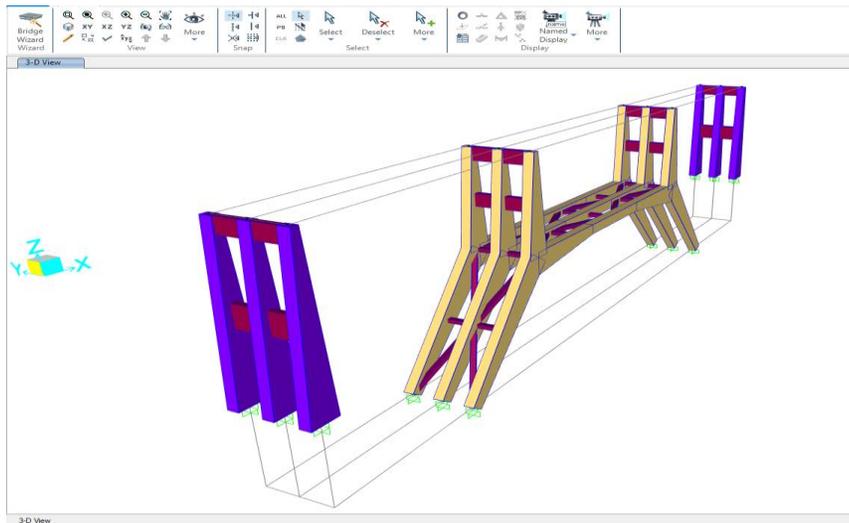
Figura 29. Asignación de empotramiento perfecto en nodos de apoyo



Nota. Asignación del Comportamiento perfecto en Nodos de Apoyo, elaboración propia en CSiBridge versión 24, 2023.

Una vez definidas todas las secciones y las restricciones de apoyo, se cuenta ya con la configuración de la subestructura. A continuación, se muestra una vista extruida de los elementos hasta el momento modelados.

Figura 30. Asignación de empotramiento perfecto en nodos de apoyo

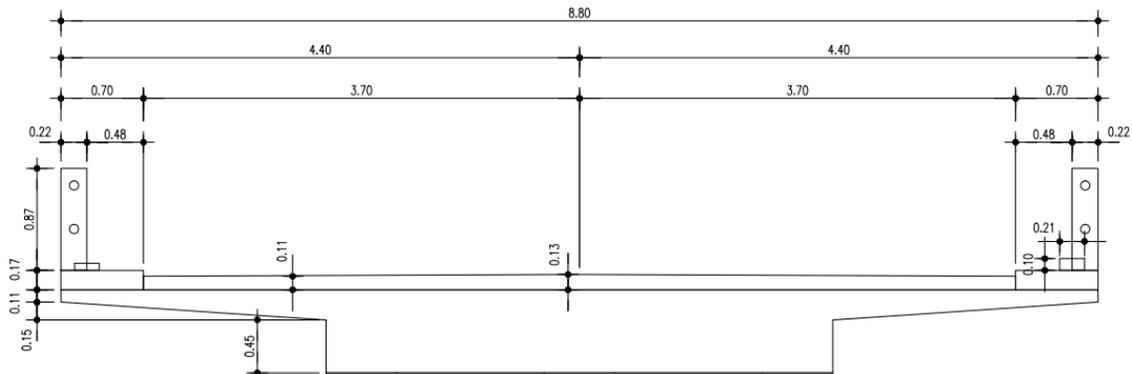


Nota. Asignación del Empotramiento perfecto en Nodos de Apoyo, elaboración propia en CSiBridge versión 24, 2023.

4.1.9 Definición de tablero del puente

El tablero del puente es el elemento estructural que descansa sobre los pilares y estribos y sobre el que se asienta la capa asfáltica donde rodarán los vehículos. En este caso de estudio, el tablero consiste en una losa maciza de sección acartelada.

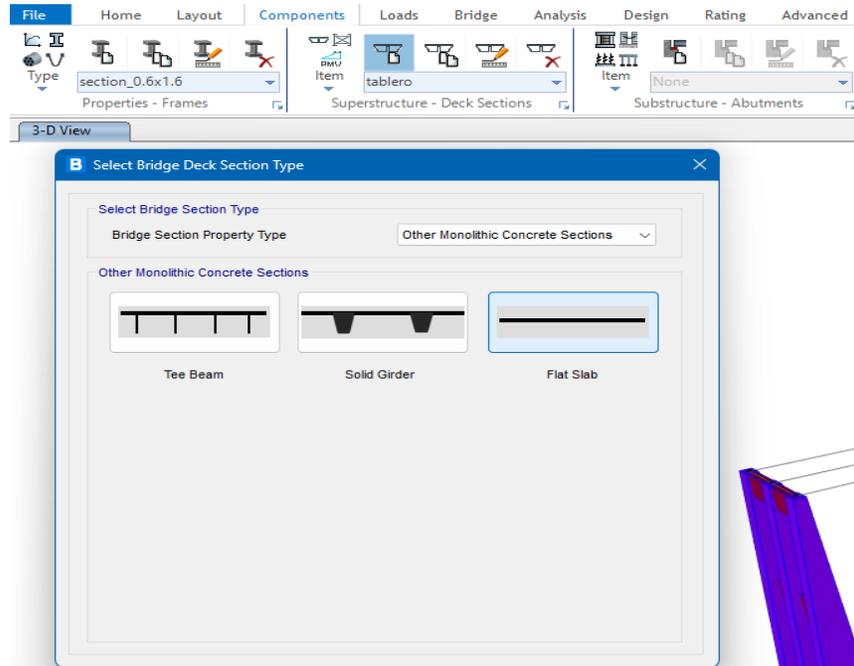
Figura 31. Dimensiones del tablero del puente.



Nota. Adaptado de *Dimensiones de Tableros de Puentes* (pág. 30), por MTOP, 2022, Estudio de Evaluación del Puente sobre el Río Salinas.

Para definir el tablero en el software, se utiliza el módulo de *Components/Superstructure*. Al seleccionar el icono de creación de tablero, se abre una ventana donde se selecciona el tipo de tablero del puente, en este caso se trata de un tablero tipo losa maciza.

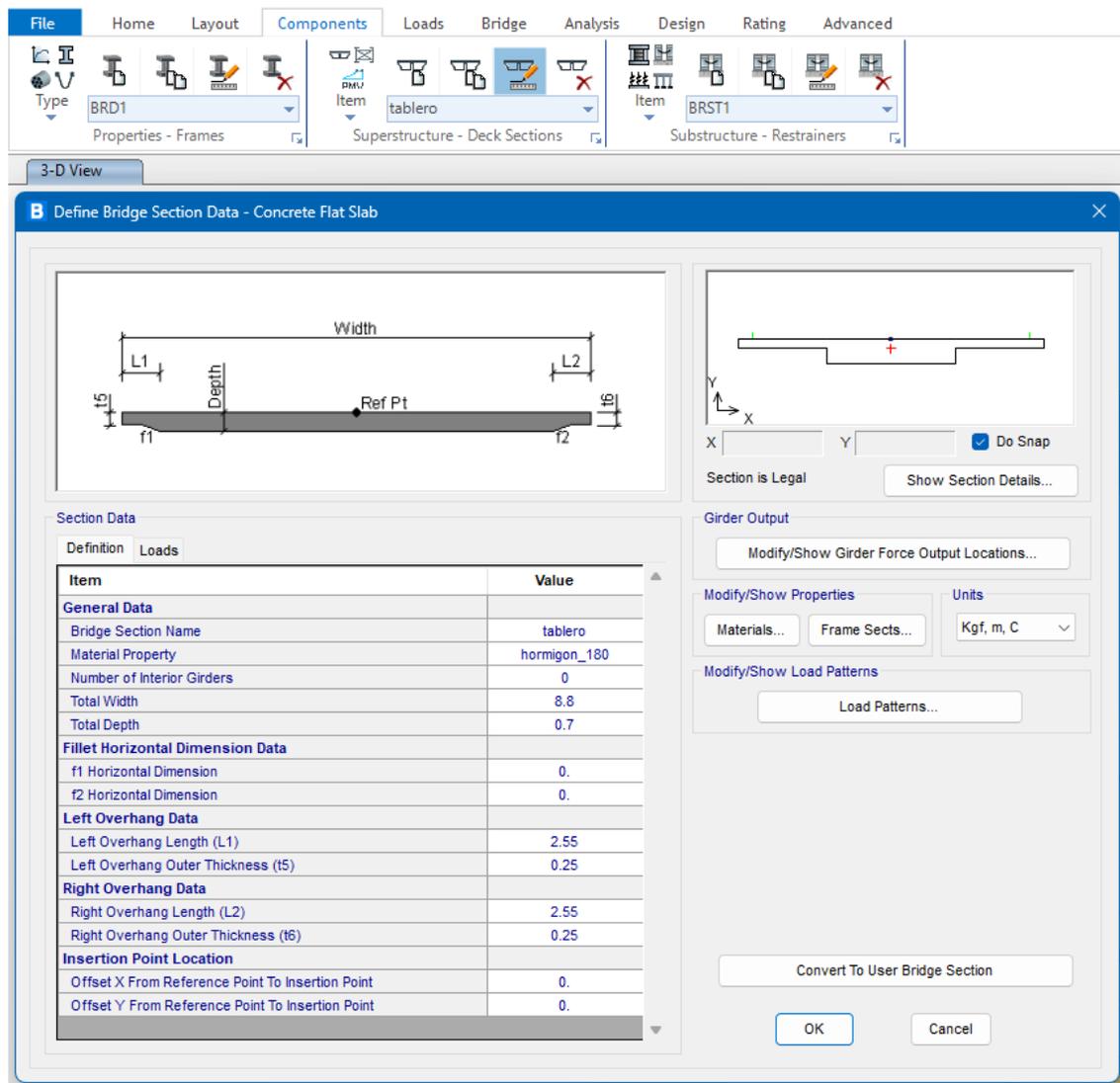
Figura 32. Módulo de definición del tablero



Nota. Módulo de Definición del Tablero del Puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Las dimensiones que se ingresan en el programa corresponden a las dimensiones proporcionadas en los planos. Sin embargo, se realizó una simplificación en el acartelamiento, en donde se utilizó la dimensión mayor.

Figura 33. Datos ingresados para la definición del tablero



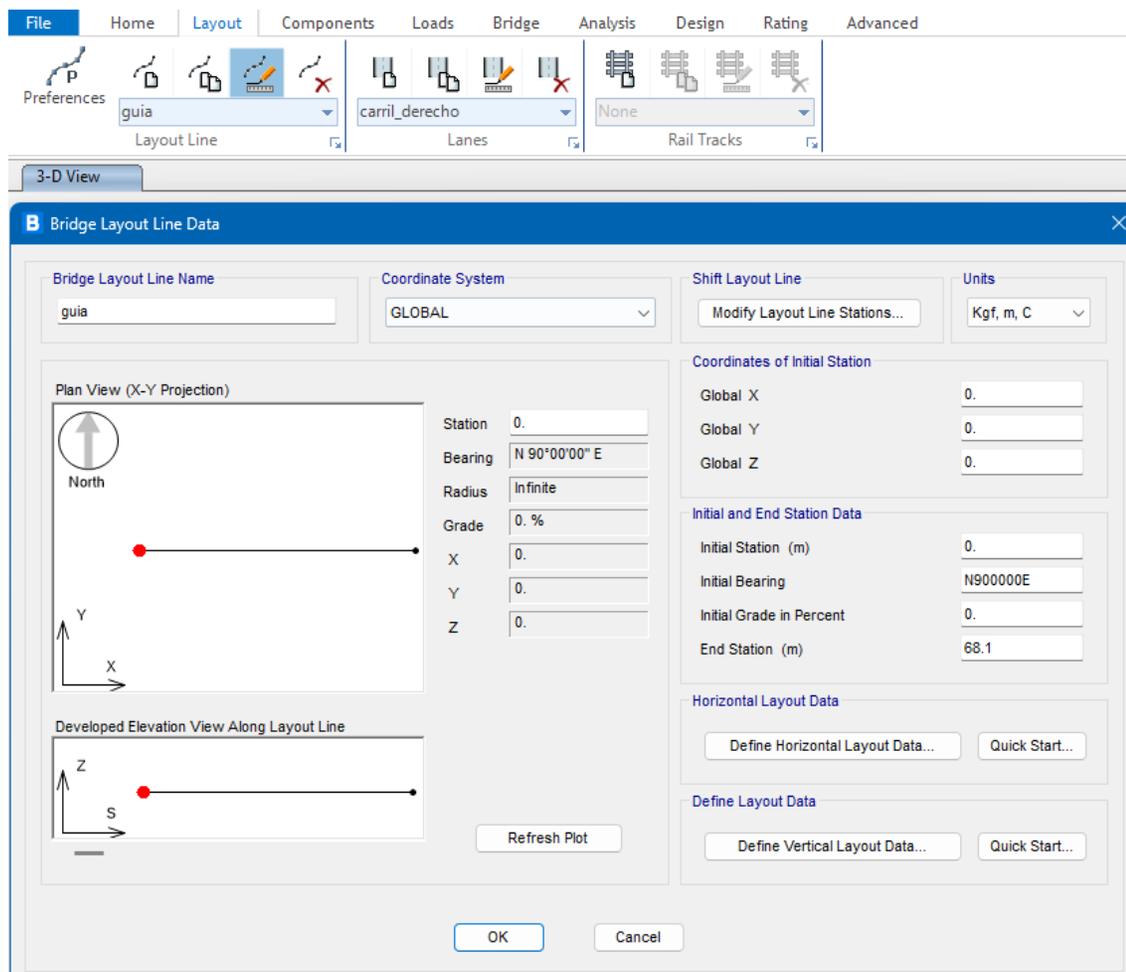
Nota. Ingreso de Datos para la Definición del Tablero del Puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

En el apartado de *Number of Interior Girders* se ha colocado el valor de cero, ya que la losa es maciza y no contempla ninguna viga interior.

4.1.10 Definición de guías y carriles del puente

El software requiere los datos de la longitud del tablero y el ancho de los carriles para generar el análisis. En la pestaña *Layout/Layout Line* se crea una guía, que representa el eje central del tablero del puente. Se especifica la longitud del puente como parámetro principal.

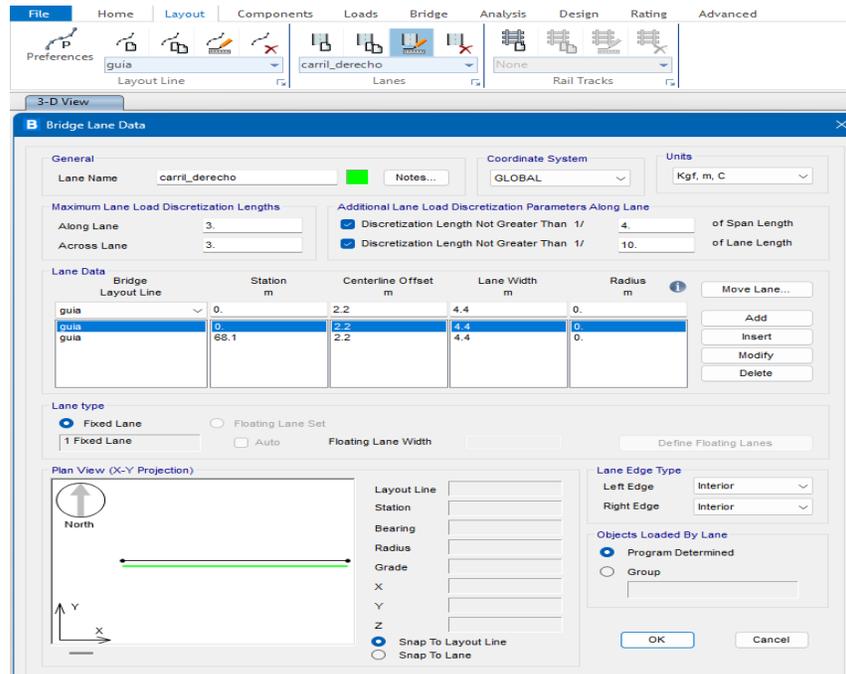
Figura 34. Definición del eje central del puente



Nota. Definición del Eje Central del Puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

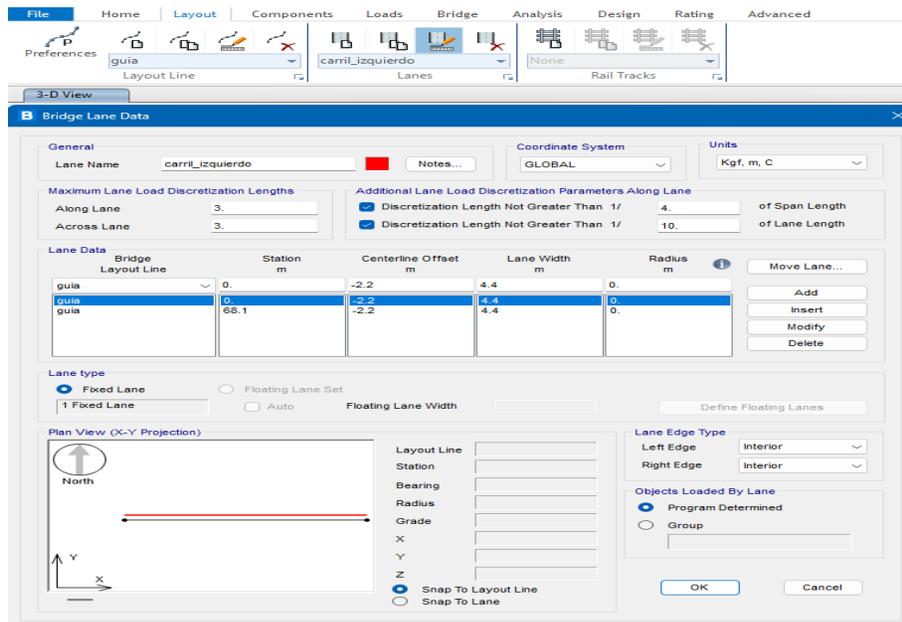
Con la guía definida, se define a continuación los carriles. Para ellos, se utiliza el módulo *Loyout/Lanes*, en donde se abrirá una ventana en la que se puede definir la longitud y ancho de cada carril. Considerando que el puente es simétrico, cada carril será de 4.40 m, lo que en total da un ancho del tablero de 8.80m.

Figura 35. Definición del carril derecho



Nota. Definición carril derecho del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

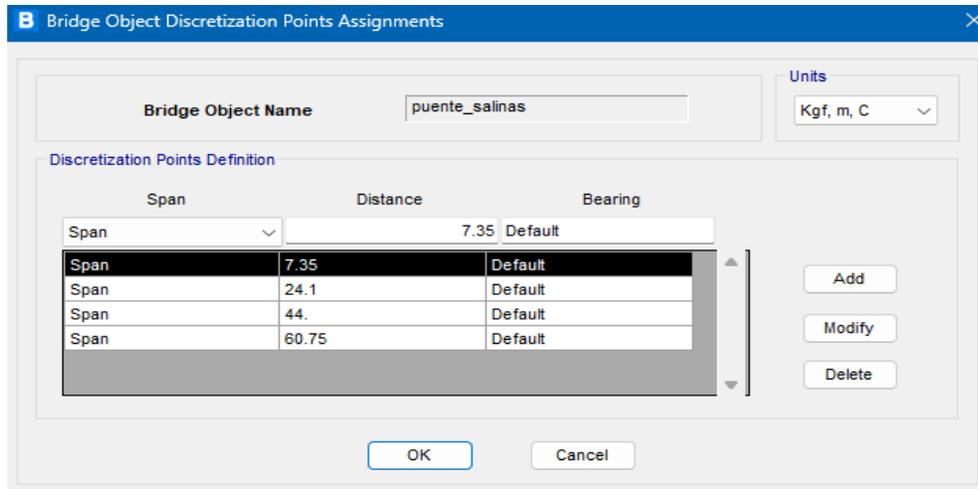
Figura 36. Definición del carril izquierdo



Nota. Definición carril izquierdo del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Automáticamente el software crea un tablero de longitud igual a la guía que se definió previamente. Considerando que en el puente se encuentran dos estribos y dos pilares intermedios, se discretizará el tablero, de forma que los nodos de análisis coincidan perfectamente con la ubicación de los elementos de la subestructura. Para este propósito, se ingresa a la pestaña *User Discretization Points*.

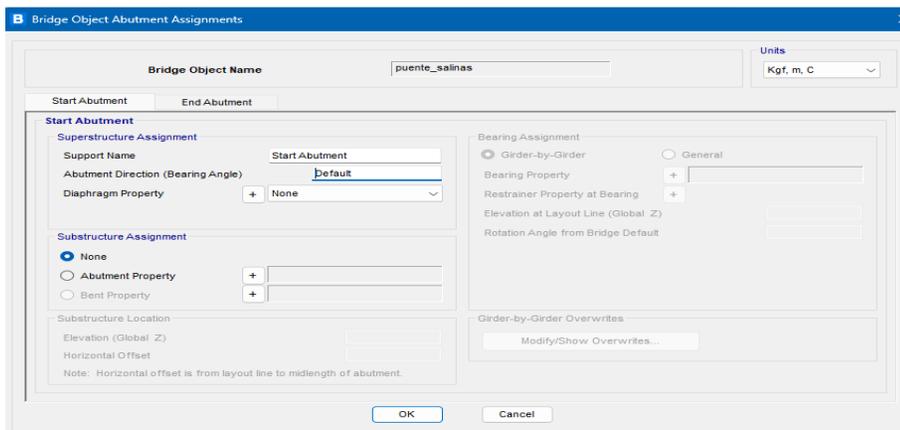
Figura 37. Discretización de tablero del puente



Nota. Discretización del tablero del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Como paso final en la configuración de la superestructura del puente, se asignará apoyos libres en los extremos, ya que posteriormente se controlará dichos puntos mediante la condición de puente simplemente apoyado. Se ingresa en la pestaña *Abutments*.

Figura 38. Especificación de apoyos libres en los extremos del tablero

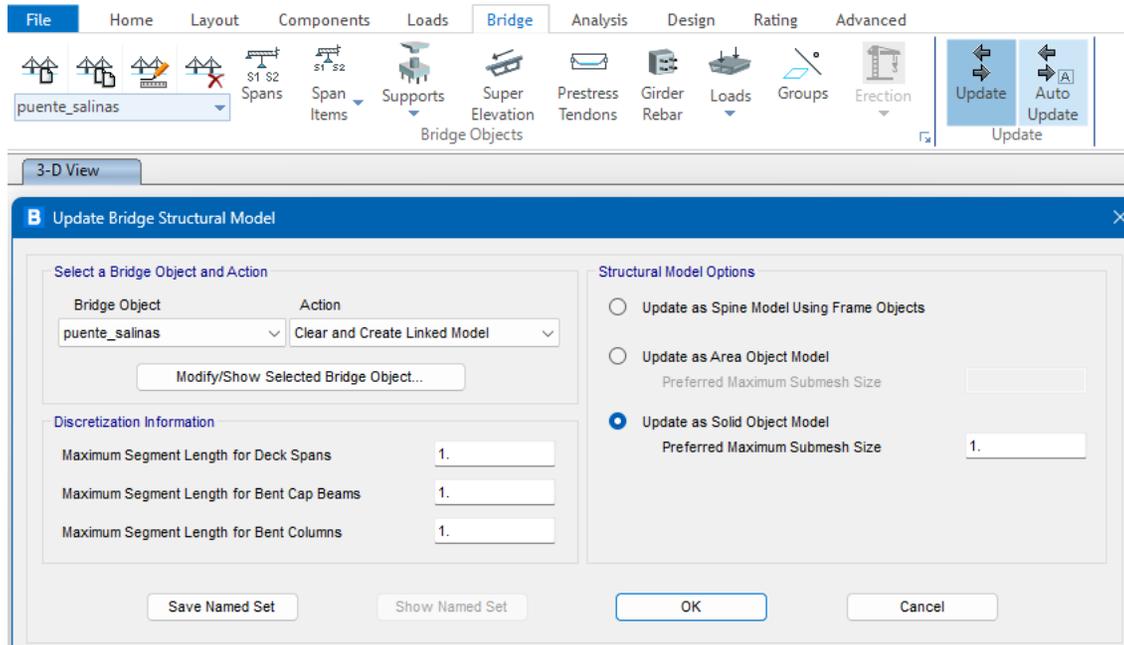


Nota. Especificación de apoyos libres en los extremos del tablero del puente, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

En esta pestaña, se seleccionará como *None* en el parámetro de *Substructure Assignment*.

Para mostrar la estructura con los parámetros definidos, se utiliza el módulo *Bridge/Update*, se abrirá la siguiente ventana.

Figura 39. Actualización del modelo



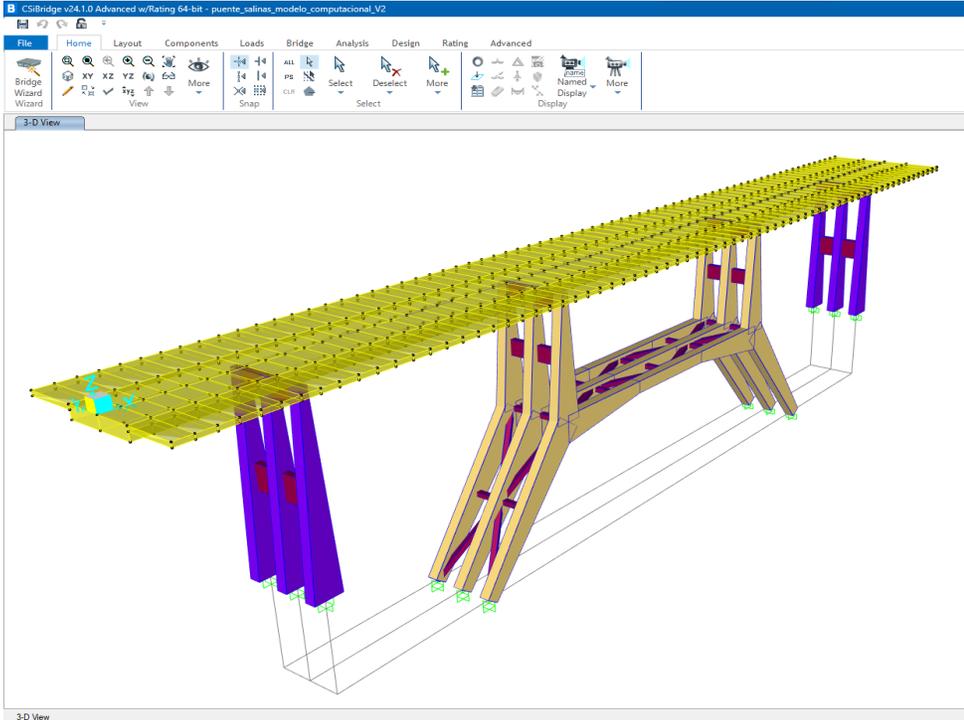
Nota. Actualización del Modelo del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Posiblemente, los parámetros definidos en la actualización del modelo sean los más importantes respecto al análisis estructural, ya que en este módulo se establece si se realizará un análisis de elementos finitos mediante *spline model*, *área object model* o *solid object model*. Para este caso de estudio se utilizará sólidos, ya que son los elementos que más se adaptan a la representación de la losa maciza del puente.

El parámetro *Maximum Segment Length Deck Spans* se refiere a la discretización de la malla de análisis para el tablero. Se ha colocado como unidad de discretización el valor de 1 m. Con esto se analizará el tablero en unidades de 1 m, lo que aportará alrededor de 70 puntos de análisis.

Si todos los parámetros se definieron correctamente, se mostrará el tablero del puente en la posición correcta, con la longitud y geometría previamente definidas.

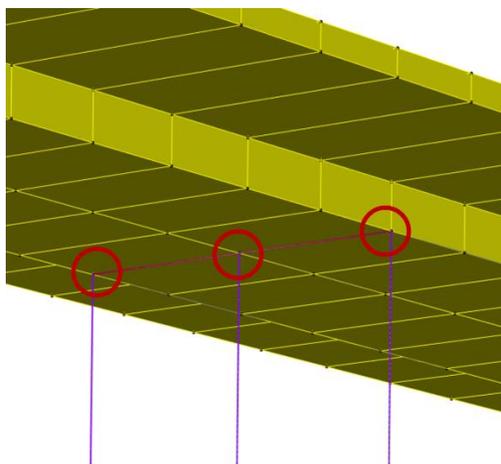
Figura 40. *Representación tridimensional del modelo*



Nota. Representación Tridimensional del Modelo del puente, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Para que el modelo funcione adecuadamente, los nodos de la subestructura y de la superestructura, deben coincidir perfectamente, de otro modo, no se garantizaría la conexión entre elementos estructurales.

Figura 41. *Los nodos coinciden perfectamente en el modelo*

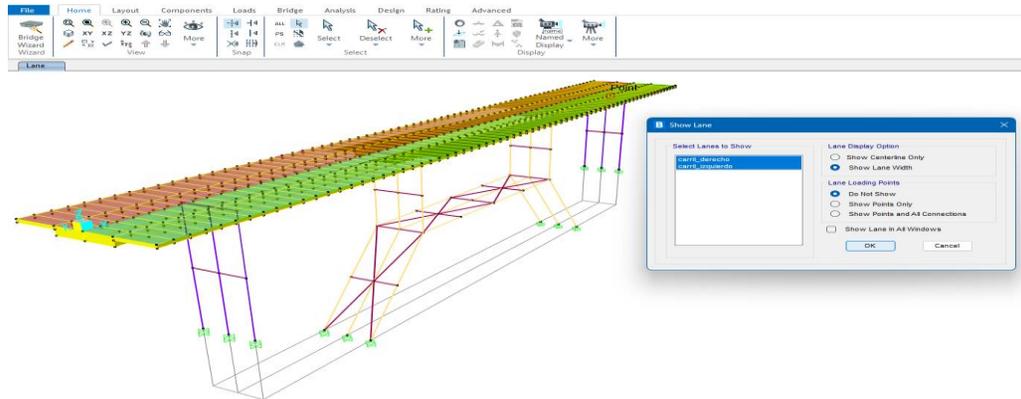


Nota. Presentación de como los nodos coinciden perfectamente en el modelo, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Con esto concluye la fase de modelado, y se procede las respectivas cargas que inciden sobre el puente.

Si se desea ver los carriles del puente, se puede acudir al módulo *Home/More/Show Lanes*.

Figura 42. Visualización del puente con sus respectivos carriles



Nota. Visualización del puente con sus respectivos carriles, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.11 Definición y asignación de cargas en el modelo

Un puente es una estructura que se diseña para soportar tres tipos de cargas principales: gravitacionales, dinámicas y laterales. Las cargas gravitacionales están conformadas por el peso propio de los elementos estructurales y de elementos no estructurales que forman parte permanente del puente como la capa de rodadura, las barandas y las aceras; las cargas dinámicas serán los vehículos que tiene que soportar el puente y las cargas laterales están conformadas por los sismos.

Cargas Gravitacionales

Las cargas gravitacionales que se consideró son las siguientes.

Tabla 27. Cargas gravitacionales para el modelo del puente

| Carga | Valor | Distribución |
|-------------------|-----------------------|--------------|
| Carpeta asfáltica | 110 kg/m ² | Superficial |
| Baranda | 100 kg/m | Lineal |
| Vereda | 252 kg/m | Superficial |
| Carga Peatonal | 360 kg/m ² | Superficial |

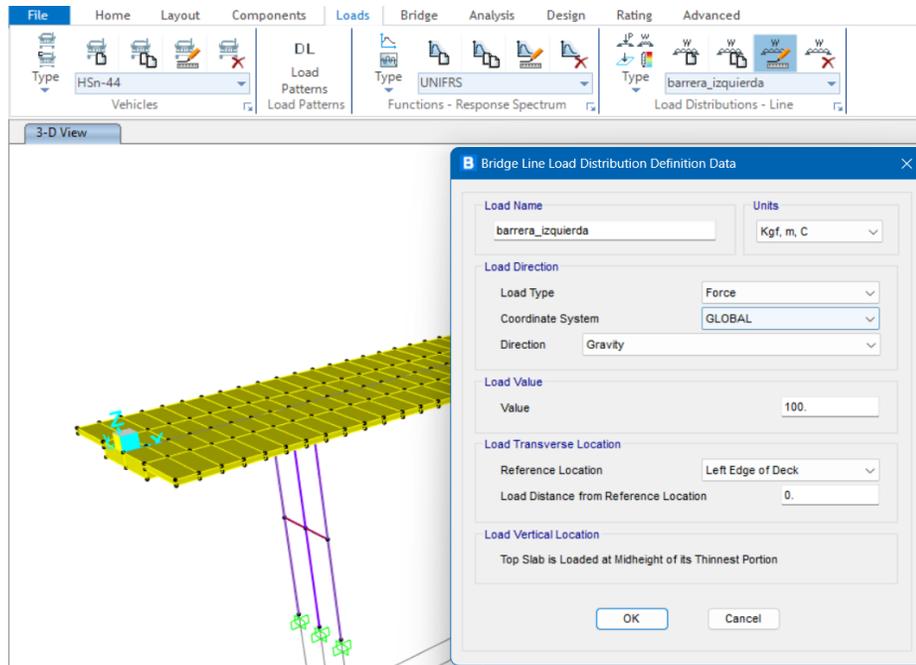
Nota. Esta tabla representa las cargas gravitacionales del modelo del puente.

La carga de la carpeta asfáltica fue considerada con una densidad de 2200 kg/m^3 multiplicada por una altura de 5 cm. Mientras que la baranda, la carga peatonal y la vereda fueron estimadas según la normativa de diseño de puentes por la metodología LRFD (AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications, 2020).

EL paso siguiente es definir estas cargas en el software. Para ello, se recurre al módulo *Loads/Load Distributions* donde se puede definir cargas distribuidas lineal y superficialmente.

Las cargas de la barrera o baranda del puente son cargas distribuidas linealmente. A continuación, se muestra la definición de la carga de la barrera izquierda, y se realiza de manera análoga la definición de la barrera derecha. Para definir una carga lineal se requiere del valor de la carga y la ubicación respecto de los bordes del tablero.

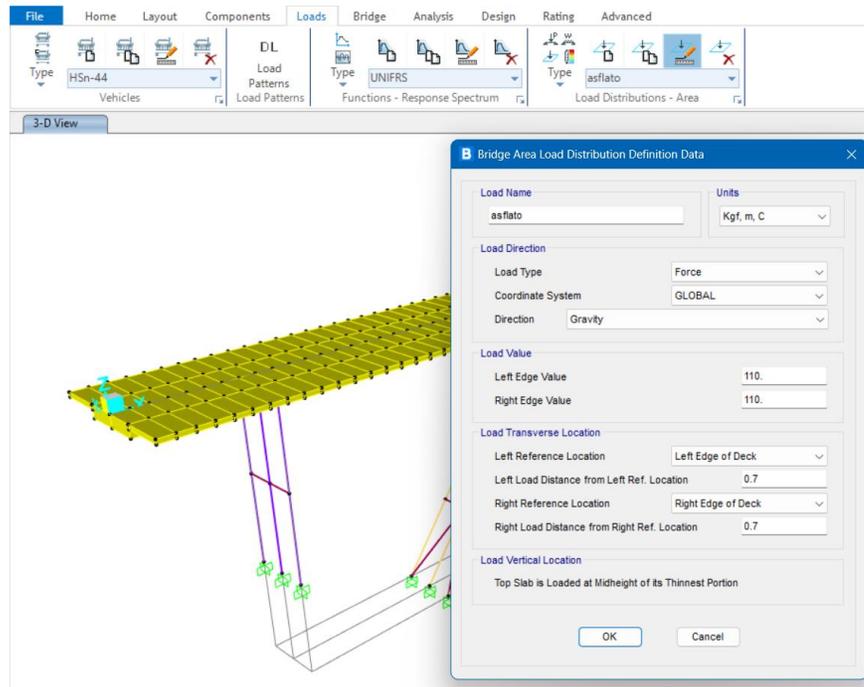
Figura 43. Definición de carga lineal de barrera izquierda



Nota. Definición de carga lineal de la barrera izquierda del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

La carga de la carpeta asfáltica, de la vereda y la circulación vehicular, se definen como cargas distribuidas superficialmente. Para la definición de la carga distribuida se requiere del valor de la carga y dos límites de referencia medidos desde los bordes de la baranda. La figura a continuación muestra la definición de la carga asfáltica. De igual manera se definen las cargas de la vereda y de la circulación vehicular.

Figura 44. Definición de la carga de la carpeta asfáltica

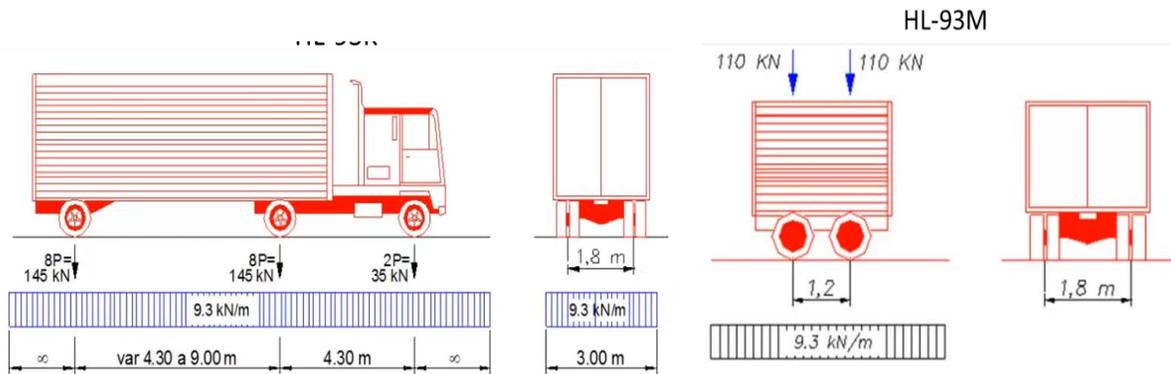


Nota. Definición de la carga de la carpeta asfáltica del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.12 Cargas vehiculares

Las cargas vehiculares se definen de acuerdo con la normativa de diseño (AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications, 2020). Según la cual se someterá el puente al tránsito de los siguientes camiones de diseño.

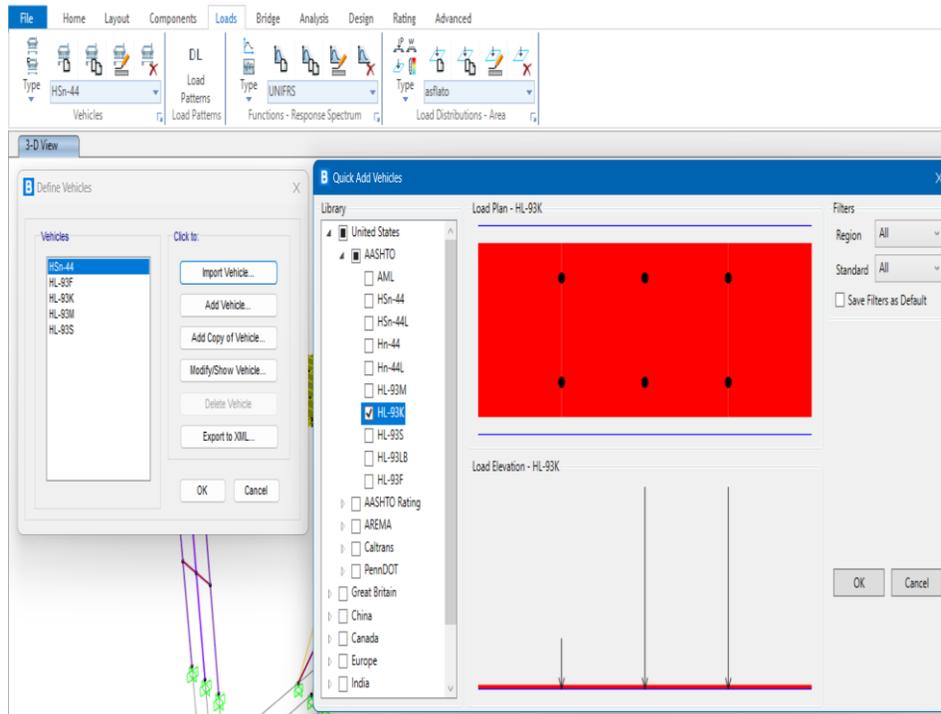
Figura 45. Camión de diseño HL – 93K.



Nota. Adaptado de *Cargas Vehiculares* (pág. 26), AASHTO, 2020, LRFD Bridge Design Specifications.

Una de las principales ventajas del paquete computacional CSiBridge es que provee de una basta lista preconfigurada de camiones de diseño. Para definir estas cargas móviles se recurre al módulo *Loads/Vehicles/Import Vehicle* y se selecciona el camión de diseño requerido para este cálculo.

Figura 46. Importación de camiones de diseño al modelo



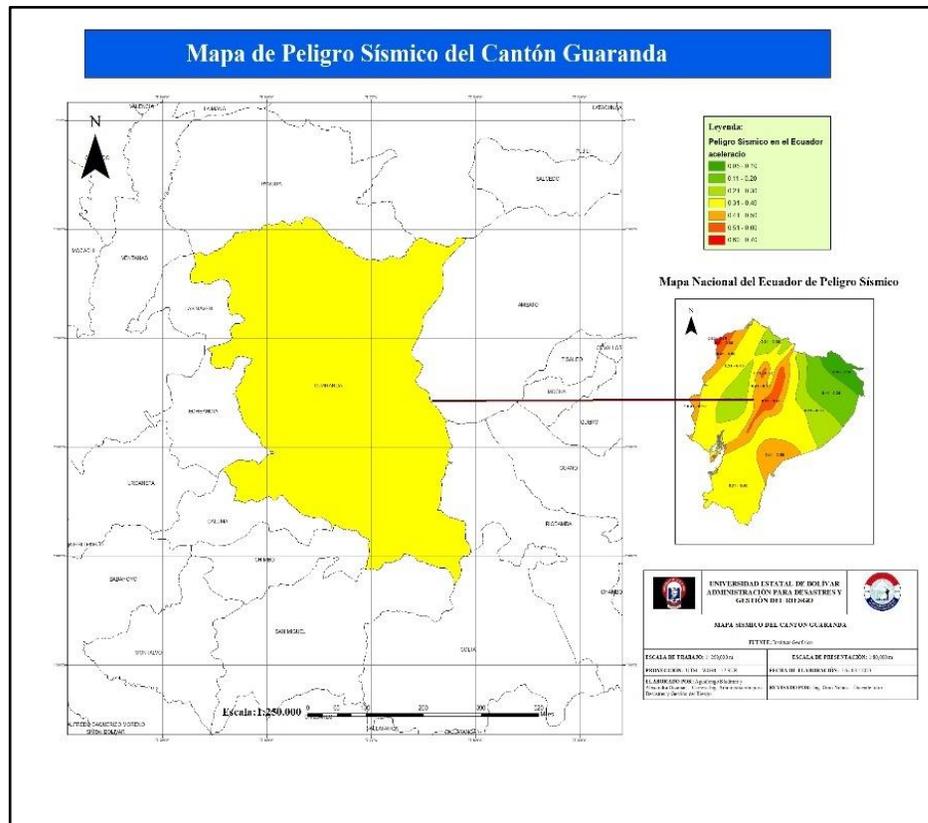
Nota. Importación de camiones de diseño al modelo del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Nótese que se ha importado también los camiones HL-93F, HL-93S y HSn-44. Estos camiones adicionales se utilizarán más adelante para la simulación en tiempo real de tráfico.

4.1.13 Cargas sísmicas

Las cargas sísmicas que se aplicarán en el modelo serán conforme a la normativa de diseño sísmico ecuatoriana (NEC15, 2015).

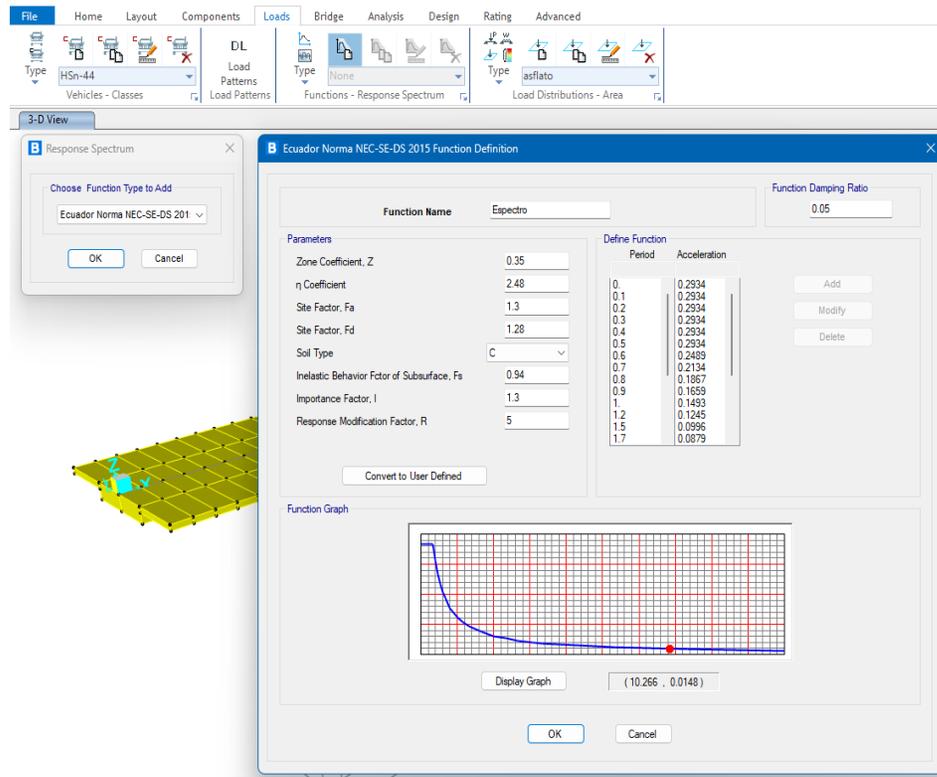
Figura 47. Mapa de amenaza sísmica en el cantón Guaranda



Nota. Adaptado de *Peligro Sísmico & Diseño Sismo Resistente* (pág. 23), elaboración propia en ArcGIS, 2023.

Según la zonificación de amenaza sísmica, Guaranda se encuentra en el nivel 4 de 6, con aceleraciones esperadas de 0.35 veces el valor de la gravedad. La metodología de definición del sismo será mediante el espectro de respuesta establecido en la (NEC15, 2015).

Figura 48. *Importación de camiones de diseño al modelo*



Nota. Importación del diseño de camiones para el modelo del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.14 Definición de patrones y casos de carga

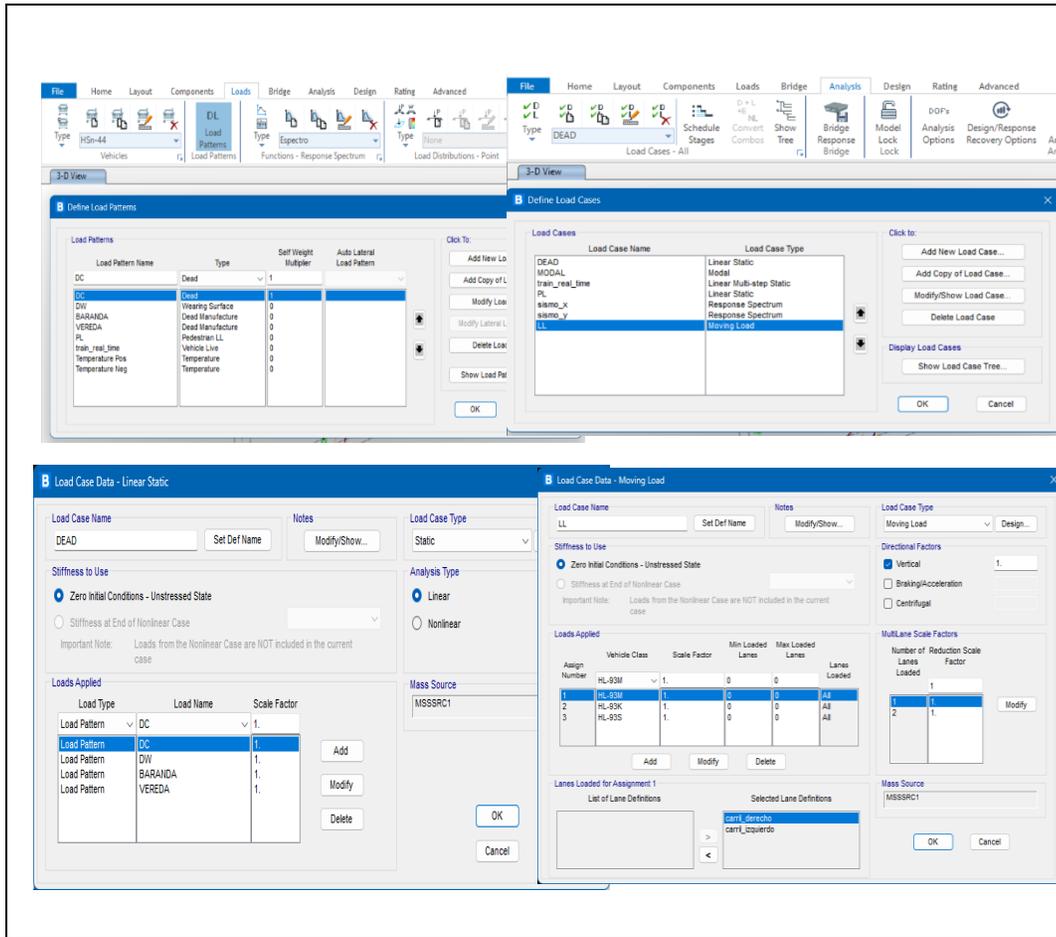
Una vez definidas las cargas, se debe crear patrones y casos de carga para que el software aplique las cargas definidas sobre el modelo.

Los patrones de carga que se consideran en el análisis se muestran en la siguiente figura y fueron asignados mediante el módulo *Loads/Load Patterns*.

Con los patrones de carga se procede a definir los casos de carga. Estos representan las cargas que se asignarán al modelo.

En cada caso de carga se asigna los parámetros y valores de carga previamente creados.

Figura 49. Definición de patrones y casos de carga



Nota. Definición de los patrones y casos de carga en el modelo del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

La normativa (AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications, 2020), indica que, para analizar el desempeño del puente, se debe evaluar los resultados con una combinación de carga muerta, viva y móvil con factores de mayoración, conocida como carga de estado límite de resistencia.

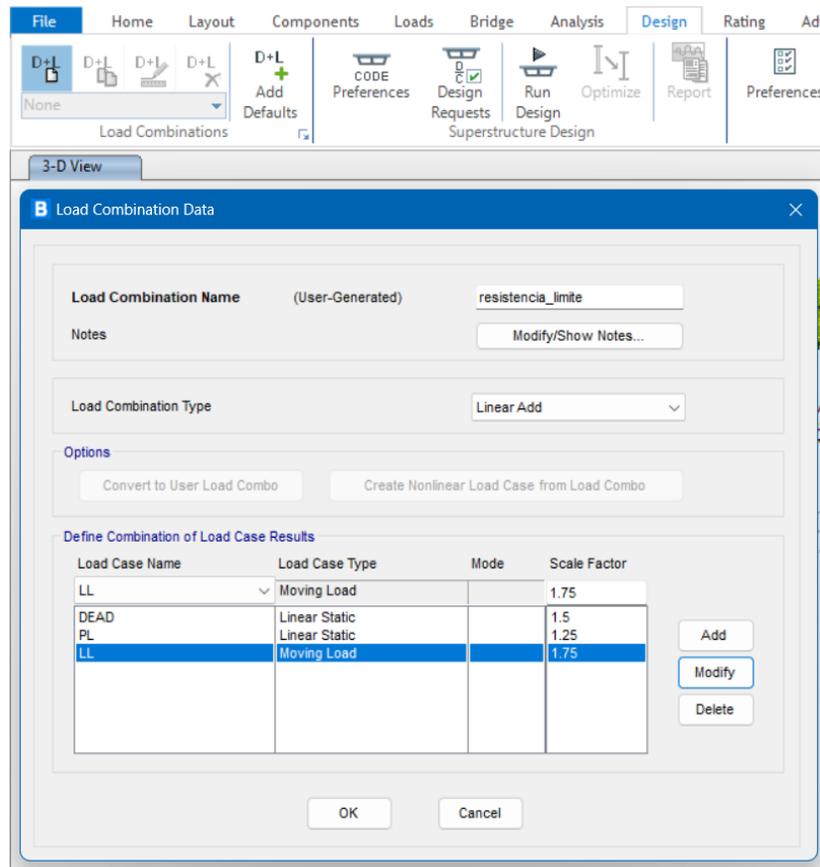
Tabla 28. Factores de mayoración de carga por el método de LRFD

| Parámetro | Factor de Mayoración |
|----------------------------|----------------------|
| Cargas muertas permanentes | 1.50 |
| Carga peatonal | 1.25 |
| Carga vehicular dinámica | 1.75 |

Nota. Esta tabla representa los factores de mayoración de carga por el método de LRFD.

Para definir el estado límite de resistencia se recurre al módulo *Desing/Load Combinations*. Con esta combinación de carga se evaluará el puente.

Figura 50. *Definición de Estado de Resistencia Límite*

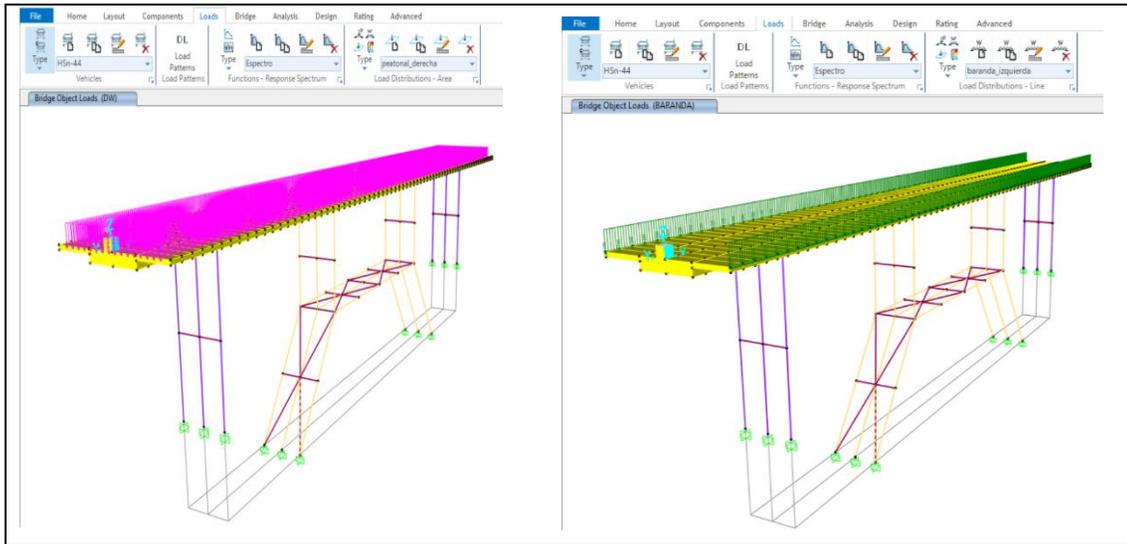


Nota. Definición de Estado de Resistencia Limite del puente, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.15 Visualización de cargas

Para visualizar que las cargas se añadieron correctamente, se puede ingresar al módulo de *Display/Show Bridge Loads* y mostrar las cargas para cada patrón.

Figura 51. *Carga de Carpeta Asfáltica y Carga de Baranda en el Modelo*

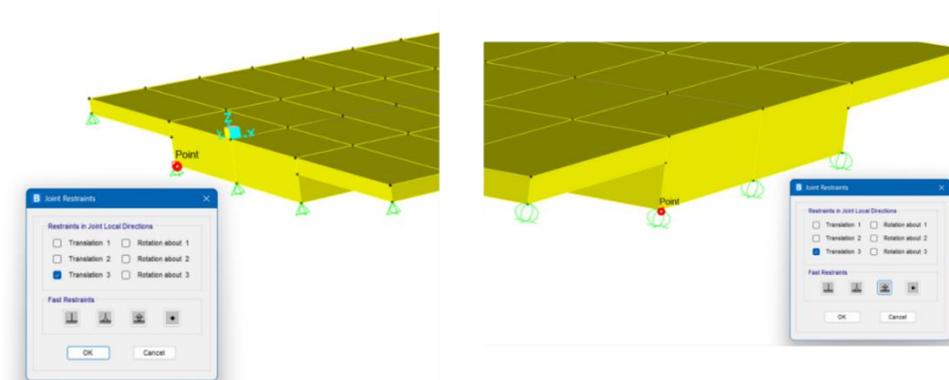


Nota. Definición de carga de carpeta asfáltica y carga de baranda en el modelo del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.16 Condiciones de apoyo

El puente debe cumplir con la condición de puente simplemente apoyado. Para ello, basta seleccionar cada nodo de los extremos del puente y asignar la restricción respectiva. Con esto finaliza la fase de modelado y asignación de cargas del puente.

Figura 52. *Condiciones de Apoyo*

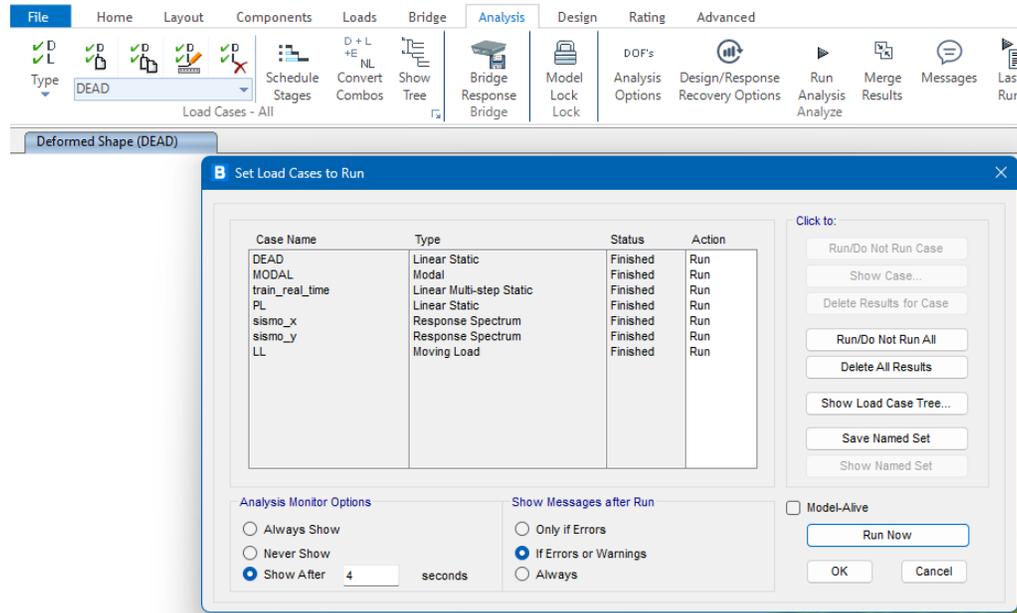


Nota. Definición de las condiciones de apoyo en el modelo del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.17 Resultados del análisis del modelo

Para compilar el modelo, luego del modelado y la asignación de cargas, se utiliza el módulo *Analysis/Run Analysis*. En la ventana que se abre, se seleccionan todos los casos de carga para iniciar la simulación.

Figura 53. *Compilación del Modelo Computacional*



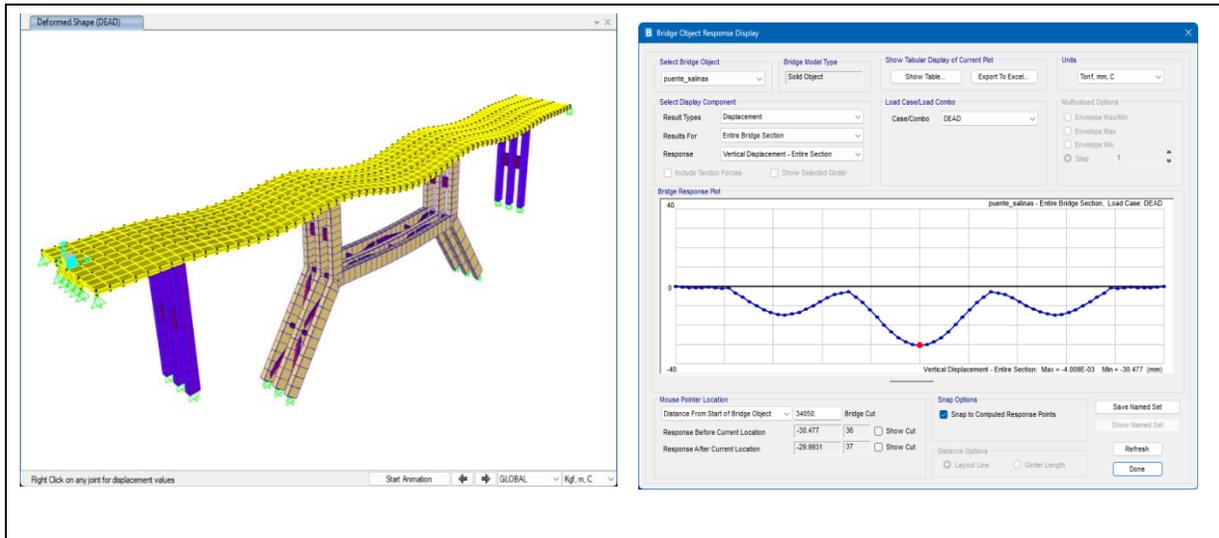
Nota. *Compilación del modelo computacional del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.*

4.1.18 Resultados por cargas permanentes

La carga invariante del puente es el propio peso de los elementos estructurales y de la carpeta asfáltica, veredas y barandas. Por ello, se chequea las deformaciones del estado del puente sin carga vehicular. En el gráfico siguiente se muestra el esquema de deflexiones. Por visualización, las secciones acarteladas y de sección variable se han sustituido por secciones prismáticas, no obstante, los resultados corresponden a los elementos no prismáticos.

La figura siguiente muestra el diagrama de deformación por carga muerta permanente. Se puede apreciar que la deflexión máxima ocurre en el punto medio del vano central, y tiene un valor de 30.47 mm. En el centro de los vanos extremos el desplazamiento es de 14.58 mm.

Figura 54. *Deformaciones por Cargas Muertas Permanentes*



Nota. Representación de las Deformaciones por cargas muertas permanentes en el modelo del puente de Santa Fe, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.19 Resultados por estado de límite de resistencia

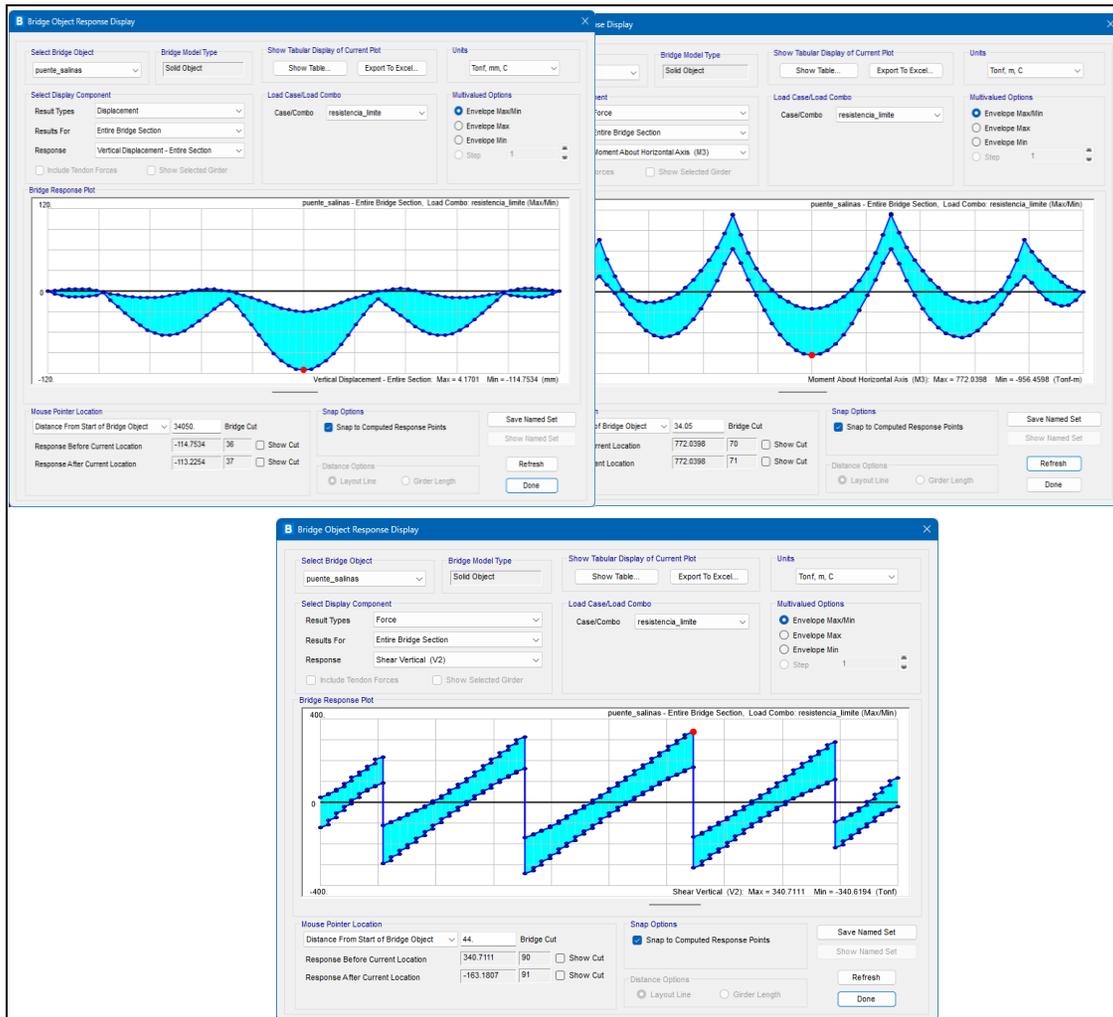
En el estado límite de resistencia se considera la carga muerta permanente en el puente, la carga viva peatonal y la carga dinámica vehicular.

De igual manera, se muestra el diagrama de la envolvente de deformaciones.

La envolvente representa la máxima deformación que adquiere cada uno de los puntos de análisis para los vehículos en rodadura.

En este análisis, también es de suma importancia obtener los diagramas de fuerzas internas de momento y cortante para el posterior cálculo del factor de resistencia. Estos diagramas se muestran en las siguientes figuras y se utilizarán en la siguiente sección como datos para el cálculo del factor de resistencia.

Figura 55. *Envoltentes de deflexiones verticales, de momentos para el estado de resistencia y diagrama de cortante para el estado de resistencia límite.*



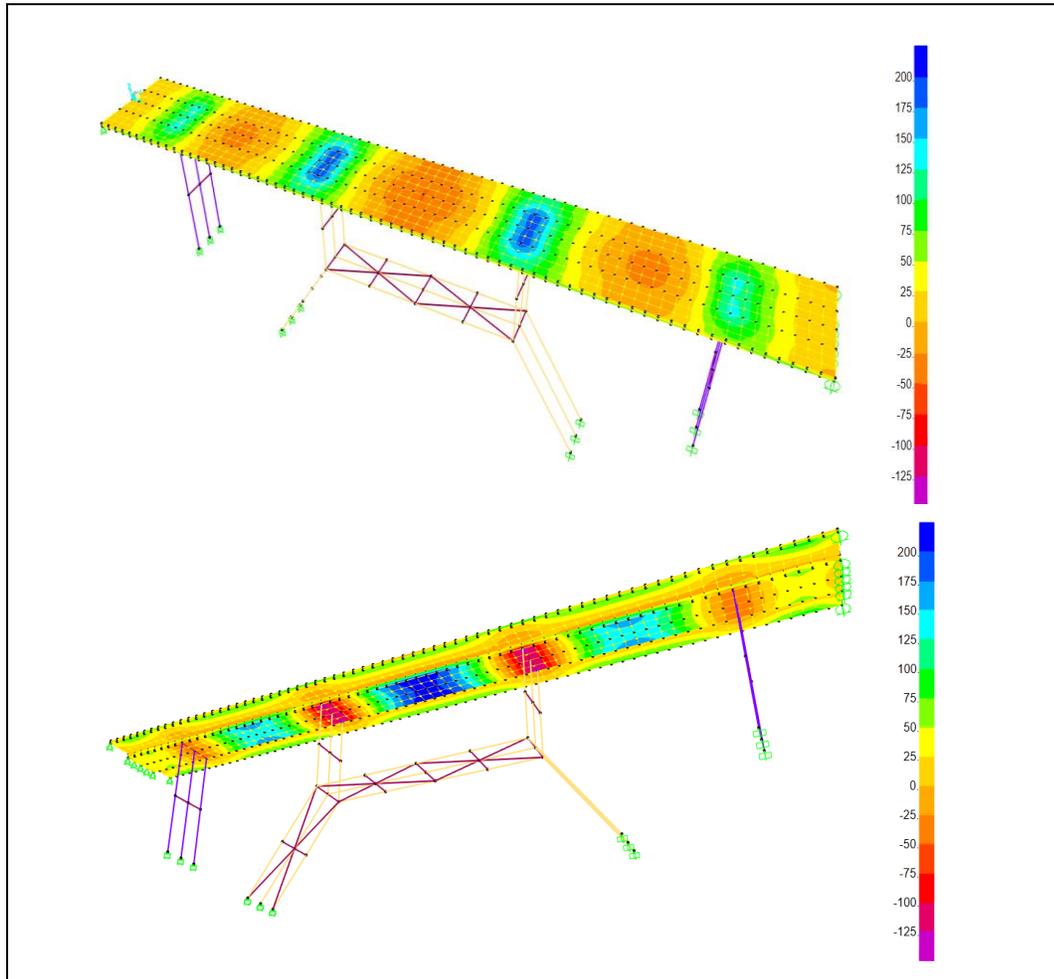
Nota. Envoltentes de deflexiones verticales y estado de resistencia de diagrama cortante para el estado de resistencia límite, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.20 Esfuerzos en el tablero del puente

Se aprecia a continuación, los esfuerzos en el tablero para la carga de resistencia límite.

Como es usual, en la parte superior de la losa, las zonas que están en tensión son las apoyadas en pilares y estribos (pintadas de verde a azul), mientras que las zonas en compresión son las que están en el centro de la luz libre (pintadas de amarillo a rojo). En la parte inferior los resultados son inversamente análogos.

Figura 56. Esfuerzos en las Fibras Superiores e Inferiores del Tablero (kgf/cm²)



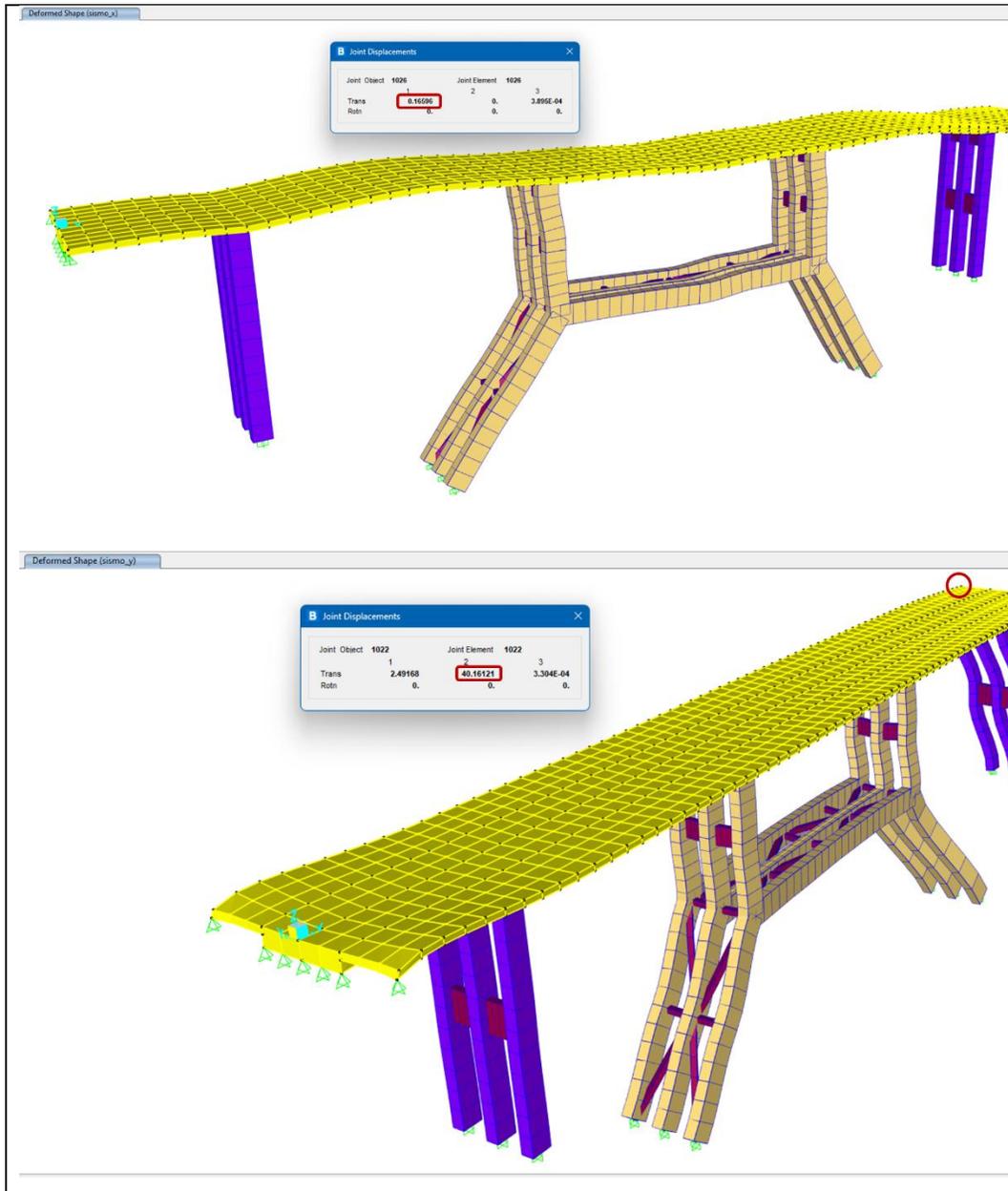
Nota. Esfuerzos en las fibras superiores e inferiores del tablero, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.21 Resultados por fuerzas sísmicas

La fuerza sísmica se evalúa en las direcciones “x” y “y”. El análisis fue efectuado mediante el análisis del espectro de diseño.

Se puede apreciar que la deformación sísmica en dirección longitudinal es inapreciable, por el orden de las unidades de milímetros. No obstante, la deformación por sismo en la dirección transversal del puente alcanza el orden de las decenas de milímetros, alrededor de los 40 mm.

Figura 57. Deformaciones debido a carga sísmica en dirección longitudinal y deformaciones debido a cargas sísmicas en dirección transversal del puente



Nota. Deformaciones por carga sísmica en dirección longitudinal y deformaciones en cargas sísmicas en dirección transversal, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

4.1.22 Cálculo de factor de resistencia

Las principales normativas de diseño y evaluación de puentes son (AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications, 2020) y (AASHTO, Manual for Bridge Evaluation, 2018) respectivamente. La primera normativa establece los patrones y coeficientes de mayoración de carga para diseño, mientras que la segunda establece la metodología de

cuantificar la capacidad de un puente mediante el coeficiente conocido como RF (*Resistance Factor*).

El factor de resistencia RF es una forma objetiva y cuantitativa para medir la capacidad de resistencia de un puente. Se basa en relacionar las fuerzas internas obtenidas en el análisis estructural con la capacidad nominal de los elementos estructurales. El factor de resistencia se determina mediante la siguiente fórmula:

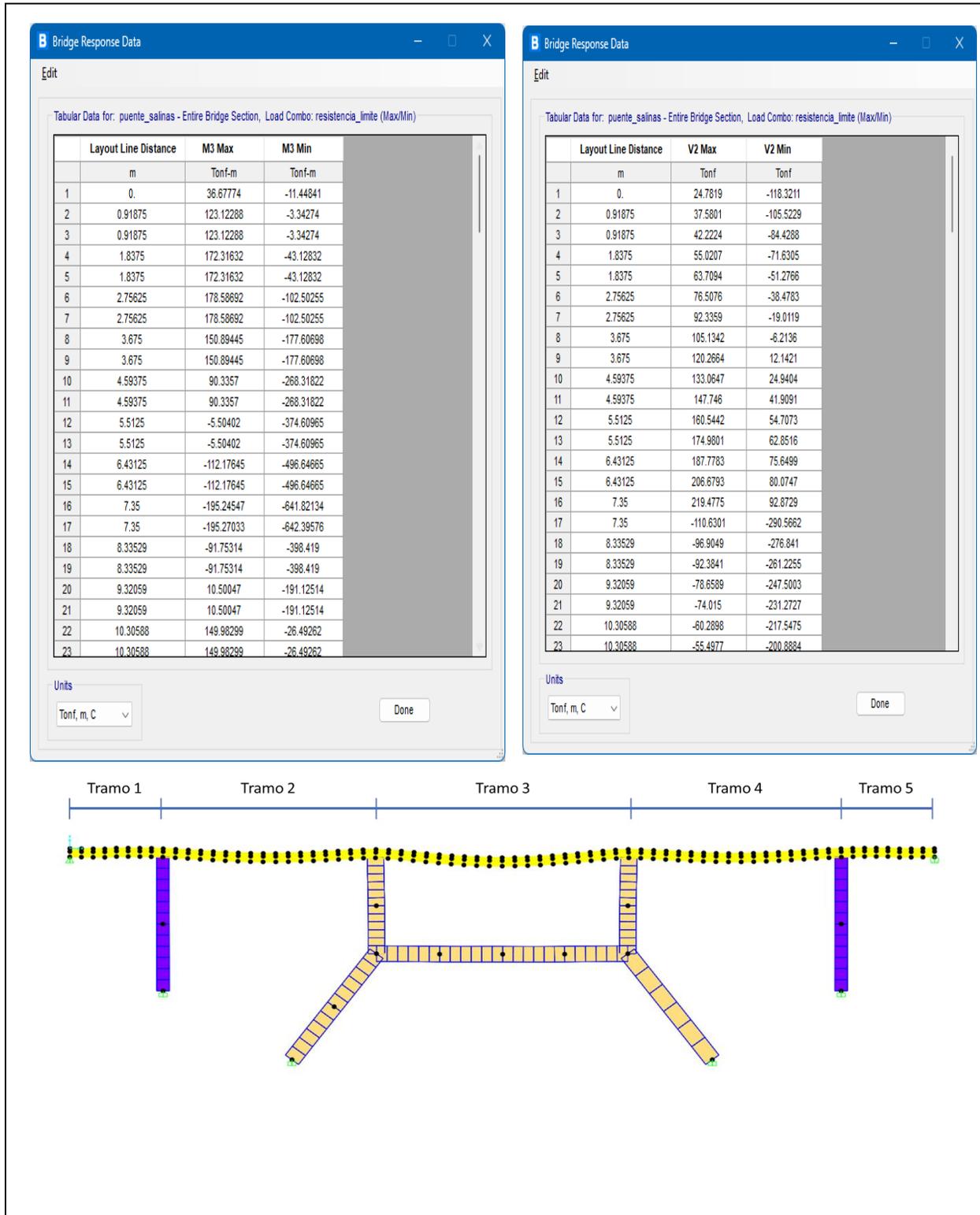
$$RF = \frac{C - \gamma_{DC} \cdot D_C - \gamma_{DW} \cdot D_W \pm \gamma_P \cdot P}{\gamma_{LL} \cdot L_L \cdot (1 + I_M)}$$

Donde:

- RF : Factor de Capacidad.
- C : Capacidad nominal del miembro.
- D_C : Efectos de carga muerta sobre los miembros debidos a su propio peso.
- D_W : Efectos de sobrecarga carga muerta (capa de rodadura).
- P : Cargas permanentes que no son carga muerta, se considera igual a 0.
- L_L : Sobrecarga vehicular.
- I_M : Incremento por carga vehicular dinámica.
- γ_{DC} : Factor LRFD de carga para componentes estructurales y accesorios.
- γ_{DW} : Factor LRFD de carga para superficie de desgaste y utilitarios.
- γ_P : Factor LRFD de cargas permanentes distintas a cargas muertas.
- γ_{LL} : Factor LRFD de cargas vivas, se considera igual a 1.

Todos los coeficientes que intervienen en el cálculo del factor de resistencia están detallados en el Capítulo 6 de (AASHTO, Manual for Bridge Evaluation, 2018). Anteriormente se solía calcular de forma manual el valor de RF . Actualmente, y con la ayuda de paquetes computacionales dedicados al diseño de puente como CSiBridge, se puede calcular dichos parámetros de forma automática.

Figura 58. Valores obtenidos del momento para el estado límite de resistencia



Nota. Presentación de los valores obtenidos del momento para el estudio límite de resistencia, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Se ha discretizado el puente en varios puntos (exactamente 136 puntos) distribuidos a lo largo de 5 tramos del puente. Cada tramo se ha definido en función de los apoyos. Para cada uno de los puntos se calcula el factor de resistencia según la fórmula. En la siguiente tabla se presenta un resumen de los factores de resistencia para flexión y corte en cada punto de análisis.

Tabla 29. Resumen de factores de resistencia para momento y cortante

| Tramo | Abscisa | Chequeo a Flexión | | | Chequeo a Cortante | | |
|---------|---------|-------------------------|-------------------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | Momento Máximo Absoluto | Momento Resistente Nominal Absoluto | RF Momento | Cortante Máximo Absoluto | Cortante Resistente Nominal Absoluto | RF Momento |
| | [m] | [tonf·m] | [tonf·m] | [-] | [tonf·m] | [tonf·m] | [-] |
| Tramo 1 | 0.00 | 36.68 | 20.81 | 0.57 | 118.32 | 65.48 | 0.55 |
| | 0.92 | 123.12 | 98.82 | 0.80 | 105.52 | 47.56 | 0.45 |
| | 0.92 | 123.12 | 98.82 | 0.80 | 84.43 | 29.54 | 0.35 |
| | 1.84 | 172.32 | 106.58 | 0.62 | 71.63 | 11.63 | 0.16 |
| | 1.84 | 172.32 | 106.58 | 0.62 | 63.71 | 8.70 | 0.14 |
| | 2.76 | 178.59 | 62.77 | 0.35 | 76.51 | 26.62 | 0.35 |
| | 2.76 | 178.59 | 62.77 | 0.35 | 92.34 | 51.33 | 0.56 |
| | 3.68 | 177.61 | 22.04 | 0.12 | 105.13 | 69.24 | 0.66 |
| | 3.68 | 177.61 | 22.04 | 0.12 | 120.27 | 92.69 | 0.77 |
| | 4.59 | 268.32 | 146.84 | 0.55 | 133.06 | 110.60 | 0.83 |
| | 4.59 | 268.32 | 146.84 | 0.55 | 147.75 | 132.76 | 0.90 |
| | 5.51 | 374.61 | 313.59 | 0.84 | 160.54 | 150.68 | 0.94 |
| | 5.51 | 374.61 | 313.59 | 0.84 | 174.98 | 166.48 | 0.95 |
| | 6.43 | 496.65 | 502.28 | 1.01 | 187.78 | 184.40 | 0.98 |
| | 6.43 | 496.65 | 502.28 | 1.01 | 206.68 | 200.73 | 0.97 |
| 7.35 | 641.82 | 690.58 | 1.08 | 219.48 | 218.65 | 1.00 | |
| Tramo 2 | 7.35 | 642.40 | 691.07 | 1.08 | 290.57 | 280.84 | 0.97 |
| | 8.34 | 398.42 | 404.39 | 1.01 | 276.84 | 261.62 | 0.95 |
| | 8.34 | 398.42 | 404.39 | 1.01 | 261.23 | 247.53 | 0.95 |
| | 9.32 | 191.13 | 149.02 | 0.78 | 247.50 | 228.31 | 0.92 |
| | 9.32 | 191.13 | 149.02 | 0.78 | 231.27 | 213.70 | 0.92 |
| | 10.31 | 149.98 | 101.88 | 0.68 | 217.55 | 194.49 | 0.89 |
| | 10.31 | 149.98 | 101.88 | 0.68 | 200.89 | 179.47 | 0.89 |
| | 11.29 | 274.65 | 275.10 | 1.00 | 187.16 | 160.25 | 0.86 |
| | 11.29 | 274.65 | 275.10 | 1.00 | 170.26 | 144.95 | 0.85 |
| | 12.28 | 383.02 | 405.17 | 1.06 | 156.53 | 125.73 | 0.80 |
| | 12.28 | 383.02 | 405.17 | 1.06 | 139.56 | 110.06 | 0.79 |
| | 13.26 | 472.10 | 494.51 | 1.05 | 125.84 | 90.84 | 0.72 |
| | 13.26 | 472.10 | 494.51 | 1.05 | 108.98 | 70.94 | 0.65 |
| | 14.25 | 530.14 | 543.25 | 1.02 | 95.25 | 51.73 | 0.54 |
| | 14.25 | 530.14 | 543.25 | 1.02 | 78.65 | 31.54 | 0.40 |
| | 15.23 | 553.96 | 548.96 | 0.99 | 64.92 | 12.33 | 0.19 |
| | 15.23 | 553.96 | 548.96 | 0.99 | 60.10 | 7.69 | 0.13 |
| | 16.22 | 543.68 | 511.77 | 0.94 | 73.83 | 26.91 | 0.36 |
| | 16.22 | 543.68 | 511.77 | 0.94 | 87.07 | 45.64 | 0.52 |
| | 17.20 | 509.58 | 436.87 | 0.86 | 100.80 | 64.85 | 0.64 |
| 17.20 | 509.58 | 436.87 | 0.86 | 116.34 | 84.94 | 0.73 | |
| 18.19 | 440.60 | 317.29 | 0.72 | 130.07 | 104.16 | 0.80 | |
| 18.19 | 440.60 | 317.29 | 0.72 | 146.32 | 124.44 | 0.85 | |

| | | | | | | | |
|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|------|
| | 19.17 | 336.63 | 154.08 | 0.46 | 160.05 | 143.66 | 0.90 |
| | 19.17 | 336.63 | 154.08 | 0.46 | 176.76 | 163.89 | 0.93 |
| | 20.16 | 261.60 | 49.49 | 0.19 | 190.48 | 183.10 | 0.96 |
| | 20.16 | 261.60 | 49.49 | 0.19 | 207.49 | 203.10 | 0.98 |
| | 21.14 | 391.54 | 289.94 | 0.74 | 221.21 | 222.31 | 1.00 |
| | 21.14 | 391.54 | 289.94 | 0.74 | 238.36 | 241.90 | 1.01 |
| | 22.13 | 543.99 | 567.30 | 1.04 | 252.08 | 261.11 | 1.04 |
| | 22.13 | 543.99 | 567.30 | 1.04 | 269.21 | 279.72 | 1.04 |
| | 23.11 | 722.45 | 881.42 | 1.22 | 282.94 | 298.93 | 1.06 |
| | 23.11 | 722.45 | 881.42 | 1.22 | 299.87 | 314.44 | 1.05 |
| | 24.10 | 942.39 | 1211.54 | 1.29 | 313.59 | 333.66 | 1.06 |
| Tramo 3 | 24.10 | 955.58 | 1226.51 | 1.28 | 340.62 | 356.85 | 1.05 |
| | 25.10 | 698.85 | 868.59 | 1.24 | 326.76 | 337.44 | 1.03 |
| | 25.10 | 698.85 | 868.59 | 1.24 | 311.99 | 323.88 | 1.04 |
| | 26.09 | 477.22 | 519.07 | 1.09 | 298.13 | 304.47 | 1.02 |
| | 26.09 | 477.22 | 519.07 | 1.09 | 283.00 | 290.57 | 1.03 |
| | 27.09 | 289.20 | 204.06 | 0.71 | 269.14 | 271.16 | 1.01 |
| | 27.09 | 289.20 | 204.06 | 0.71 | 253.76 | 256.29 | 1.01 |
| | 28.08 | 219.11 | 65.94 | 0.30 | 239.90 | 236.89 | 0.99 |
| | 28.08 | 219.11 | 65.94 | 0.30 | 224.38 | 219.30 | 0.98 |
| | 29.08 | 383.27 | 293.20 | 0.77 | 210.52 | 199.89 | 0.95 |
| | 29.08 | 383.27 | 293.20 | 0.77 | 194.98 | 181.87 | 0.93 |
| | 30.07 | 525.99 | 480.96 | 0.91 | 181.12 | 162.46 | 0.90 |
| | 30.07 | 525.99 | 480.96 | 0.91 | 165.66 | 144.13 | 0.87 |
| | 31.07 | 637.04 | 625.54 | 0.98 | 151.80 | 124.73 | 0.82 |
| | 31.07 | 637.04 | 625.54 | 0.98 | 136.52 | 106.18 | 0.78 |
| | 32.06 | 715.34 | 728.05 | 1.02 | 122.66 | 86.78 | 0.71 |
| | 32.06 | 715.34 | 728.05 | 1.02 | 107.65 | 68.13 | 0.63 |
| | 33.06 | 760.38 | 788.02 | 1.04 | 93.79 | 48.72 | 0.52 |
| | 33.06 | 760.38 | 788.02 | 1.04 | 79.13 | 29.26 | 0.37 |
| | 34.05 | 772.04 | 805.41 | 1.04 | 65.27 | 9.85 | 0.15 |
| | 34.05 | 772.04 | 805.41 | 1.04 | 65.37 | 9.99 | 0.15 |
| | 35.05 | 760.27 | 787.93 | 1.04 | 79.23 | 29.39 | 0.37 |
| | 35.05 | 760.27 | 787.93 | 1.04 | 93.88 | 48.86 | 0.52 |
| | 36.04 | 715.09 | 727.82 | 1.02 | 107.74 | 68.26 | 0.63 |
| | 36.04 | 715.09 | 727.82 | 1.02 | 122.76 | 86.91 | 0.71 |
| | 37.04 | 636.64 | 625.19 | 0.98 | 136.62 | 106.32 | 0.78 |
| | 37.04 | 636.64 | 625.19 | 0.98 | 151.90 | 124.86 | 0.82 |
| | 38.03 | 525.44 | 480.48 | 0.91 | 165.76 | 144.26 | 0.87 |
| | 38.03 | 525.44 | 480.48 | 0.91 | 181.22 | 162.60 | 0.90 |
| | 39.03 | 382.57 | 292.29 | 0.76 | 195.08 | 182.00 | 0.93 |
| | 39.03 | 382.57 | 292.29 | 0.76 | 210.62 | 200.02 | 0.95 |
| | 40.02 | 218.36 | 64.91 | 0.30 | 224.48 | 219.43 | 0.98 |
| | 40.02 | 218.36 | 64.91 | 0.30 | 240.00 | 237.02 | 0.99 |
| | 41.02 | 289.73 | 205.09 | 0.71 | 253.86 | 256.42 | 1.01 |
| 41.02 | 289.73 | 205.09 | 0.71 | 269.23 | 271.27 | 1.01 | |
| 42.01 | 477.85 | 520.24 | 1.09 | 283.09 | 290.67 | 1.03 | |
| 42.01 | 477.85 | 520.24 | 1.09 | 298.22 | 304.57 | 1.02 | |
| 43.01 | 699.59 | 869.87 | 1.24 | 312.08 | 323.98 | 1.04 | |
| 43.01 | 699.59 | 869.87 | 1.24 | 326.85 | 337.54 | 1.03 | |
| 44.00 | 956.46 | 1227.41 | 1.28 | 340.71 | 356.95 | 1.05 | |
| ramo 4 | 44.00 | 943.60 | 1213.09 | 1.29 | 313.90 | 333.96 | 1.06 |
| | 44.99 | 723.50 | 883.13 | 1.22 | 300.18 | 314.74 | 1.05 |
| | 44.99 | 723.50 | 883.13 | 1.22 | 283.25 | 299.28 | 1.06 |

| | | | | | | | |
|---------|-------|--------|--------|------|--------|--------|------|
| | 45.97 | 544.88 | 568.68 | 1.04 | 269.52 | 280.06 | 1.04 |
| | 45.97 | 544.88 | 568.68 | 1.04 | 252.39 | 261.48 | 1.04 |
| | 46.96 | 392.31 | 290.98 | 0.74 | 238.67 | 242.27 | 1.02 |
| | 46.96 | 392.31 | 290.98 | 0.74 | 221.52 | 222.69 | 1.01 |
| | 47.94 | 262.28 | 50.09 | 0.19 | 207.80 | 203.47 | 0.98 |
| | 47.94 | 262.28 | 50.09 | 0.19 | 190.79 | 183.48 | 0.96 |
| | 48.93 | 336.87 | 153.84 | 0.46 | 177.06 | 164.26 | 0.93 |
| | 48.93 | 336.87 | 153.84 | 0.46 | 160.34 | 144.03 | 0.90 |
| | 49.91 | 441.15 | 317.42 | 0.72 | 146.62 | 124.82 | 0.85 |
| | 49.91 | 441.15 | 317.42 | 0.72 | 130.35 | 104.53 | 0.80 |
| | 50.90 | 510.41 | 437.36 | 0.86 | 116.63 | 85.31 | 0.73 |
| | 50.90 | 510.41 | 437.36 | 0.86 | 101.06 | 65.21 | 0.65 |
| | 51.88 | 544.78 | 512.62 | 0.94 | 87.33 | 45.99 | 0.53 |
| | 51.88 | 544.78 | 512.62 | 0.94 | 74.08 | 27.27 | 0.37 |
| | 52.87 | 555.37 | 550.23 | 0.99 | 60.36 | 8.05 | 0.13 |
| | 52.87 | 555.37 | 550.23 | 0.99 | 64.63 | 11.95 | 0.18 |
| | 53.85 | 531.82 | 544.91 | 1.02 | 78.36 | 31.17 | 0.40 |
| | 53.85 | 531.82 | 544.91 | 1.02 | 94.96 | 51.35 | 0.54 |
| | 54.84 | 474.00 | 496.53 | 1.05 | 108.69 | 70.57 | 0.65 |
| | 54.84 | 474.00 | 496.53 | 1.05 | 125.54 | 90.48 | 0.72 |
| | 55.82 | 384.74 | 407.33 | 1.06 | 139.27 | 109.70 | 0.79 |
| | 55.82 | 384.74 | 407.33 | 1.06 | 156.24 | 125.42 | 0.80 |
| | 56.81 | 276.25 | 277.03 | 1.00 | 169.96 | 144.64 | 0.85 |
| | 56.81 | 276.25 | 277.03 | 1.00 | 186.87 | 159.95 | 0.86 |
| | 57.79 | 151.59 | 104.53 | 0.69 | 200.60 | 179.17 | 0.89 |
| | 57.79 | 151.59 | 104.53 | 0.69 | 217.26 | 194.19 | 0.89 |
| | 58.78 | 187.84 | 145.22 | 0.77 | 230.99 | 213.40 | 0.92 |
| | 58.78 | 187.84 | 145.22 | 0.77 | 247.23 | 228.02 | 0.92 |
| | 59.76 | 394.85 | 400.68 | 1.01 | 260.95 | 247.24 | 0.95 |
| | 59.76 | 394.85 | 400.68 | 1.01 | 276.58 | 261.34 | 0.94 |
| | 60.75 | 638.64 | 687.11 | 1.08 | 290.31 | 280.56 | 0.97 |
| Tramo 5 | 60.75 | 638.19 | 686.63 | 1.08 | 216.72 | 216.13 | 1.00 |
| | 61.67 | 497.33 | 502.55 | 1.01 | 203.92 | 198.21 | 0.97 |
| | 61.67 | 497.33 | 502.55 | 1.01 | 185.19 | 182.01 | 0.98 |
| | 62.59 | 379.43 | 316.90 | 0.84 | 172.39 | 164.09 | 0.95 |
| | 62.59 | 379.43 | 316.90 | 0.84 | 157.07 | 148.03 | 0.94 |
| | 63.51 | 277.32 | 154.15 | 0.56 | 144.27 | 130.12 | 0.90 |
| | 63.51 | 277.32 | 154.15 | 0.56 | 129.34 | 108.15 | 0.84 |
| | 64.43 | 190.77 | 36.18 | 0.19 | 116.54 | 90.23 | 0.77 |
| | 64.43 | 190.77 | 36.18 | 0.19 | 100.95 | 66.70 | 0.66 |
| | 65.34 | 173.37 | 44.23 | 0.26 | 88.15 | 48.79 | 0.55 |
| | 65.34 | 173.37 | 44.23 | 0.26 | 71.78 | 23.75 | 0.33 |
| | 66.26 | 160.18 | 79.11 | 0.49 | 58.98 | 5.83 | 0.10 |
| | 66.26 | 160.18 | 79.11 | 0.49 | 71.23 | 14.65 | 0.21 |
| | 67.18 | 102.90 | 64.79 | 0.63 | 84.03 | 32.57 | 0.39 |
| | 67.18 | 102.90 | 64.79 | 0.63 | 105.61 | 50.88 | 0.48 |
| | 68.10 | 0.00 | 0.00 | 1.65 | 118.40 | 68.79 | 0.58 |

Nota. Esta tabla representa el resumen de factores de resistencia para momento y cortante en cada uno de los tramos del puente, elaboración propia, 2023.

Resultados respecto al factor de resistencia

4.1.23 Deflexiones del tablero

Del análisis de deflexiones del tablero, tanto para carga muerta permanente, como para el estado límite de deflexiones se tienen los siguientes resultados.

Tabla 30. *Límites permisibles deflexiones en vanos del puente*

| Tramo de Puente | Caso de Carga | Deflexión máxima | Deflexión permisible | Verificación |
|-----------------|-----------------------|------------------|----------------------|--------------|
| Extremos | Muerta permanente | 14.58 mm | 16.75 mm | No cumple |
| | Límite de Resistencia | 63.92 mm | 27.5 mm | No cumple |
| Central | Muerta permanente | 30.47 mm | 19.90 mm | No cumple |
| | Límite de Resistencia | 114.75 mm | 33.16 mm | No cumple |

Nota. Esta tabla representa los límites permisibles deflexiones en vanos del puente.

Los límites permisibles fueron tomados del Capítulo 6 de la (AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications, 2020). Donde se establece que el límite de deflexión δ_{DC} para carga muerta permanente es:

$$\delta_{DC} = \frac{L}{1000}$$

Mientras que para el estado límite de resistencia δ_{RL} está dado por:

$$\delta_{RL} = \frac{L}{600}$$

Si bien los límites son conservadores. Para nuestro caso de estudio, la deformación máxima es de 114.75 mm, lo que supera al límite normativo en alrededor de 3.5 veces.

Relación entre demanda y capacidad

Respecto al análisis de los factores de resistencia, la normativa (AASHTO, Manual for Bridge Evaluation, 2018) establece lo siguiente:

Tabla 31. *Evaluación del factor de resistencia*

| Condición | | | | Evaluación |
|-----------|------|--------|---|---|
| Si | RF | \geq | 1 | La estructura satisface las solicitaciones de carga. |
| Si | RF | $<$ | 1 | La estructura no satisface las solicitaciones de carga. |

Nota. Esta tabla representa la evaluación del factor de resistencia.

En la tabla del apartado anterior, en donde se obtuvieron los coeficientes de resistencia RF , se puede apreciar que la mayoría son menores a 1. Esto indica que el puente en la gran mayoría de puntos de análisis no satisface las solicitaciones de carga.

En otras palabras, las cargas vehiculares a las que está expuesto el puente sobrepasan los esfuerzos normativos que soporta el puente.

Los factores RF son en su mayoría menores a 1 tanto para deflexión y cortante. La deflexión causa el efecto de deformaciones excesivas en el tablero, mientras que el cortante puede provocar fallas frágiles en el hormigón.

4.1.24 Desempeño sísmico

Para tener una idea objetiva del desempeño sísmico del puente se calcula el desplazamiento relativo en cada componente sísmica.

Tabla 32. *Desplazamiento sísmico*

| Sismo | Desplazamiento máximo | Desplazamiento relativo |
|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Sismo en dirección “x” | 16 mm | 0.10% |
| Sismo en dirección “y” | 40 mm | 0.24% |

Nota. Esta tabla representa el desplazamiento sísmico en el modelo del puente.

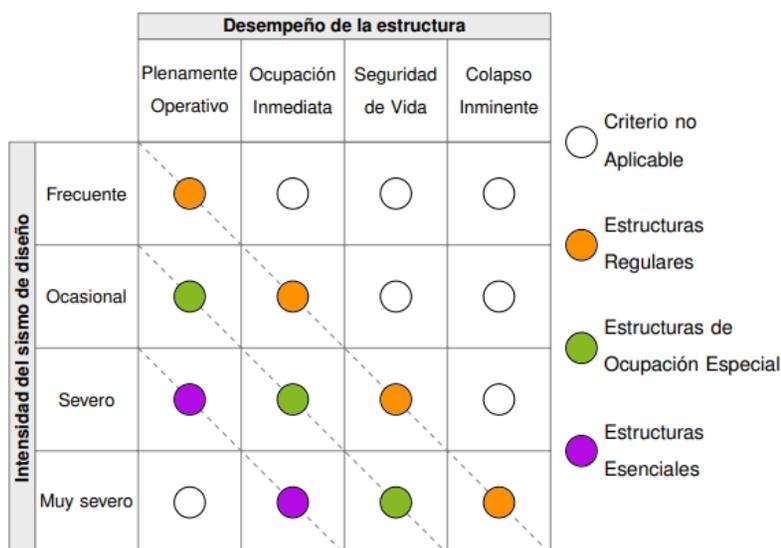
El desplazamiento relativo es la relación entre el desplazamiento máximo y la altura del puente.

$$\Delta = \frac{\delta}{h}$$

Donde Δ es el desplazamiento relativo representado en porcentaje, δ es el desplazamiento en dirección “x” o “y”, y h representa la altura del puente, que se en este caso es de 16.80 m.

A esta relación en porcentaje usualmente se la conoce como “deriva”. Ya que se consideró el factor de reducción $R = 5$ en el cálculo de los desplazamientos, esta deriva corresponde a la deriva inelástica. En la normativa (ASCE41-17, 2017), se establece ciertos límites de desempeño sísmico basados en el daño causado en la estructura por efectos sísmicos. La siguiente figura describe los límites de desempeño.

Figura 59. Niveles de desempeño para estructuras sismorresistentes.



Nota. Adaptado de *Niveles de desempeño para estructuras sismorresistentes*, (p.120), por ASCE41-17, 2017, American Society of Civil Engineers.

Cada nivel de desempeño tiene su alcance de daño, como se detalla a continuación.

- a) **Plenamente Operativo:** No se presentan daños en los componentes estructurales.
- b) **Ocupación Inmediata:** Daño estructural leve, la estructura trabaja en el rango lineal.
- c) **Seguridad de Vida:** Daño estructural considerable, la estructura incursiona en el rango no lineal y se forman rótulas plásticas. No colapsa y permite la evacuación de personas.
- d) **Prevención de Colapso:** Umbral previo al colapso inminente.

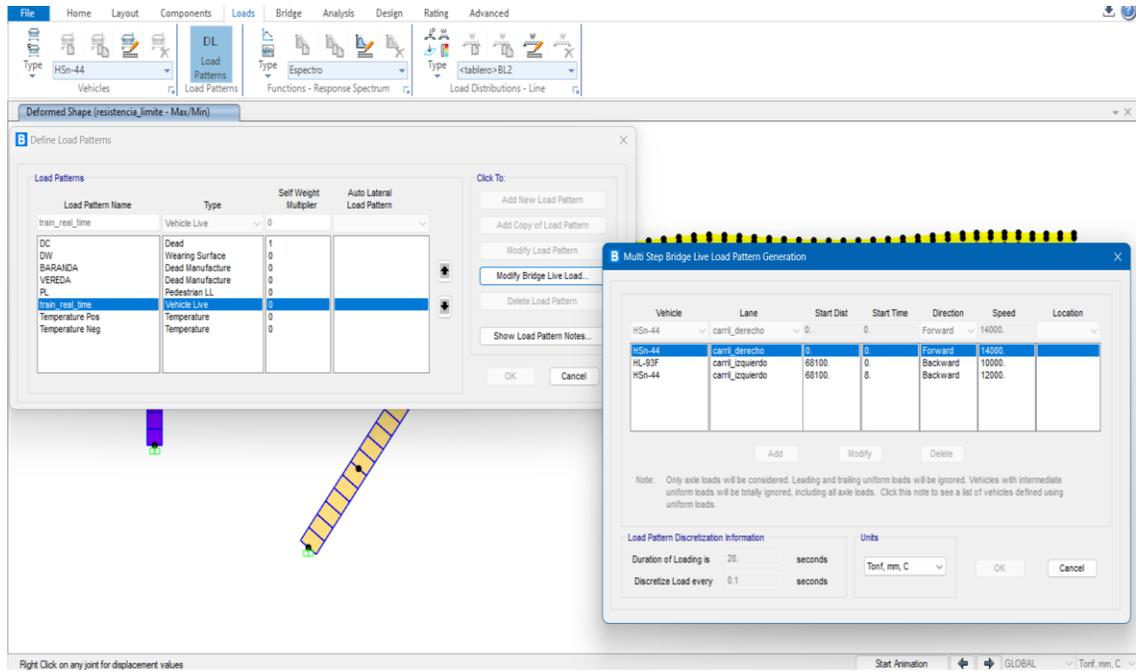
Según las derivas y los resultados de diseño, se puede estimar que el puente se encuentra en un estado de *Estructura de Ocupación Especial*, lo que significa que, ante eventos sísmicos severos (sismos con aceleraciones esperadas de 0.35g), su desempeño sísmico será de Ocupación Inmediata; mientras que eventos sísmicos muy severos (sismos con aceleraciones esperadas superiores a las de diseño de 0.35g) su desempeño sísmico será de *Seguridad de Vida*.

4.1.25 Simulación de tráfico

Una ventaja de utilizar CSiBridge frente a otros paquetes computacionales es la facilidad que provee al diseñador para visualizar los resultados de forma dinámica mediante la simulación de tráfico. Para definir la simulación, se recurre al módulo *Loads/Load Patterns*, donde se define

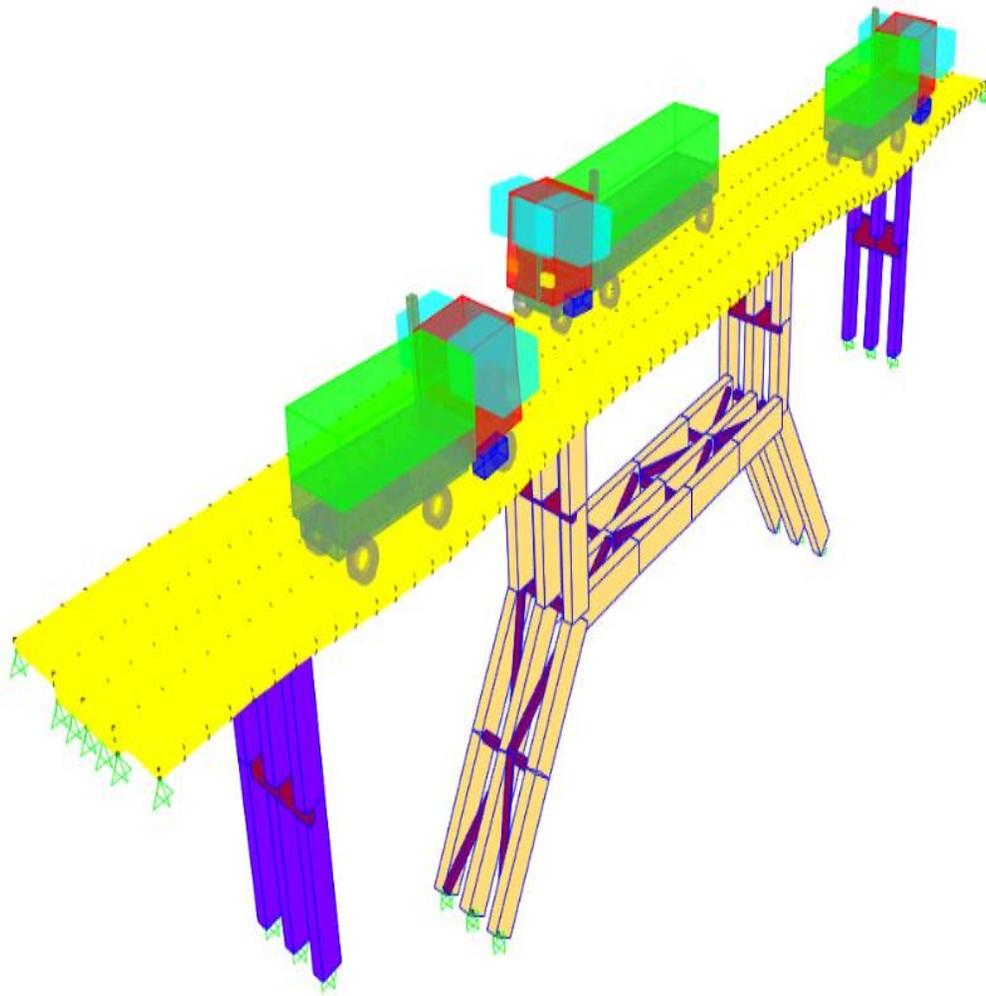
un patrón de carga como *Vehicle Live*, y en la ventana de *Modify Bridge Live Load* se especifica los camiones que circularán por el puente con su respectiva dirección y velocidad.

Figura 60. *Parámetros para la simulación de tráfico.*



Nota. Presentación de los parámetros para la simulación de tráfico en el modelo digital, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

Figura 61. Simulación de tráfico



Nota. Presentación de la simulación de tráfico en el modelo del puente, elaboración propia en CSiBridge, 2023.

En la simulación se puede apreciar las deformaciones de la estructura a medida que circulan los camiones de diseño. Esos resultados más bien son cualitativos, ya que permite apreciar que el elemento que mayores deformaciones experimenta es el tablero, mientras que los pilares se deforman relativamente poco.

4.2 Resultado del Objetivo 3

4.2.1 Proponer medidas de prevención para el mantenimiento de los puentes de la Vía Vinchoa y Santa Fe ante el riesgo sísmico.

A continuación, se presenta las acciones propuestas para la prevención del riesgo sísmico en los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe.

➤ **Puente de la Vía Vinchoa.** – mediante los resultados obtenidos a través de la aplicación de la ficha técnica SIPUMEX el puente presenta daños ligeros y problemas menores en su estructura.

4.2.2 Mantenimiento Preventivo. – consiste en reparaciones menores que ayudan a prevenir daños, estas acciones son:

- ✓ Limpieza del cauce del río antes de la época lluviosa.
- ✓ Eliminación de vegetación en la cimentación.
- ✓ Tratamientos superficiales para mejorar la conservación de los materiales, limpieza del concreto, repintados, aplicación de sellador, señalización horizontal y vertical y reparación de barandales.
- ✓ Reparación de grietas y desconchamiento del concreto de magnitud pequeña.
- ✓ Realizar estudios técnicos que ayuden a identificar años en la estructura.

Figura 62. *Mantenimiento preventivo.*



Nota. Adaptado de *Medidas de mantenimiento para puentes*, por Federico Núñez, 2011, Ingeniería de puentes (<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/41126>).

- **Puente de la Vía Santa Fe.** – mediante los resultados obtenidos a través de la aplicación de la ficha técnica SIPUMEX y el modelamiento en SCI Bridge, el puente no cumple con las demandas de diseños vigentes; por lo que, se recomienda tomar medidas preventivas, que son 2 caminos que seguir como: la rehabilitación estructural o la demolición y la sustitución por

un nuevo puente que cumpla con las normativas actuales, esto debe realizarse en un plazo de 1 a 2 años.

En caso de que se opte por la rehabilitación estructural, es necesario realizar estudios de reforzamiento y validar cual es la metodología optima y que mejor se adapten a las condiciones del puente en su estado actual.

A continuación, se presenta de manera resumida alguna opciones de reforzamiento que podrían estudiarse y aplicarse.

4.2.3 Reforzamiento con postensado externo

Uno de los métodos más eficientes para contrarrestar deflexiones excesivas del puente es el sistema de postensado externo. Esta tecnología de reforzamiento consiste en disponer de puntales bajo el tablero o viga flejada que se conectan a una red de cables en tensión.

Figura 63. *Postensado externo.*



Nota. Adaptado de *Reforzamiento de Posteadado externo*, (p. 76) por Thiru Aravithan, 2005, *Overview of External Post-Tensioning in Bridges*.

En la figura superior se puede apreciar el sistema de postensado externo para un puente y una viga de un edificio. Si bien esta metodología reduce las deflexiones se requiere de un estudio amplio para determinar si también aporta una mejor en el desempeño a flexión y a corte en el elemento estructural.

4.2.4 Reforzamiento con encamisado

Otra metodología muy difundida en la rehabilitación y reforzamiento de estructuras es el encamisado, ya sea de hormigón o metálico. El encamisado de elementos estructurales consiste básicamente en forrar al elemento estructural deficiente con una capa adicional de nuevo material, con lo que se consigue fortalecer el elemento estructural.

Se puede emplear encamisado de hormigón, en donde el reforzamiento se compone de acero tejido alrededor del elemento a reforzar y hormigón. Usualmente se utiliza micro – hormigón lanzado.

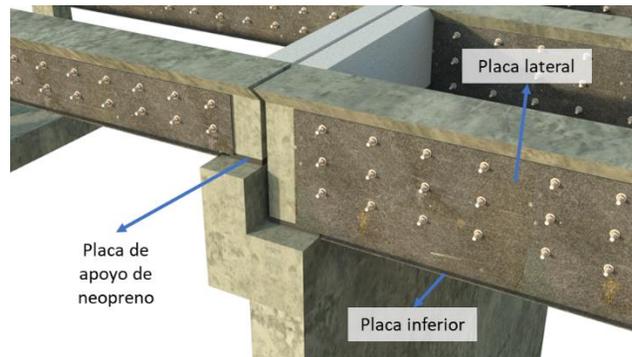
Figura 64. *Encamisado de hormigón armado en pilares de un puente.*



Nota. Adaptado de *Reforzamiento con encamisado de hormigón armado en pilares de un puente*, (p. 98), por Vijay Kulkarni, 2003, *Rehabilitation and Retrofitting of Transportation*.

Se puede también utilizar placas metálicas ancladas a los elementos estructurales de hormigón. Las placas metálicas van ancladas con pernos y roscas.

Figura 65. *Encamisado de placas metálicas en vigas de un puente.*



Nota. Adaptado de *Reforzamiento de placas metálicas en vigas de un puente*, (p.46), por Juan Carlos Mediavilla, 2022, *Propuesta de Reforzamiento de la Superestructura del Puente sobre el Río Mocora*.

4.2.5 Reforzamiento con láminas de fibra de carbono

Una tecnología reciente de reforzamiento es el uso de láminas de carbono de polímero reforzadas (CFRP, por sus siglas en inglés). Estas fibras tienen un alto módulo de elasticidad y pueden aplicarse donde las alternativas tradicionales son complicadas de aplicar, ya sea por cuestiones arquitectónicas o de accesibilidad. No se requiere mano de obra especializada para

su colocación y son sencillas de implementar en comparación con otros métodos de reforzamiento.

Este método de reforzamiento es conveniente aplicar cuando los elementos estructurales presentan un déficit de resistencia a corte o flexión, pero no se recomienda su uso para reforzamiento de elementos sometidos a carga axial, sea de tracción o compresión.

Figura 66. *Reforzamiento de elementos estructurales de un puente con CFRP.*



Nota. Adaptado de *Reforzamiento con encamisado de hormigón armado en pilares de un puente*, (p. 78), por Vijay Kulkarni, 2003, *Rehabilitation and Retrofitting of Transportation*.

4.2.6 Reforzamiento con subestructura adicional

Una forma de reforzamiento usualmente viable es la instalación de una subestructura metálica bajo el tablero del puente. Esta subestructura puede consistir en cartelas, vigas o celosías.

Figura 67. *Subestructura metálica anclada a estructura de hormigón.*



Nota. Adaptado de *Reforzamiento de la Subestructura metálica anclada a estructura de hormigón* [Fotografía], por REHABTEC, *Rehabilitación Integral de Puentes*, 2020, (<https://rehabtec.co/servicios-productos/rehabilitacion-de-puentes/>).

Figura 68. Celosía metálica implementada bajo el tablero de puente de hormigón armado.



Nota. Adaptado de *Reforzamiento con encamisado de hormigón armado en pilares de un puente*, (p. 58), por Vijay Kulkarni, 2003, *Rehabilitation and Retrofitting of Transportation*.

Estas subestructuras reducen las deflexiones, aumentan la capacidad de resistencia a momento y cortante.

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.2 Conclusiones

Puente de la Vía Vinchoa

1. Mediante la observación directa y la metodología utilizada se logró evidenciar que los elementos de la estructura del puente presentan problemas menores en su cimentación, neoprenos, apoyos, subestructura y superestructura, el resultado obtenido nos indica que la estructura del puente se encuentra en una categoría de vulnerabilidad “Poco Vulnerable”.
2. En el presente estudio de caso se analizó el nivel de vulnerabilidad estructural del puente utilizando la ficha técnica de inspección y evaluación ante fenómenos sísmicos SIPUMEX, en la cual se obtuvo un índice de vulnerabilidad categoría 2 “Poco Vulnerable”, que significa que la estructura presenta problemas menores y su plazo de atención es indefinido; aunque la vulnerabilidad no es alta se debe tomar acciones para reducir el nivel de daño ante eventos sísmicos. También se realizó un ensayo no destructivo en la estructura del puente para conocer la resistencia del hormigón en vigas y aleros mediante el uso del esclerómetro se obtuvo un valor de 136,51 kg/cm² cumpliendo con el valor establecido por la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) anterior que era de 110Kg/cm².
3. Como medidas preventivas para reducir la vulnerabilidad en el puente de la vía a Vinchoa ante el riesgo sísmico, se deben realizar la limpieza del cauce del río antes de la época lluviosa, eliminar la vegetación en la cimentación, tratamientos superficiales para mejorar la conservación de los materiales, limpieza del concreto, repintados, aplicación de sellador, señalización horizontal y vertical y reparación de barandales, reparación de grietas y desconchamiento del concreto de magnitud pequeña, con la finalidad de evitar daños que requieran una inversión mayor de recursos, materiales y tiempo.

Puente de la Vía Santa Fe

1. Del análisis de resultados de los indicadores evaluados a través de la observación directa y la aplicación de la metodología SIPUMEX, podemos indicar que la estructura del puente se encuentra en un índice de vulnerabilidad categoría 4 “Vulnerable”, esto indica que el puente de la vía Santa Fe presentan varias patologías de naturaleza física en sus elementos estructurales como: cimentación, tablero, zapatas, estribos, pilas y apoyos, que afectan su

resistencia y comprometen su funcionamiento por la presencia de fisuras y deformaciones, debido a que los materiales del puente de la vía Santa Fe han llegado a la fatiga y deterioro, las deflexiones en el tablero tanto por carga muerta permanente, como por carga de resistencia limite sobrepasa las deflexiones de la normativa vigente AASHTO; también se realizó un ensayo no destructivo en la estructura del puente para conocer la resistencia del hormigón en su cimentación mediante el uso del esclerómetro se obtuvo un valor de 127,67 kg/cm², cumpliendo con el valor establecido por la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) anterior que era de 110Kg/cm².

2. En base a los resultados obtenidos del modelamiento mediante el software CSiBridge, se pudo constatar que los factores de resistencia fueron en su mayoría menores a 1, tanto para el análisis a corte y a flexión; lo que indica un déficit en la capacidad del puente, en la subestructura, no existen patologías evidentes a simple vista, las armaduras no cumplen con la cuantía y la separación mínima requerida para satisfacer los criterios sismorresistentes propuestos por ACI-318 (2014) y AASHTO LRFD (2014). El hormigón ha sufrido un deterioro de resistencia del 43%, el conjunto estructural alcanza un deterioro del 33% de rigidez, algunos miembros estructurales de la subestructura no soportan la carga de diseño vehicular HL-93 en el estado límite de resistencia y tampoco soportan el sismo de diseño propuesto por la NEC-15 en el estado límite de evento extremo. La presión que la cimentación ejerce sobre el suelo considerando las cargas para evaluación es mayor que la capacidad admisible del suelo. También se evidenció que el 57% del puente tiene baja capacidad a fuerza cortante. Al mismo tiempo, un 80% del puente tiene baja capacidad a flexión. El puente debe tener capacidad suficiente tanto como para flexión como para fuerza cortante. Por lo tanto, considerando el caso más desfavorable, se puede concluir que un 80% del puente tiene baja capacidad y necesita ser reforzado, la estructura del puente tiene un comportamiento y desempeño no aceptable por lo tanto es una estructura vulnerable ante sismos, ya que los desplazamientos por fuerza sísmica son significativamente pequeños para el espectro de diseño: alrededor de 0.10% en dirección “x” y del 0.24% en dirección “y”; esto indica que en cuanto al diseño sísmico la subestructura del puente es lo suficiente rígida para calificar como estructura de Ocupación Especial.

3. Como medidas de prevención propuestas ante el riesgo sísmico que se determinó para el puente de la vía Santa Fe, se destacan el reforzamiento con postensado externo, reforzamiento

con encamisado, reforzamiento con láminas de fibra de carbono y reforzamiento con subestructura adicional.

5.3 Recomendaciones

- 1.** Los elementos estructurales de los puentes requieren su respectivo mantenimiento, esto permite asegurar su correcto funcionamiento.
- 2.** Realizar estudios que permitan crear programas de mantenimiento con la finalidad de atender aquellos puentes con daños ligeros que todavía no presentan un riesgo para su seguridad estructural y programas de rehabilitación para atender los puentes que presentan problemas de capacidad de carga y necesitan una intervención que puede implicar desde un refuerzo de los elementos estructurales hasta el remplazamiento de la estructura.
- 3.** Este tipo de trabajos abre paso a futuras investigaciones sobre estudios de vulnerabilidad del sistema vial, incluyendo a la gestión del riesgo ya que es necesario buscar medidas para controlar el riesgo y prever las amenazas que pueden afectar la estructura vial, permitirá implementar proceso y metodologías adecuadas de mantenimiento y conservación, los ingenieros deben tener en cuenta los efectos de las fuerzas de los sismos, el peso de las estructuras en sí (carga muerta), el tráfico vehicular (carga viva) y utilizar programas especializados para modelar el comportamiento de las estructuras frente a situaciones críticas, con el propósito de garantizar el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos en las etapas de construcción y operación.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (2018). *Manual for Bridge Evaluation*. Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2020). *LRFD Bridge Design Specifications*. Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Acosta, A. T., Moreno, A. d., & Madrid, M. M. (2010). *PLAN NACIONAL DE EVALUACIÓN DE PUENTES FEDERALES, LIBRES DE PEAJE DAÑADOS POR CORROSIÓN (2000-2005). UNA CUANTIFICACIÓN DE RESULTADOS, PROYECTOS Y COLABORACIONES*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt327.pdf>
- Alsina. (2021). *Las pilas. Son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos. Deben soportar la carga permanentemente y sobrecargas sin*. Obtenido de <https://www.alsina.com/es-la/tipologia-constructiva-de-puentes-las-pilas/>
- Álvarez, C. A. (2011). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA*. Obtenido de <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Andes, U. d. (2017). *Amenaza Sísmica en Latinoamérica*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3477/347753793001/html/index.html>
- Aravinthan, T. (2005). *Overview of External Post-Tensioning in Bridges*. USA: University of Southern Queensland.
- ARBOLEDA, O. D. (2001). *ESTIMACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO UTILIZANDO SISTEMAS DINÁMICOS COMPLEJOS*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6219/04Capitulo2.PDF>
- Astronomía. (s.f.). *Escala de Mercalli*. Obtenido de <https://www.astromia.com/glosario/mercalli.htm>
- Ávila, J. R., & Herazo, Á. R. (25 de Abril de 2017). *Relación entre resistencia a compresión en cilindros de concreto y los rebotes con esclerómetro digital*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/6-estructuras/6.18.pdf>
- Bohórquez, K., & Mendoza, J. L. (15 de 12 de 2020). *ESTUDIO DEL GRADO DE DETERIORO DEL HORMIGÓN SIMPLE Y ARMADO EMPLEANDO UNA CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO*.

Obtenido de file:///C:/Users/LABBIB~1/AppData/Local/Temp/Dialnet-EstudioDelGradoDeDeterioroDelHormigonSimpleYArmado-8269981.pdf

Búa, M. T. (2014). *Cimientos*. Obtenido de https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/71_cimientos.html

Buitrago, A. Á. (2019). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES INDISPENSABLES DEL GRUPO III SECTOR EDUCACIÓN UBICADOS EN EL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS, RISARALDA*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17871/EVALUACI%c3%93N%20DE%20LA%20VULNERABILIDAD%20ESTRUCTURAL%20DE%20LAS%20EDIFICACIONES%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Camacho, J. A. (2016). *Modelo para la articulación de la Gestión del Riesgo en el proceso de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Guaranda / Ecuador*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=119195>

Cañas, J. S. (2006). *Materiales de Construcción*. Obtenido de https://www.google.com/search?q=UNIVERSIDAD+CENTROAMERICANA+%E2%80%9CJOSE+SIMEON+CA%C3%91AS%E2%80%9D%2C+UCA&rlz=1C1CHBD_esEC823EC823&oq=UNIVERSIDAD+CENTROAMERICANA+%E2%80%9CJOSE+SIMEON+CA%C3%91AS%E2%80%9D%2C+UCA&aqs=chrome..69i57j0i22i30.743j0j7&sourceid=

CCI. (s.f.). *Trabas*. Obtenido de <https://ccidi.mx/productos/trabas>

CENAPRED. (2014). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*. Obtenido de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD004433.PDF>

Climatico, I. D. (2016). *Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rsismico>

CODIGO ORGANICO DE ORGANIZACION TERRITORIAL, C. (Mayo de 2018). *CODIGO ORGANICO DE ORGANIZACION TERRITORIAL, COOTAD*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/COOTAD.pdf>

Colombiana, C. R. (1993). *Sismos*. Obtenido de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/18979/1517.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Concepto. (2013). *Metodo Cuantitativo*. Obtenido de <https://concepto.de/metodo-cuantitativo/>

CONGOPE. (2019). *PLAN DE DESARROLLO VIAL INTEGRAL DE LA PROVINCIA DE BOLIVAR*. Obtenido de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Bolivar-plan-vial-integral.pdf>

Conspro, R. (3 de 11 de 2016). *Juntas de expansion en puentes, pasos a desnivel vehiculares y peatonales*. Obtenido de <https://rbconspro.wordpress.com/2016/11/03/juntas-de-expansion-en-puentes-pasos-a-desnivel-vehiculares-y-peatonales/>

Desarrollo, B. I. (Agosto de 2020). *Perfil de Riesgo de Desastres por Evento Sísmico de Ecuador* . Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Perfil-de-riesgo-de-desastres-por-evento-sismico-de-Ecuador.pdf>

Díaz, E. E. (2012). *Ingeniería de Puentes*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/41126>

Dugarte, W. L. (s.f.). *Las juntas de puentes*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos5/juntas/juntas>

ECOEXPLORATORIO. (2020). *Magnitud, Intensidad y Aceleración*. Obtenido de <https://ecoexploratorio.org/>

ECUADOR, C. D. (Julio de 2008). *CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR* . Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

EMERGENCIAS, C. N. (Mayo de 2022). *SISMOS*. Obtenido de https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomentaciones_consejos/sismo.aspx

Geofísica, I. d. (Marzo de 2008). *Servicio Sismológico*. Obtenido de www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf

Geofísico, I. (2020). *Amenaza Sísmica del Ecuador* . Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/mapa-ultimos-sismos>

Gerardi, J. (2022). *Superestructura Vs Subestructura*. Obtenido de <https://proest.com/es/construccion/proceso/superstructure-vs-substructure/>

Guaranda, G. (2011). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL CANTÓN GUARANDA 2011-2020* . Obtenido de <https://dokumen.tips/documents/pdot-guaranda.html?page=3>

Guaranda, G. A. (2014). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2014-2025*. Obtenido de <https://app.sni.gob.ec/sni->

link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0260000250001_PDOT%20SU BIDO%20A%20SENPLADES_13-04-2016_09-41-37.pdf

Guerrero, I. P. (2017). *ESTUDIOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE SOBRE EL RÍO SALINAS, EN LA CARRETERA GUARANDA -BALZAPAMBA, UBICADO EN LA ABSCISA I+600*. Guaranda.

Kulkarni, V. (2003). *Rehabilitation and Retrofitting of Transportation*. India: FOSROC.

LARA, P. J. (Noviembre de 2017). *PROFUNDIZACION DEL CONCEPTO DE DETERIORO*, NIC 36. Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17147/OliverosLaraPaolaJudith2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LIZBETH, E. C., & ALEXANDRA, O. P. (Julio de 2017). “*EVALUACIÓN TÉCNICO VISUAL DE PUENTES ANTE FENÓMENOS NATURALES Y EVALUACIÓN ANTE CARGAS*”. Obtenido de [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13769/Evaluaci%3%b3n%20T%3%a9nico%20Visual%20de%20Puentes%20ante%20Fen%3%b3menos%20Naturales%20y%20ante%20Cargas%20-](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13769/Evaluaci%3%b3n%20T%3%a9nico%20Visual%20de%20Puentes%20ante%20Fen%3%b3menos%20Naturales%20y%20ante%20Cargas%20-%20O%3%b1a%2c%20Escobar%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

<https://www.gestionderi>

Maimone, G. D. (2010). *Metodología de la Investigación*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/51300008metodologia/>

Mediavilla, J. C. (2022). *Propuesta de Reforzamiento de la Superestructura del Puente sobre el Río Mocora*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Moreno, D. F., & Delgadillo, J. H. (1983). *Metodología para el estudio de la vulnerabilidad*. Obtenido de https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/vulnerabilidad/01_diego_paez.pdf

MTOP. (2022). *Estudio de Evaluación del Puente sobre el Río Salinas*. Guaranda: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Naturaleza, M. d. (1993). *Escala de Richter*. Obtenido de https://matematicasentumundo.es/NATURALEZA/naturaleza_Richter.htm

OSORIO, J. L., & IZA, J. M. (2020). *EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MOCORA MEDIANTE EL ANÁLISIS TEÓRICO DE CAPACIDAD DE CARGA PLANTEADO POR THE MANUAL FOR BRIDGE EVALUATION (AASHTO)*. Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CD%2010438.pdf>

Pilco, J. A. (2013). *EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LOS PROCESOS GEODINÁMICOS QUE INFLUYEN EN EL ÁREA URBANA DEL CANTÓN GUARANDA*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/GaboBba/sismicidad-de-la-ciudad-de-guaranda>

Pol Armijos, P. D. (17 de Diciembre de 2019). *Moviliblog*. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/transporte/es/un-vistazo-al-futuro-diseno-de-la-red-vial-nacional-de-resiliencia-de-ecuador/>

Pública, R. E. (2002). *El análisis en investigación cualitativa*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/170/17076505.pdf>

Quispe, D. J. (2017). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas en el distrito de Chilca en el 2017*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/266975184.pdf>

Reduction, I. S. (Junio de 2011). *Documento de Apoyo Infraestructura* . Obtenido de <https://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/Publicacionesrelevantes/Recuperacion/6-Infraestructura.pdf>

REHABTEC. (2020). *Rehabilitación Integral de Puentes*. Colombia: <https://rehabtec.co/servicios-productos/rehabilitacion-de-puentes/>.

Rico, R. S. (21 de 10 de 2021). *El Tamaño de un Terremoto*. Obtenido de <http://www.prsn.uprm.edu/Spanish/educacion/terremotos/tamano.php>

Riesgos, S. d. (2016). *Informe de Situación de Terremoto - Pedernales* . Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situaci%C3%B3n-n%C2%B065-especial-16-05-20161.pdf>

RIESGOS, S. D. (2018). *GLOSARIO DE TÉRMINOS DE GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES GUÍA DE CONSULTA*. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/GLOSARIO-DE-T%C3%89RMINOS-DE-GESTI%C3%93N-DE-RIESGOS-DE-DESASTRES-GUIA-DE-CONSULTA.pdf>

Riesgos, S. d. (Abril de 2018). *Plan Nacional de Respuestas ante Desastres*. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Plan-Nacional-de-Respuesta-SGR-RespondeEC.pdf>

Romero, E., & Solís, R. (10 de 10 de 2016). *RESISTENCIA A TENSIÓN DEL CONCRETO* . Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/ccid/v8n1/2007-3011-ccid-8-01-00035.pdf>

S.A.C, G. R. (2016). *¿Sabía que se usan bloques de caucho para construir los puentes?* Obtenido de <https://www.globalrubbercorporation.com/blog/124-apoyos-de-neopreno-puentes>

SALAZAR, P. C. (Enero de 2009). *Diseño de un Plan Modelo de Mantenimiento para Edificios del ICE* . Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6196/Dise%C3%B1o_Plan_Modelo_Mantenimiento_Edificios_ICE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Secretaría Nacional de Planificación, 2. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades* . Obtenido de https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf

Sismologicas, F. V. (1997). *Amenaza Sísmica*. Obtenido de <http://www.funvisis.gob.ve/old/amenaza.php>

Sismológicas, F. V. (1997). *Temblor de Tierra*. Obtenido de <http://www.funvisis.gob.ve/old/objetosa/temblortierra/tplacas.html>

Spain, C. (2011). *CSiBridge* . Obtenido de <https://www.csiespana.com/about#>

Structuralia. (28 de 4 de 2021). *Estribos en puentes: tipología y materiales*. Obtenido de <https://blog.structuralia.com/estribos-en-puentes-tipologia-y-materiales>

Swisscontact, B. C. (2015). *Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas*. Obtenido de https://buildchange.org/app/uploads/2016/04/15-11-05-BC_Manual-de-Evaluacion-y-Reforzamiento.pdf

TERRESTRE, L. S. (Mayo de 2017). *LEY SISTEMA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA VIAL TRANSPORTE TERRESTRE*. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/10/LOTAIP_5_LEY-DE-INFRAESTRUCTURA.pdf

Toro, J. D. (2000). *Tipos de Cimientos*. Obtenido de <https://www.angelfire.com/ak4/strong/c3.htm>

Transporte, S. M. (2005). *Evaluación de Puentes Mediante el Análisis de Vibraciones* . Obtenido de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25701/2/BCN__vibraciones_en_edificios_Definitivo.pdf

Triana, C., & Villalta, M. (2020). *Estudio y Prediseño para un Nuevo Puente sobre el Río Salinas*. Guayaquil: ESPOL.

UEB, E. d. (2013). *"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DEL CANTÓN GUARANDA. PERFIL TERRITORIAL 2013"*. Obtenido de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56811.pdf>

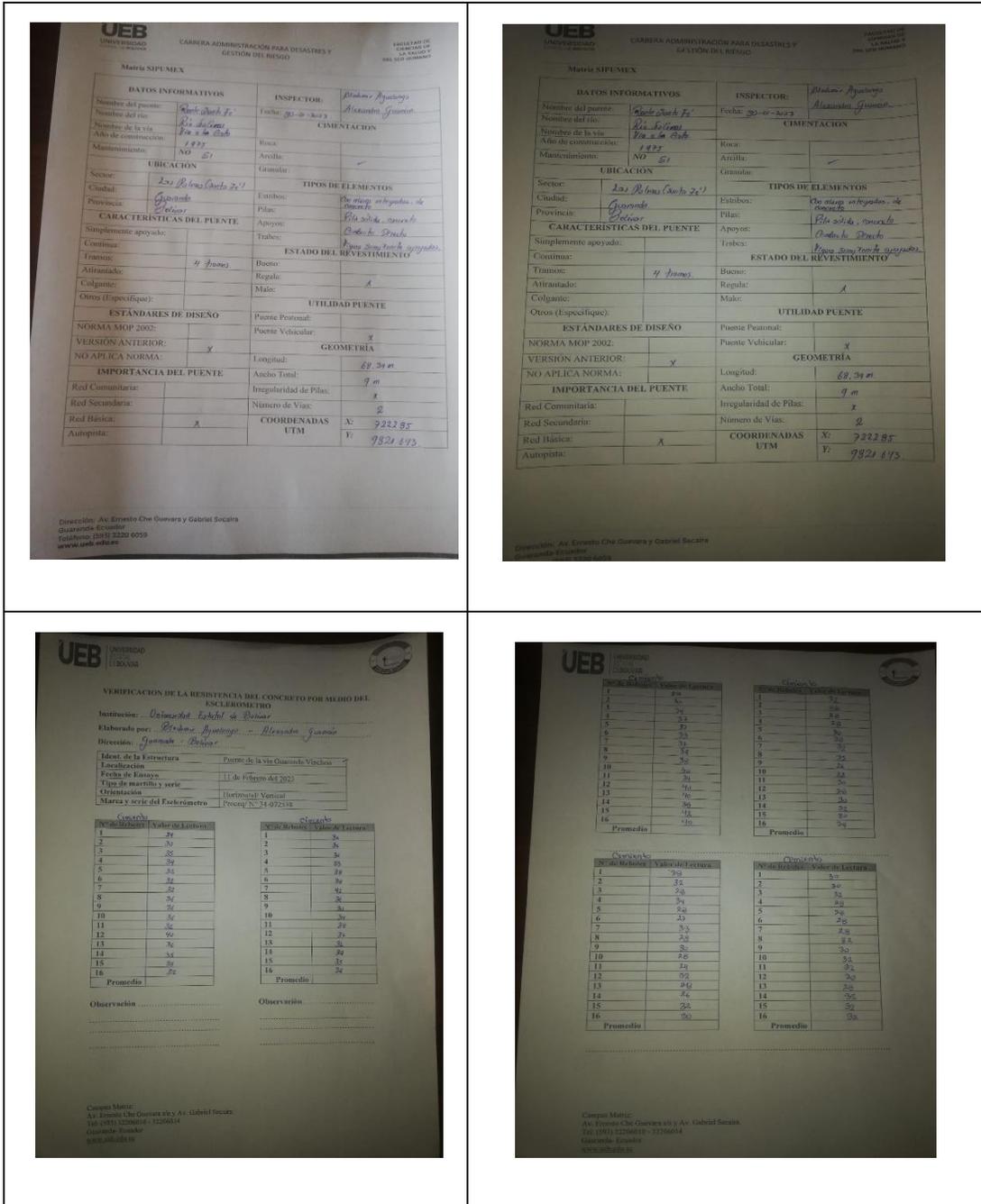
Universo, V. a. (2011). *¿Qué es una Falla Geológica?* Obtenido de <https://www.windows2universe.org/earth/geology/fault.html&lang=sp>

Vázquez, J. R. (2011). *UNIDAD III. Tipos de investigación*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/metoddelainvest1/unidad-iii-tipos-de-investigacion>

Zérega, J. A. (2016). *Vibración de Puentes* . Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/234019559.pdf>

ANEXOS

ANEXO N.- 1 Registro fotográfico de la aplicación de la metodología SIPUMEX y ensayos con el esclerómetro en los puentes.



UEB UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

VERIFICACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO POR MEDIO DEL ESCLEROMETRO

Institución: *Universidad Estímulo de Bolivia*
 Elaborado por: *Roberto Aguayo - Ricardo Juarez*
 Dirección: *Sucre - Bolivia*

Ubicación de la Estructura: *Puente de la vía Guano - Estropiche*
 Localización: _____
 Fecha de Pasaje: *11 de Febrero del 2023*
 Tipo de muestra y serie: _____
 Orientación: *Horizontal/Vertical*
 Marca y serie del Esclerómetro: *Proceq N° 14472538*

| Grupo A | | Grupo B | |
|----------------|------------------|----------------|------------------|
| N.º de Rebotes | Valor de Lectura | N.º de Rebotes | Valor de Lectura |
| 1 | 28 | 1 | 28 |
| 2 | 29 | 2 | 29 |
| 3 | 28 | 3 | 28 |
| 4 | 29 | 4 | 28 |
| 5 | 30 | 5 | 29 |
| 6 | 29 | 6 | 29 |
| 7 | 30 | 7 | 29 |
| 8 | 28 | 8 | 29 |
| 9 | 31 | 9 | 29 |
| 10 | 29 | 10 | 29 |
| 11 | 29 | 11 | 29 |
| 12 | 29 | 12 | 29 |
| 13 | 30 | 13 | 29 |
| 14 | 29 | 14 | 29 |
| 15 | 29 | 15 | 29 |
| 16 | 29 | 16 | 29 |
| Promedio | | Promedio | |

Observación: _____

Observación: _____

Centro Múltiple
 Av. Ecuador s/n. Guano 170 y Av. Gabriel García
 Tel: (591) 22200108 - 22200109
 Guano - Sucre
 www.ueb.edu.bo

UEB UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

VERIFICACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO POR MEDIO DEL ESCLEROMETRO

Institución: *Universidad Estímulo de Bolivia*
 Elaborado por: *Roberto Aguayo - Ricardo Juarez*
 Dirección: *Sucre - Bolivia*

Ubicación de la Estructura: *Puente de la vía Guano - Estropiche*
 Localización: _____
 Fecha de Pasaje: *11 de Febrero del 2023*
 Tipo de muestra y serie: _____
 Orientación: *Horizontal/Vertical*
 Marca y serie del Esclerómetro: *Proceq N° 14472538*

| Grupo A | | Grupo B | |
|----------------|------------------|----------------|------------------|
| N.º de Rebotes | Valor de Lectura | N.º de Rebotes | Valor de Lectura |
| 1 | 28 | 1 | 28 |
| 2 | 29 | 2 | 29 |
| 3 | 28 | 3 | 28 |
| 4 | 29 | 4 | 28 |
| 5 | 30 | 5 | 29 |
| 6 | 29 | 6 | 29 |
| 7 | 30 | 7 | 29 |
| 8 | 28 | 8 | 29 |
| 9 | 31 | 9 | 29 |
| 10 | 29 | 10 | 29 |
| 11 | 29 | 11 | 29 |
| 12 | 29 | 12 | 29 |
| 13 | 30 | 13 | 29 |
| 14 | 29 | 14 | 29 |
| 15 | 29 | 15 | 29 |
| 16 | 29 | 16 | 29 |
| Promedio | | Promedio | |

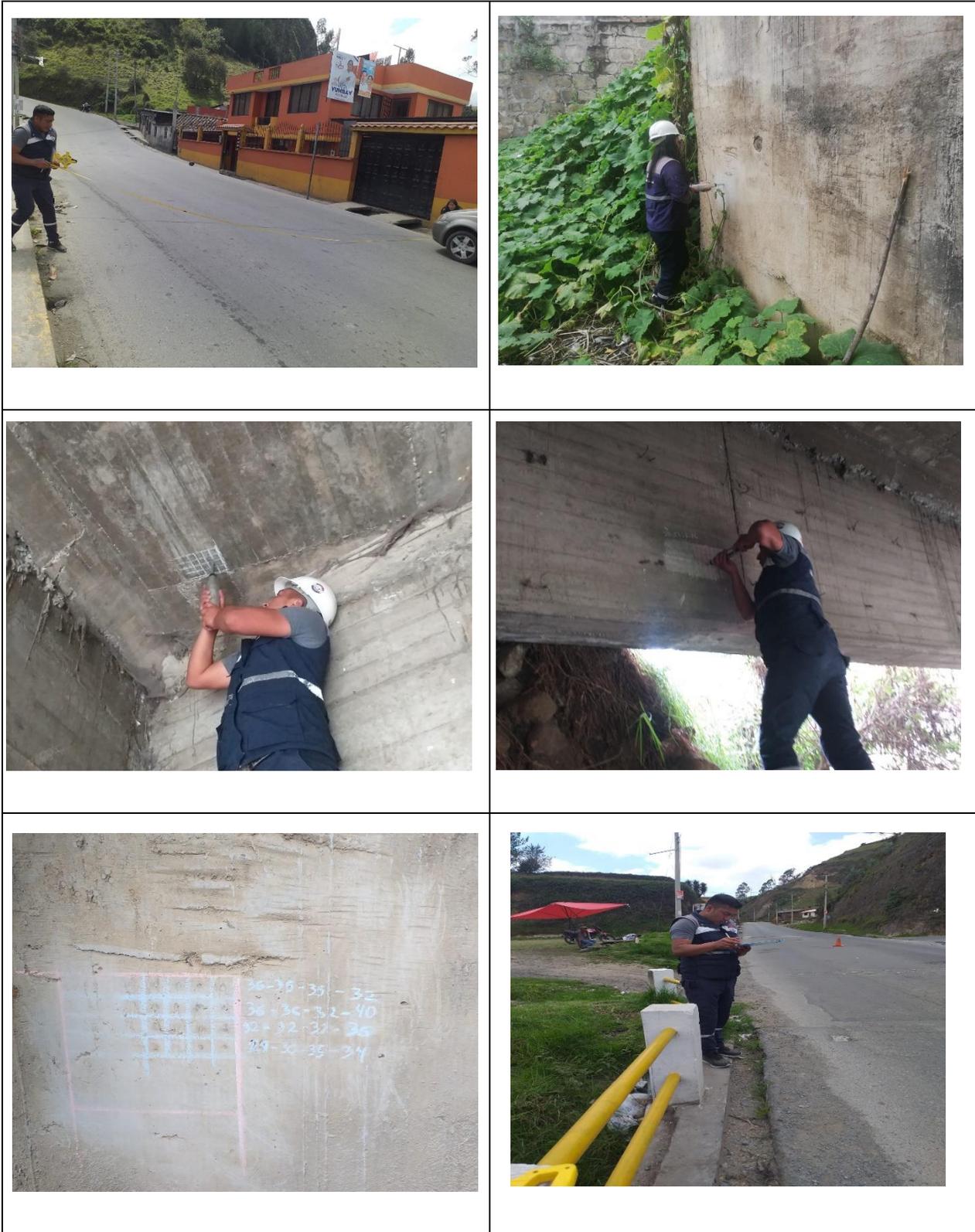
| Grupo A | | Grupo B | |
|----------------|------------------|----------------|------------------|
| N.º de Rebotes | Valor de Lectura | N.º de Rebotes | Valor de Lectura |
| 1 | 29 | 1 | 29 |
| 2 | 29 | 2 | 29 |
| 3 | 29 | 3 | 29 |
| 4 | 29 | 4 | 29 |
| 5 | 29 | 5 | 29 |
| 6 | 29 | 6 | 29 |
| 7 | 29 | 7 | 29 |
| 8 | 29 | 8 | 29 |
| 9 | 29 | 9 | 29 |
| 10 | 29 | 10 | 29 |
| 11 | 29 | 11 | 29 |
| 12 | 29 | 12 | 29 |
| 13 | 29 | 13 | 29 |
| 14 | 29 | 14 | 29 |
| 15 | 29 | 15 | 29 |
| 16 | 29 | 16 | 29 |
| Promedio | | Promedio | |

Observación: _____

Observación: _____

Nota. Recopilación de datos mediante la Ficha Técnica SIPUMEX y el ensayo no destructivo con el esclerómetro en los puentes de la vía Vinchoa y Santa Fe, elaboración propia, 2023.

ANEXO N.- 2 Fotografías del levantamiento de información en campo.



Nota. Levantamiento de datos en el puente de la vía Vinchoa, elaboración propia, 2023.



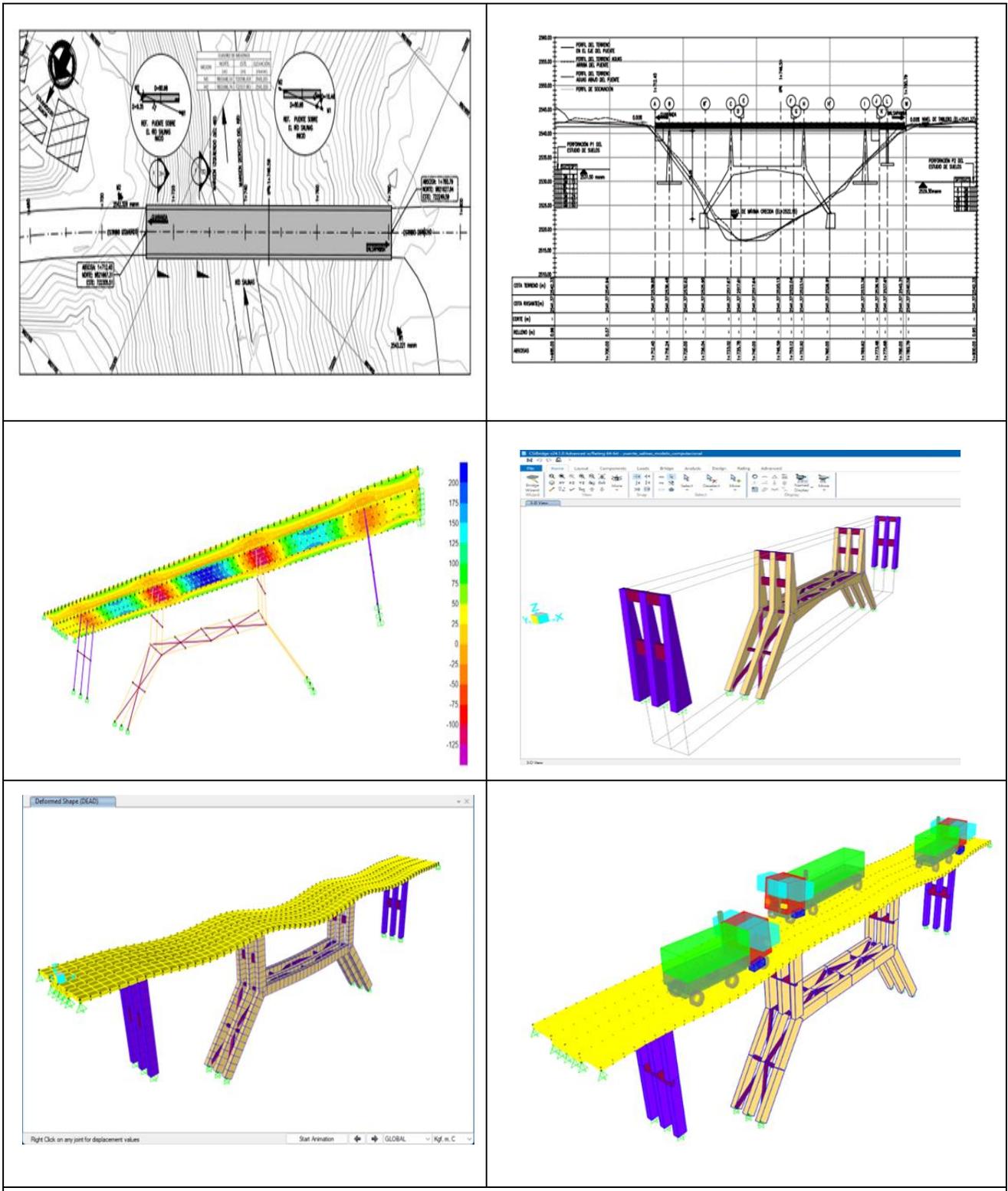
Nota. Levantamiento de datos en el puente de la vía Santa Fe, elaboración propia, 2023.

ANEXO N.-3 Registro de reuniones virtuales y presenciales.



Nota. Seguimiento de horas para la asesoría en la elaboración del estudio de caso, elaboración propia, 2023.

ANEXO N.-4 Modelamiento en el software CSI Bridge – Puente Santa Fe.



Nota. Demostración de la elaboración del modelamiento en el software CsiBridge, elaboración propia, 2023.

ANEXO N.-6 Presupuesto del estudio de caso.

| MATERIALES | CANTIDAD | COSTO |
|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Resma de hojas de papel | 2 | 9.00 |
| Cuaderno de apuntes | 1 | 1.50 |
| Fichas de observación | 30 | 1.50 |
| GPS (Alquiler) | 1 | 25.00 |
| Lápiz | 2 | 1.00 |
| Computadora | 1 | 500.00 |
| Flash memory | 1 | 10.00 |
| Modelamiento | 1 | 300 |
| Impresión | 4 | 34 |
| Empastado | 1 | 16 |
| SUBTOTAL | | \$898.00 |
| ACTIVIDADES | | |
| Movilidad | | 10.00 |
| Alimentación | | 25.00 |
| Gastos Varios | | 15.00 |
| SUBTOTAL | | 50.00 |
| TOTAL | | \$948.00 |

Nota. Esta tabla representa el presupuesto de los materiales utilizados en la elaboración del estudio de caso, elaboración propia, 2023.