

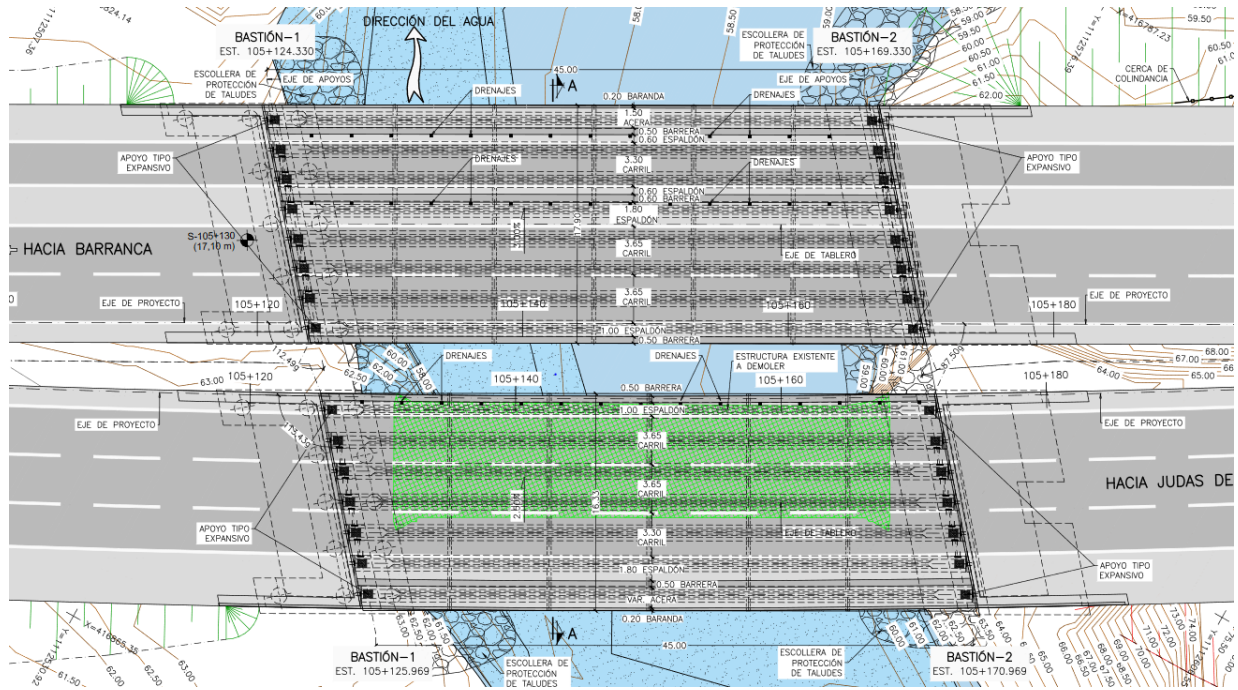


Programa de Ingeniería Estructural

LM-PIE-08-2021

INFORME DE REVISIÓN DOCUMENTAL

REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS, PROYECTO “REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA RUTA NACIONAL N°1”, TRAMO BARRANCA-LIMONAL



San José, Costa Rica
Febrero, 2021

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 1 de 67
------------------------	---------------------------------	----------------



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 2 de 67
------------------------	---------------------------------	----------------

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.





1. Informe: LM-PIE-08-2021		2. Copia N°: 1
3. Título: REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS, PROYECTO “REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA RUTA NACIONAL N°1”, TRAMO BARRANCA-LIMONAL		4. Fecha del Informe: Febrero, 2021
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias Ninguna		
7. Resumen Este informe presenta los resultados de la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del puente sobre el Río Ciruelas, perteneciente al proyecto: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Ruta Nacional N°1”, tramo Barranca-Limonal. Este proyecto consiste en una ampliación de la carretera existente de dos a cuatro carriles entre las localidades de Barranca, Puntarenas y Limonal, Guanacaste, incluyendo la construcción de 11 puentes sobre ríos, 8 pasos a desnivel y 10 puentes peatonales. Dentro del informe se analiza la calidad de la memoria de cálculo del puente sobre el Río Ciruelas, la cual se supone como representativa de los puentes vehiculares de un solo tramo con superestructura de vigas de concreto presforzado y con bastiones tipo muro en voladizo. De los 19 puentes vehiculares del proyecto, 8 puentes presentan todas estas características, mientras que los 11 puentes restantes presentan al menos una de ellas. El Programa de Ingeniería Estructural (PIE) realiza esta revisión ante la solicitud de criterio técnico de la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) del LanammeUCR. Este documento es parte de las competencias de la fiscalización de la Red Vial Nacional asignadas al LanammeUCR por medio de la Ley 8114.		
8. Palabras clave Puente, Río Ciruelas, memoria de cálculo, Ruta 1, Interamericana Norte, Barranca, Limonal, control de calidad, aseguramiento de la calidad, concreto presforzado, auditorías técnicas de puentes, informe de asesoría, diseño de puentes, 2021, LM-PIE-08-2021.		9. N° de páginas 67
10. Elaborado por: Ing. Daniel Johanning Cordero Programa de Ingeniería Estructural	11. Revisado y aprobado por: Ing. Rolando Castillo Barahona Programa de Ingeniería Estructural	12. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 3 de 67
------------------------	---------------------------------	----------------



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 4 de 67
------------------------	---------------------------------	----------------

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.



-ANIVERSARIO-
UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

Nuestra
salud mental
importa



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN7
2. OBJETIVOS.....8
2.1. OBJETIVO GENERAL 8
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8
3. ALCANCE9
4. REVISIÓN DEL CONTRATO PARA SERVICIOS DE CONSULTORÍA11
4.1. CRITERIOS CONSIDERADOS PARA LA REVISIÓN DEL CONTRATO 11
4.2. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DEL CONTRATO 12
5. JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6. REVISIÓN DE LA CALIDAD DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS15
6.1. REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO CON RESPECTO A LOS REQUERIMIENTOS ESPECIFICADOS EN EL CONTRATO 16
6.1.1. Criterios considerados para la revisión del cumplimiento del contrato 16
6.1.2. Resultados de la revisión del cumplimiento del contrato 17
6.2. REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO CON RESPECTO A LA NORMATIVA AASHTO LRFD. 20
6.2.1. Criterios considerados para la revisión del procedimiento de diseño..... 20
6.2.2. Resultados de la revisión del procedimiento de diseño 21
7. CONCLUSIONES26
8. RECOMENDACIONES28
9. REFERENCIAS31

Table with 3 columns: Informe LM-PIE-08-2021, Fecha de emisión: Febrero, 2021, Página 5 de 67



ANEXO 1. MEMORANDO DE SOLICITUD PARA LA REVISIÓN DE LAS MEMORIAS DE CÁLCULO DEL PROYECTO32

ANEXO 2. ESPECIFICACIONES PARA DISEÑO ESTRUCTURAL INCLUIDAS EN EL CONTRATO PARA SERVICIOS DE CONSULTORÍA DEL PROYECTO34

ANEXO 3. APÉNDICE A5 DE LA NORMA *AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS* 2012 (6TA EDICIÓN), PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES DE CONCRETO41

APÉNDICE A. LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS CON RESPECTO A LOS REQUERIMIENTOS ESPECIFICADOS EN EL CONTRATO45

APÉNDICE B. LISTAS DE VERIFICACIÓN PARA LA REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS CON RESPECTO AL APÉNDICE A5 DE AASHTO LRFD 201253

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 6 de 67
------------------------	---------------------------------	----------------



1. INTRODUCCIÓN

Este informe presenta los resultados de la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del puente sobre el Río Ciruelas, perteneciente al proyecto: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Ruta Nacional N°1”, tramo Barranca-Limonal. Este proyecto consiste en una ampliación de la carretera existente de dos a cuatro carriles entre las localidades de Barranca, Puntarenas y Limonal, Guanacaste, incluyendo la construcción de 11 puentes sobre ríos, 8 pasos a desnivel y 10 puentes peatonales.

Dentro del informe se analiza la calidad de la memoria de cálculo del puente sobre el Río Ciruelas, la cual se supone como representativa de los puentes vehiculares de un solo tramo con superestructura de vigas de concreto presforzado y con bastiones tipo muro en voladizo. De los 19 puentes vehiculares del proyecto, 8 puentes presentan todas estas características, mientras que los 11 puentes restantes presentan al menos una de ellas.

El Programa de Ingeniería Estructural (PIE) realiza esta revisión ante la solicitud de criterio técnico de la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) del LanammeUCR, según consta en el memorando LM-UAT-0047-2020 (ver Anexo 1).

Este documento es parte de las competencias de la fiscalización de la Red Vial Nacional asignadas al LanammeUCR por medio de la Ley 8114.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 7 de 67
------------------------	---------------------------------	----------------



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

El objetivo general de este informe es presentar el resultado de la revisión de una memoria de cálculo del diseño estructural representativa de la mayor parte de los puentes vehiculares pertenecientes al proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Ruta Nacional N°1”, tramo Barranca-Limonal.

2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- a. Verificar si los documentos contractuales solicitan al diseñador presentar un plan de control y aseguramiento de la calidad del diseño estructural.
- b. Realizar un análisis para seleccionar el puente con una memoria de cálculo que sea representativa de la mayor parte de los puentes vehiculares del proyecto.
- c. Comprobar si la memoria de cálculo elegida como representativa cumple con los requerimientos especificados en el documento contractual correspondiente a la etapa de diseño del proyecto.
- d. Revisar si la normativa especificada en los documentos contractuales para el diseño de los diferentes componentes y elementos del puente seleccionado fue aplicada de forma correcta y completa.
- e. Verificar si la información incluida en la memoria de cálculo y la forma en la que esta se presenta permite a un revisor externo realizar el seguimiento del procedimiento, las suposiciones y los cálculos utilizados para el diseño estructural.
- f. Presentar conclusiones y recomendaciones.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 8 de 67
------------------------	---------------------------------	----------------



3. ALCANCE

Este informe presenta los resultados de la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del puente sobre el Río Ciruelas, perteneciente al proyecto de ampliación y rehabilitación del tramo Barranca-Limonal de la Ruta Nacional Nº 1.

El puente sobre el Río Ciruelas corresponde a un puente vehicular de un solo tramo con superestructura de vigas de concreto presforzado y con bastiones tipo muro en voladizo. Dado que el diseño estructural de todos los puentes del proyecto fue realizado por la misma empresa, existen muchas similitudes entre las memorias de cálculo, y su contenido varía principalmente según el tipo de los componentes y elementos estructurales del puente.

Por lo tanto, se considera válido suponer que la revisión realizada para el puente sobre el Río Ciruelas también aplica a otros puentes con la misma tipología, específicamente: Río San Miguel, Río Naranjo, Río Sardinal, Río Cañamazo, Río Congo, Retorno Lourdes I y Retorno Lourdes II. Asimismo, esta revisión también es válida parcialmente para otros puentes que comparten la tipología de al menos un componente o elemento estructural con el puente sobre el Río Ciruelas. La tipología de todos los puentes vehiculares del proyecto se expone con mayor detalle en la Sección 5 del informe.

Dentro de la memoria de cálculo del puente sobre el Río Ciruelas, se revisaron específicamente los siguientes aspectos:

- El cumplimiento de los requerimientos solicitados en el contrato con respecto a las memorias de cálculo del diseño estructural.
- La aplicación correcta y completa de la normativa para diseño estructural que se especifica en el contrato. Los componentes y elementos del puente considerados en esta revisión son los que se muestran en el Cuadro 1.
- Facilidad para dar seguimiento a los pasos de diseño y a los cálculos realizados.
- Justificación de las suposiciones realizadas para el diseño estructural.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 9 de 67
------------------------	---------------------------------	----------------



Cuadro 1. Componentes y elementos estructurales considerados en la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural.

Componente	Elemento
Superestructura	Tablero
	Vigas principales
	Diafragmas
Subestructura	Bastiones
	Cimentaciones
	Apoyos

Es importante mencionar que durante el proceso de revisión de la memoria de cálculo no se evaluó la exactitud de los cálculos, ni que el modelado de los elementos estructurales en programas computacionales se hubiera realizado de forma adecuada. El control y aseguramiento de la calidad de los cálculos y del modelado estructural es responsabilidad del profesional responsable del diseño estructural y por lo tanto se espera que este haya tomado las medidas necesarias para garantizar la confiabilidad en los resultados obtenidos.

Como complemento a la revisión de la memoria de cálculo del puente sobre el Río Ciruelas, se realizó también una revisión del contrato para servicios de consultoría del proyecto, específicamente de los aspectos relacionados con la calidad del diseño estructural.

Cabe mencionar que el alcance de este informe no contempla una revisión detallada del contenido de los planos estructurales de los puentes del proyecto.



4. REVISIÓN DEL CONTRATO PARA SERVICIOS DE CONSULTORÍA

4.1. Criterios considerados para la revisión del contrato

La calidad del diseño estructural de un proyecto puede estar muy relacionada con los requerimientos que la Administración solicite al diseñador en el contrato, por ejemplo: lineamientos o requisitos mínimos con los que deba cumplir el diseño estructural, o bien, el desarrollo y seguimiento de un plan de control y aseguramiento de la calidad del diseño estructural.

De acuerdo con FHWA (2011), un programa de control y aseguramiento de la calidad proporciona controles dentro de una organización para asegurar la calidad de los entregables de la etapa de diseño (memorias de cálculo, especificaciones y planos). El diseñador realiza un **control de calidad** de su propio trabajo, estableciendo procedimientos de auto revisión para lograr precisión y exactitud del trabajo. Por otra parte, un profesional revisor calificado realiza el **aseguramiento de la calidad** y es responsable de la verificación independiente del trabajo del diseñador para asegurar la precisión y exactitud conforme a los requisitos y expectativas de diseño establecidas por la Administración.

FHWA (2011) también establece que la Administración juega el papel más importante en la calidad y éxito de un proyecto desde la etapa de diseño hasta su ejecución. La Administración debe establecer claramente los requerimientos y expectativas del proyecto en temas de calidad a través de los documentos contractuales.

Tomando lo anterior en consideración, dentro del contrato para servicios de consultoría se revisó lo siguiente:

- Si se indican lineamientos o requisitos mínimos con los que debe cumplir el diseño estructural del proyecto y las memorias de cálculo correspondientes.
- Si se solicita al diseñador el desarrollo y seguimiento de un plan de control y aseguramiento de la calidad del diseño estructural.

Los resultados de la revisión del contrato para servicios de consultoría se describen en la siguiente sección.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 11 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



4.2. Resultados de la revisión del contrato

A partir de la revisión del contrato para servicios de consultoría, se pudo determinar lo siguiente:

- El contrato sí especifica requerimientos mínimos con los que debe cumplir el diseño estructural de los puentes del proyecto, así como las memorias de cálculo correspondientes. El detalle completo de los requerimientos para diseño estructural que están incluidas dentro de los Términos de Referencia del contrato se muestra en el Anexo 2 de este informe.
- Dentro del contrato no se solicita al diseñador el desarrollo de un plan de control y aseguramiento de la calidad del diseño estructural de los puentes del proyecto.
- Como parte de los entregables del proyecto en general (no solo de los puentes), sí se solicita al diseñador presentar un plan de control de calidad, pero no se especifica con detalle lo que este entregable debe contener.

5. JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS

El proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Ruta Nacional N°1”, tramo Barranca-Limonal, incluye un total de 19 puentes vehiculares (11 puentes sobre ríos y 8 pasos a desnivel). Adicionalmente cuenta con 10 puentes peatonales, los cuales no están contemplados dentro del alcance de este informe. El listado de todas las estructuras del proyecto se presenta en el Cuadro 2.

Cada una de estas estructuras cuenta con su propia memoria de cálculo del diseño estructural. Dado que todos los puentes del proyecto fueron diseñados por la misma empresa, existen muchas similitudes entre las memorias de cálculo, y su contenido varía principalmente según el tipo de los componentes y elementos estructurales del puente. Tomando esto en consideración, se decidió seleccionar un único puente cuya memoria de cálculo sea representativa de varios de los puentes vehiculares del proyecto, la cual es analizada a profundidad para determinar su nivel de calidad.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 12 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



Cuadro 2. Estructuras del proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Ruta Nacional N°1”, tramo Barranca-Limonal.

Ubicación (P.K.)	Puentes vehiculares		Puentes peatonales
	Puentes sobre ríos	Pasos a desnivel	
98+340.0			P.P. 98+340
99+344.6	Puente Río San Miguel		
100+038.3	Puente Río Naranjo		
101+740.0		Intercambio Cuatro Cruces	
103+980.0			P.P. 103+980
105+124.3	Puente Río Ciruelas		
105+360.0			P.P. 105+360
106+844.6	Puente Río Seco		
110+380.0			P.P. 110+380
112+395.1	Puente Río Aranjuez		
113+850.0		Intercambio Monteverde	
116+800.2	Puente Río Sardinal		
118+848.0			P.P. 118+848
120+430.6	Puente Río Guacimal		
122+565.0		Paso inferior	
122+760.9		Intercambio Judas de Chomes	
125+288.0			P.P. 125+288
128+668.0			P.P. 128+668
128+917.5	Puente Río Lagarto		
129+263.0		Intercambio Guacimal-Pozo Azul	
131+240.4		Paso superior retorno Lourdes I	
132+300.4		Paso superior retorno Lourdes II	
134+614.0			P.P. 134+614
136+542.8	Puente Río Cañamazo		
141+255.6	Puente Río Congo		
141+713.0		Intercambio La Irma	
143+368.0			P.P. 143+368
144+298.2	Puente Río Abangares		
145+045.0			P.P. 145+045



Para realizar esta selección, primero se agruparon todos los puentes vehiculares del proyecto en diferentes categorías que toman en cuenta la tipología de los componentes y elementos estructurales. Los factores considerados fueron los siguientes:

- Cantidad de tramos del puente (un único tramo / varios tramos).
- El tipo de superestructura del puente (vigas de concreto presforzado / losa tubular de concreto presforzado / vigas de acero / cajón de concreto reforzado).
- El tipo de subestructura del puente (muro en voladizo / columna sencilla / columna múltiple / pantalla de pilotes / cajón de concreto reforzado).

Con base en estos factores es posible clasificar los puentes vehiculares en 6 categorías, las cuales se definen en el Cuadro 3. Este cuadro muestra además los nombres de los puentes vehiculares que clasifican dentro de cada categoría.

Cuadro 3. Categorización de los puentes vehiculares del proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Ruta Nacional N°1”, tramo Barranca-Limonal.

Categoría	Cantidad de tramos	Tipo de superestructura	Tipo de subestructura	Puentes con memoria de cálculo de la categoría especificada
1	Uno	Vigas Concreto Presforzado	Muro en voladizo	Río San Miguel, Río Naranjo, Río Ciruelas, Río Sardinal, Río Cañamazo, Río Congo, Paso Superior Retorno Lourdes I, Paso Superior Retorno Lourdes II
2	Varios	Vigas Concreto Presforzado	Bastiones: Muro en voladizo o cabezal sobre pilotes, Pilas: Columna sencilla	Río Aranjuez, Río Abangares
3	Varios	Vigas Concreto Presforzado	Bastiones y pilas: Columna múltiple	Intercambio Judas de Chomes, Intercambio Guacimal y Pozo Azul, Intercambio La Irma
4	Uno	Losa Tubular Concreto Presforzado	Pantalla de pilotes	Intercambio Cuatro Cruces, Intercambio Monteverde
5	Uno	Vigas de Acero	Muro en voladizo	Río Seco, Río Guacimal, Río Lagarto
6	Uno	Cajón de concreto reforzado		Paso inferior 122.6

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 14 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



Como se puede observar, la Categoría 1 es la categoría que presenta mayor cantidad de puentes, aproximadamente un 42% del total de los puentes vehiculares del proyecto. Asimismo, el resto de las categorías comparten al menos una de las tipologías que definen la Categoría 1 (un único tramo, superestructura de vigas de concreto presforzado, bastiones tipo muro en voladizo), las cuales se resaltan en negrita en el Cuadro 3. Por estas razones, se decidió seleccionar uno de los puentes de la Categoría 1 para estudiar con detalle su memoria de cálculo y realizar la revisión de la calidad del diseño estructural.

La selección del puente específico se realizó tomando en cuenta el tipo de cimentación de los bastiones del puente. Los puentes asociados a la Categoría 1 presentan únicamente dos tipos de cimentación: placa aislada de concreto reforzado o placa sobre pilotes preexcavados de concreto reforzado. Para hacer la revisión de la calidad de la memoria de cálculo, se eligió el **puente sobre el Río Ciruelas**, ya que este puente en particular tiene un tipo de cimentación distinto en cada bastión (placa sobre pilotes en el Bastión 1 y placa aislada en el Bastión 2), y por lo tanto la memoria de cálculo debe contar con información de ambos tipos de cimentación. Cabe mencionar que estos dos tipos de cimentación también se utilizan en los puentes de las otras categorías presentadas en el Cuadro 3.

6. REVISIÓN DE LA CALIDAD DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS

La revisión de la calidad de la memoria de cálculo del puente sobre el Río Ciruelas consistió de dos partes:

- Revisión de la memoria de cálculo con respecto a los requerimientos solicitados en el contrato. Los criterios considerados para realizar esta revisión, así como los resultados obtenidos se explican en la Sección 6.1.
- Revisión del procedimiento de diseño estructural presentado en la memoria de cálculo de acuerdo con la normativa especificada en el contrato. Los criterios considerados para realizar esta revisión, así como los resultados obtenidos se explican en la Sección 6.2.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 15 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



6.1. Revisión de la memoria de cálculo con respecto a los requerimientos especificados en el contrato

6.1.1. Criterios considerados para la revisión del cumplimiento del contrato

La primera parte de la revisión consiste en verificar si la memoria de cálculo elegida como representativa cumple con todo lo que se solicitó en el contrato de servicios de consultoría. El detalle completo de los requerimientos para diseño estructural que están incluidas dentro de los Términos de Referencia del contrato se muestra en el Anexo 2 de este informe.

Con el propósito de evaluar de manera sistemática el grado de cumplimiento de las memorias de cálculo elaboradas por el diseñador, se desarrolló una lista de verificación con todos los requerimientos mínimos solicitados por la Administración en el contrato en lo que respecta a la elaboración de las memorias de cálculo del diseño estructural.

Los criterios de verificación se dividieron en 4 apartados, siguiendo el mismo orden de lo que establece el contrato:

- Requerimientos generales del diseño estructural
- Requerimientos generales de la memoria de cálculo
- Requerimientos con respecto a programas de computadora
- Requerimientos con respecto a hojas electrónicas.

La revisión consistió en evaluar el grado de cumplimiento de la memoria de cálculo para cada uno de los criterios establecidos en la lista de verificación, clasificándolo en uno de tres niveles: el criterio se cumple en su totalidad, se cumple parcialmente o no se cumple del todo. En caso de ser necesario, se hicieron observaciones específicas de la evaluación de cada criterio. La lista de verificación completa para el puente sobre el Río Ciruelas se muestra en el Apéndice A del informe. Asimismo, las observaciones más importantes obtenidas a partir de la revisión se describen en la siguiente sección.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 16 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



6.1.2. Resultados de la revisión del cumplimiento del contrato

En términos generales, la memoria de cálculo del diseño estructural del puente sobre el Río Ciruelas cumple con la mayoría de los requerimientos solicitados en el contrato. Sin embargo, se detectaron algunos incumplimientos parciales del contrato, principalmente relacionados con la omisión de información solicitada, inconsistencias en la información presentada en la memoria y otros aspectos que dificultan el seguimiento de los cálculos por parte del lector.

Con respecto a los requerimientos generales para el diseño estructural y los requerimientos generales de la memoria de cálculo, se hacen las siguientes observaciones:

- En la memoria de cálculo se reportan valores de la relación capacidad/demanda para el diseño por flexión del tablero que son mayores a 1,33, es decir, se excede el límite indicado en el contrato para que el diseño se considere eficiente. A partir de la información mostrada en la memoria no queda claro por qué fue necesario utilizar una capacidad mayor en estos casos.
- Para el diseño de los bastiones y aletones se consideró una sobrecarga uniforme de 10 kN/m² sobre el relleno, pero no se explica cómo se obtuvo este valor ni se hace referencia a la normativa. Tampoco está claro si corresponde a una sobrecarga permanente o a una sobrecarga por carga viva.
- Las vibraciones no se mencionan en la memoria de cálculo, a pesar de que el contrato solicita al diseñador realizar una revisión de vibraciones.
- Dentro de la memoria de cálculo no se muestran los cálculos completos para el diseño de todos los elementos del puente. Específicamente, no se encontró información sobre el diseño de los diafragmas intermedios, el cálculo del acero longitudinal del tablero y el cálculo del acero transversal de los pilotes.
- En el contrato se especifica que debe existir concordancia entre el diseño indicado en los planos estructurales y los datos de salida del diseño estructural presentados en la memoria de cálculo. Sin embargo, los planos estructurales indican una mayor área de acero de refuerzo que la que se indica en la memoria de cálculo para

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 17 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



algunos elementos, específicamente: la cara interior del muro del Bastión 2, la cara superior de la placa de cimentación del Bastión 2 y la zona superior de los diafragmas sobre cada bastión.

- La memoria de cálculo incluye algunos cálculos realizados a mano que muestran el diseño de algunos elementos (entre ellos las prelosas y el voladizo del tablero, así como los diafragmas sobre los bastiones). Dentro de estos cálculos rara vez se indica lo que representa cada número ni el artículo de dónde se obtienen las fórmulas aplicadas, lo cual dificulta el seguimiento de los cálculos.

En lo que respecta a programas computacionales, se pudo determinar que el diseñador utilizó modelos en programas de computadora para realizar el análisis y diseño estructural de los siguientes elementos: el tablero, las vigas principales, los aletones y la cimentación tipo placa sobre pilotes. Con respecto a los requerimientos relacionados con programas de computadora, se hacen las siguientes observaciones:

- A lo largo de la memoria se utilizan principalmente unidades del sistema internacional, pero en ocasiones se utilizan otras unidades (ton, kg/cm²). En el caso de los datos de salida del análisis estructural incluidos en el cuerpo de la memoria, no se indica explícitamente la unidad en la que se muestran los datos, lo cual dificulta el seguimiento.
- En el modelo de la superestructura, las vigas principales se modelan como secciones rectangulares y no como las secciones reales. En la memoria de cálculo no se explica con claridad por qué se realizó esta suposición, ni cuál fue el criterio que se aplicó para realizar la conversión de la sección real a la sección rectangular.
- En el modelo de la superestructura, se muestran datos de salida para combinaciones de carga denotadas como "pp", "cm", "cp", "sc", y no se dice explícitamente qué representan, lo cual dificulta el seguimiento.
- Algunas tablas y figuras correspondientes a los datos de salida del diseño estructural del tablero están repetidas, lo cual puede confundir al lector.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 18 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



- No se muestran los datos de entrada para el análisis estructural de la cimentación del Bastión 1 (placa sobre pilotes).
- En lo que respecta al análisis estructural de los pilotes, el momento de diseño y la combinación de carga crítica que se indican en el texto de la memoria no coinciden con los que se muestran en las figuras. No está claro cuáles son los valores que se usaron para el diseño de estos elementos.

En lo que respecta a hojas electrónicas, se pudo determinar que el diseñador utilizó hojas electrónicas propias para realizar el diseño estructural de los siguientes elementos: las vigas principales de la superestructura, los bastiones tipo muro en voladizo y la cimentación tipo placa aislada. Con respecto a los requerimientos relacionados con hojas electrónicas, se hacen las siguientes observaciones:

- Las hojas de cálculo completas se incluyen en los apéndices de la memoria, pero no se explica su contenido. A veces es difícil identificar cuál es la información que incluye cada hoja y cómo se realizaron los cálculos.
- En ciertas partes de las hojas electrónicas no se identifica la simbología utilizada. Aunque en algunos casos es posible deducirla a partir de la información mostrada, en otros casos no queda claro.
- En ocasiones se omite la referencia a la sección de AASHTO de donde se obtuvo la fórmula utilizada en los cálculos, lo cual dificulta el seguimiento. Por ejemplo, en el caso de las hojas de cálculo para el diseño de vigas principales, no queda claro cómo se realizó el cálculo de la resistencia a flexión, y en el caso de las hojas de cálculo para diseño de bastiones, no se aclara cómo se calculan los límites de excentricidad ni la resistencia a deslizamiento que se utilizaron en las revisiones de estabilidad del muro en voladizo.
- A lo largo de la memoria se utilizan principalmente unidades del sistema internacional, pero en ocasiones se utilizan otras unidades (ton, kg/cm²). Hay tablas dentro de las hojas electrónicas para diseño de bastiones donde no se indica

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 19 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



explícitamente la unidad de medida que se está utilizando, lo cual dificulta el seguimiento de los cálculos.

- Las hojas de cálculo para el diseño estructural de los elementos de la subestructura están en inglés.
- Se muestran hojas de cálculo para el diseño de la placa de cimentación del Bastión 1 como una placa aislada, cuando en realidad esta cimentación es del tipo placa sobre pilotes. Por lo tanto, la información mostrada prácticamente no se utiliza y su inclusión dentro de la memoria más bien confunde al lector.

6.2. Revisión del procedimiento de diseño con respecto a la normativa AASHTO LRFD

6.2.1. Criterios considerados para la revisión del procedimiento de diseño

La segunda parte de la revisión de la memoria de cálculo consiste en verificar si la normativa especificada para el diseño estructural de los diferentes componentes y elementos del puente fue aplicada de forma correcta y completa. La normativa de diseño estructural que se solicita en el contrato corresponde a AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications, 6th Edition* (2012). Por lo tanto, para realizar esta revisión de una manera más sencilla, se utilizó como referencia el Apéndice A5 de la norma. Este apéndice muestra el procedimiento general y las consideraciones mínimas a seguir para el diseño de puentes de concreto reforzado y concreto presforzado, y se incluye en el Anexo 3 de este informe.

Partiendo de lo que establece el Apéndice A5 de AASHTO LRFD (2012), se desarrolló una lista de verificación para cada componente, según se muestra en el Cuadro 4. El propósito de las listas de verificación es evaluar de manera sistemática el uso correcto y completo de la normativa para el diseño estructural de los diferentes componentes del puente y sus elementos, es decir, que el procedimiento de diseño mostrado en la memoria de cálculo incluya todos los pasos e información que sean requeridos.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 20 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



Cuadro 4. Listas de verificación desarrolladas por componente del puente y elementos considerados en cada una.

Lista de verificación	Componente del puente	Elemento	Tipo
Diseño del Tablero [AASHTO A5.3]	Superestructura (Tablero)	Tablero	Concreto reforzado
Diseño de las Vigas Principales [AASHTO A5.3]	Superestructura (Vigas de concreto presforzado)	Elementos principales	Vigas principales
		Elementos secundarios	Diafragmas
Diseño de la Subestructura [AASHTO A5.5]	Subestructura	Cuerpo de bastiones	Voladizo
		Cimentaciones	Placa aislada, placa sobre pilotes
		Apoyos	Elastomérico

La revisión consistió en evaluar el grado de cumplimiento del procedimiento de diseño para cada uno de los criterios establecidos en las listas de verificación, clasificándolo en uno de tres niveles: el criterio se cumple en su totalidad, se cumple parcialmente o no se cumple del todo. En caso de ser necesario, se hicieron observaciones específicas de la evaluación de cada criterio. Las listas de verificación completas para el puente sobre el Río Ciruelas se muestran en el del Apéndice B del informe. Asimismo, las observaciones más importantes obtenidas a partir de la revisión se describen en la siguiente sección.

6.2.2. Resultados de la revisión del procedimiento de diseño

En esta sección se presenta un resumen de las observaciones más importantes que fueron identificadas a partir de la revisión del procedimiento de diseño del puente sobre el Río Ciruelas, con respecto al Apéndice A5 de la norma AASHTO LRFD (2012). Como se mencionó anteriormente, se realizó una revisión para cada uno de los componentes del puente (tablero, vigas principales y subestructura). Sin embargo, algunas observaciones aplican en general para todos los componentes, las cuales se mencionan a continuación:

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 21 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



- No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan aplicado modificadores de carga. Al tratarse de un puente crítico, el modificador de carga por clasificación operacional (η_i) debe ser 1.05.
- A pesar de que en la memoria se muestra el cálculo de la fuerza de viento (WS), no se explica en cuáles elementos y combinaciones de carga se consideró esta carga.
- No hay evidencia dentro de la memoria de que se hayan revisado los límites máximo y mínimo para el acero de refuerzo en los diferentes elementos, así como el espaciamiento del acero de refuerzo para cumplir con los criterios de control de agrietamiento.
- En lo que respecta al recubrimiento de concreto al acero de refuerzo, se cumple con los requerimientos de la Tabla 5.12.3-1 de AASHTO, pero en la memoria de cálculo no se hace referencia a esta tabla o al criterio empleado para elegir los recubrimientos utilizados.

Asimismo, las siguientes observaciones aplican para el modelo de análisis estructural de la superestructura, es decir, aplican tanto para el tablero como para las vigas principales:

- En el modelo del puente de la calzada izquierda no se consideró el peso de la barrera vehicular intermedia.
- La carga muerta de la carpeta asfáltica se aplicó por secciones, utilizando un peso mayor al centro y un peso menor hacia los extremos (esto sucede únicamente en el puente sobre el Río Ciruelas). No se explica por qué la carga se aplicó de esta forma.
- La carga viva vehicular HL-93 se aplicó considerando un máximo de tres carriles cargados y un mínimo de uno. Sin embargo, el ancho total de la calzada izquierda (ignorando la barrera vehicular intermedia) es suficiente como para tener que considerar cuatro carriles cargados, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3.6.1.1.1 de AASHTO. Esta observación ya había sido comunicada en el memorando LM-PIE-39-2020.



- Los estados límite de Servicio I y Servicio III se analizaron únicamente para los casos de un carril cargado y dos carriles cargados, no se analizaron para el caso de tres carriles cargados.
- Dentro de la combinación de carga Servicio III, el peso de la carpeta asfáltica y el peso de la barrera vehicular están incluidos en dos casos de carga, es decir, podrían estarse aplicando dos veces. Esto se ve reflejado en las fuerzas internas obtenidas, ya que se obtuvieron fuerzas mayores para la combinación de carga Servicio III que para la combinación de carga Servicio I, lo cual no es consecuente con los factores de carga de cada combinación. En la memoria de cálculo no se explica por qué se realizó esta suposición.
- **Nota:** En el caso del puente sobre el Río Sardinal, se notó que en el modelo de la superestructura se definió el peso propio de las vigas AASHTO tipo V como 11.8 kN/m, que es inferior al peso real de este tipo de vigas.

Por último, las observaciones específicas para cada uno de los componentes del puente se presentan a continuación:

Diseño del Tablero [AASHTO A.5.3]

El procedimiento para el diseño estructural del tablero del puente sobre el Río Ciruelas se revisó con respecto al Apéndice A.5.3 de AASHTO. La lista de verificación correspondiente se muestra en el Cuadro B.1 del Apéndice B de este informe. Con respecto al diseño estructural del tablero, se hacen las siguientes observaciones:

- En la memoria de cálculo no se explica cómo se obtuvo el acero de refuerzo longitudinal del tablero, incluyendo el acero de refuerzo de distribución que debe colocarse en la cara inferior.
- En la memoria de cálculo no se indica cuál fue el factor de resistencia considerado en el diseño por flexión del tablero.
- No hay evidencia dentro de la memoria de que se haya revisado la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre el tablero y la barrera vehicular.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 23 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



- No se muestra el cálculo de la longitud de desarrollo para el acero de refuerzo transversal del voladizo del tablero.

Diseño de las vigas principales [AASHTO A.5.3]

El procedimiento para el diseño estructural de las vigas principales del puente sobre el Río Ciruelas también se revisó con respecto al Apéndice A.5.3 de AASHTO. La lista de verificación correspondiente se muestra en el Cuadro B.2 del Apéndice B de este informe. Con respecto al diseño estructural de las vigas principales, se hacen las siguientes observaciones:

- En la memoria se indica cuáles fueron las pérdidas de presfuerzo consideradas en el diseño, pero no se muestra cómo se calcularon.
- Aunque las hojas electrónicas para el diseño de vigas principales muestran la resistencia nominal a flexión, no se detalla cómo se realizó el cálculo.
- No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya verificado que el acero de refuerzo longitudinal colocado es suficiente para resistir la tensión adicional generada por la fuerza cortante.
- No se muestra información sobre cómo se diseñó el acero de refuerzo convencional colocado en el sentido longitudinal de la viga.

Diseño de la Subestructura [AASHTO A.5.5]

El procedimiento para el diseño estructural de la subestructura del puente sobre el Río Ciruelas se revisó con respecto al Apéndice A.5.5 de AASHTO. La lista de verificación correspondiente se muestra en el Cuadro B.3 del Apéndice B de este informe. Con respecto al diseño estructural de la subestructura, se hacen las siguientes observaciones:

- La combinación de carga de evento extremo considerada se muestra con un factor de carga γ_{EQ} distinto en diferentes secciones de la memoria de cálculo ($\gamma_{EQ} = 0.00$ en el cuerpo de la memoria y $\gamma_{EQ} = 0.25$ en los apéndices). No queda claro cuál fue el valor utilizado para diseño.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 24 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



- No se muestra información sobre cómo se diseñó el acero de refuerzo transversal de los pilotes, ni el refuerzo de confinamiento colocado en la zona bajo los apoyos.
- No hay evidencia dentro de la memoria de que se haya revisado la transferencia de cortante en el plano de contacto entre el muro en voladizo y la placa de cimentación.
- No hay evidencia dentro de la memoria de que se haya revisado el asentamiento y la estabilidad global del muro en voladizo para el estado límite de servicio.
- A pesar de que se revisa la estabilidad del muro en voladizo por excentricidad, no se indica cómo se calculó la excentricidad ni el valor límite considerado en la revisión.
- A pesar de que se revisa la estabilidad del muro en voladizo ante deslizamiento, no se indica cómo se obtuvo la resistencia al deslizamiento considerada en la revisión. Adicionalmente, la base de la placa de cimentación cuenta con una llave de cortante, pero no se detalla cuál es la resistencia al deslizamiento que esta aporta ni se explica por qué este elemento es necesario.
- En la memoria se muestra el diseño del refuerzo de retracción y temperatura de los bastiones, pero el límite superior que establece AASHTO (igual a $1270 \text{ mm}^2/\text{m}$) fue interpretado más bien como un límite inferior. Por lo tanto, la cantidad de acero colocado en la dirección longitudinal del muro (#6 @0.20 m) excede el límite superior indicado en AASHTO.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 25 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



7. CONCLUSIONES

En línea con los objetivos que se plantearon, se realizó una revisión del contrato para servicios de consultoría en cuanto a los aspectos relacionados con la calidad del diseño estructural. Posteriormente se revisó la memoria de cálculo del puente sobre el Río Ciruelas, específicamente en lo que respecta al cumplimiento de los requerimientos del contrato y de la normativa de diseño estructural aplicable. A partir de estas revisiones se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El contrato para servicios de consultoría establece requerimientos mínimos con los que debe cumplir el diseño estructural de los puentes del proyecto, así como las memorias de cálculo correspondientes. Este es un aspecto positivo, ya que ayuda a que las memorias de cálculo entregadas por parte del diseñador tengan un nivel de calidad aceptable.
- Dentro del contrato para servicios de consultoría, no se solicita al diseñador el desarrollo de un plan de control y aseguramiento de la calidad del diseño estructural de los puentes del proyecto.
- En términos generales, la memoria de cálculo del diseño estructural del puente sobre el Río Ciruelas cumple con la mayoría de los requerimientos solicitados en el contrato. Sin embargo, se detectaron algunos incumplimientos parciales del contrato, principalmente relacionados con la omisión de información solicitada, inconsistencias en la información presentada en la memoria y otros aspectos que dificultan el seguimiento de los cálculos por parte del lector.
- En lo que respecta al procedimiento del diseño estructural, la memoria de cálculo del puente sobre el Río Ciruelas cumple con la mayoría de los pasos de diseño indicada en el Apéndice A5 de AASHTO, y en términos generales es posible comprender el procedimiento utilizado para el diseño estructural de los diferentes componentes del puente que se incluyen dentro de la memoria.
- La mayoría de las observaciones realizadas con respecto al procedimiento de diseño tienen que ver con la omisión de información que forma parte del diseño estructural de cada componente y que está indicada en el Apéndice A5. Aunque es posible que

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 26 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



algunos de estos aspectos sí se hayan tomado en cuenta en el diseño estructural, la omisión de la información dentro de la memoria de cálculo hace que sea imposible verificarlo por parte de un tercero.

- Se detectaron algunos casos en los que la normativa para diseño estructural fue aplicada de forma incompleta o incorrecta. Dado que estos aspectos pueden tener implicaciones en el desempeño de la estructura a lo largo de la vida de servicio, estos se mencionan nuevamente a continuación:
 - En el caso del puente sobre el Río Ciruelas, en el modelo del puente de la calzada izquierda no se consideró el peso de la barrera vehicular intermedia.
 - En el caso del puente sobre el Río Ciruelas, la carga viva vehicular HL-93 se aplicó considerando un máximo de tres carriles cargados y un mínimo de uno. Sin embargo, el ancho total de la calzada izquierda (ignorando la barrera vehicular intermedia) es suficiente como para tener que considerar cuatro carriles cargados. Esta observación ya había sido comunicada en el memorando LM-PIE-39-2020.
 - En general para todos los puentes analizados en este informe, el límite superior que establece AASHTO para el acero de retracción y temperatura (igual a $1270 \text{ mm}^2/\text{m}$) fue interpretado más bien como un límite inferior. Por lo tanto, la cantidad de acero colocado en la dirección longitudinal de los bastiones (#6 @0.20 m) excede el límite superior indicado en AASHTO.
 - En el caso del puente sobre el Río Sardinal, en el modelo de la superestructura se definió el peso propio de las vigas AASHTO tipo V como 11.8 kN/m , que es inferior al peso real de este tipo de vigas.
- El hecho de que existan incumplimientos tanto del contrato como de la normativa de diseño estructural, así como omisión de la información solicitada, sugiere que el proceso de control y aseguramiento de la calidad seguido por parte del diseñador pudo haber sido mejor. Esto refleja la importancia de que la Administración solicite al diseñador, a través de los documentos contractuales, el desarrollo y seguimiento de un plan de control y aseguramiento de la calidad del diseño estructural.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 27 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



8. RECOMENDACIONES

Con base en las conclusiones obtenidas a partir de las revisiones realizadas, se recomienda a la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR lo siguiente:

- Reportar a la Administración de las omisiones e incumplimientos de las memorias de cálculo del proyecto que fueron identificados en este informe, recalcando la importancia de tener procedimientos estandarizados para verificar la calidad de las memorias de cálculo que reciben de las estructuras de puentes de diferentes proyectos. Este proceso puede facilitarse si desde un inicio la Administración solicita al diseñador, por medio de los documentos contractuales, el desarrollo y seguimiento de un plan de control y aseguramiento de la calidad.
- Solicitar al diseñador una aclaración de los siguientes aspectos:
 - Por qué para el diseño del tablero se utilizó una capacidad que excede la demanda en más de un 33% (límite que está establecido en el contrato).
 - Cuál fue el criterio utilizado para definir la sobrecarga uniforme de 10 kN/m² que se aplica sobre el relleno para el diseño de bastiones y aletones, y si esta corresponde a una sobrecarga permanente o a una sobrecarga por carga viva.
 - De qué forma y para cuáles elementos y combinaciones de carga se consideró la carga de viento sobre la estructura (WS).
 - Si en las combinaciones de carga de resistencia se aplicó un modificador de carga por clasificación operacional (η_1) de 1.05.
 - Por qué los planos estructurales del puente sobre el Río Ciruelas indican una mayor cantidad de acero que la que se indica en la memoria de cálculo, específicamente en la cara interior del muro del Bastión 2, la cara superior de la placa de cimentación del Bastión 2 y la zona superior de los diafragmas sobre cada bastión.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 28 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



- Por qué no se consideró el peso de la barrera vehicular intermedia en el modelo de la superestructura de la calzada izquierda del puente sobre el Río Ciruelas.
- Por qué en el modelo de la superestructura del puente sobre el Río Ciruelas la carga muerta del pavimento se aplicó por secciones, utilizando un peso mayor al centro y un peso menor hacia los extremos.
- Por qué para el análisis estructural del puente sobre el Río Ciruelas no se revisó el caso de cuatro carriles cargados, considerando la posibilidad de que la barrera vehicular intermedia sea removida en el futuro.
- Por qué en el modelo de la superestructura del puente sobre el Río Sardinal se definió un peso propio de las vigas AASHTO Tipo V que es inferior al peso real de este tipo de vigas.
- Por qué los estados límite de Servicio I y Servicio III se analizaron únicamente para los casos de un carril cargado y dos carriles cargados, y no para el caso de tres carriles cargados.
- Por qué el peso de la carpeta asfáltica y el peso de la barrera vehicular se aplicaron dos veces dentro de la combinación de carga Servicio III.
- Por qué fue necesario utilizar una llave de cortante en la base de la placa de cimentación del Bastión 2 del puente sobre el Río Ciruelas.
- Por qué se utilizó una cantidad de acero de refuerzo de retracción y temperatura en los bastiones que excede el límite superior indicado en AASHTO.
- Solicitar al diseñador que presente la siguiente información:
 - El detalle del procedimiento para el diseño de los diafragmas intermedios, el acero longitudinal del tablero, el acero de confinamiento colocado en la zona bajo los apoyos y el acero transversal de los pilotes.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 29 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



- El detalle del cálculo de la resistencia nominal a flexión de las vigas principales, así como el diseño del refuerzo longitudinal convencional de estos elementos.
- La revisión de los límites máximo y mínimo para el acero de refuerzo en los diferentes elementos, así como el espaciamiento del acero de refuerzo para cumplir con los criterios de control de agrietamiento.
- La revisión de la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre el tablero y la barrera vehicular, así como en el plano de contacto entre el muro y la placa de cimentación de los bastiones.
- El cálculo de la longitud de desarrollo para el acero de refuerzo transversal del voladizo del tablero.
- El cálculo detallado de las pérdidas de presfuerzo consideradas en el diseño de las vigas principales.
- La revisión del asentamiento y la estabilidad global de los muros en voladizo para el estado límite de servicio.
- Los cálculos de la excentricidad, el límite de excentricidad y la resistencia al deslizamiento utilizados en las revisiones de estabilidad de los bastiones tipo muro en voladizo.
- Los datos de entrada y datos de salida completos del análisis estructural de la cimentación del Bastión 1 (placa sobre pilotes).

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 30 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



9. REFERENCIAS

American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. (2012). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. (6ta edición). Washington DC: AASHTO.

Consejo Nacional de Vialidad, CONAVI. (2015). *Contratación de una firma consultora para diseñar la rehabilitación y mejoramiento de la Ruta Nacional N.º 1, Carretera Interamericana Norte, Sección Barranca-Limonal*. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del Lanamme-UCR.

Federal Highway Administration, FHWA. (2011). *Guidance on Quality Control and Quality Assurance (QC/QA) in Bridge Design*. Documento recuperado de <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/h0817.pdf>

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 31 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 1.

Memorando de solicitud para la revisión de las memorias de cálculo del proyecto

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 32 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

LM-UAT-0047-2020 MEMORANDO

PARA: Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD.
DE: Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.
ASUNTO: Solicitud revisión diseños estructurales de puentes proyecto Barranca - Limonal
FECHA: 13 de julio de 2020
cc: Ing. Mauricio Picado Muñoz
Ing. Francisco Fonseca Chaves
Ing. Andres Gonzalez Leon
Archivo UAT.

Estimado Ingeniero:

Por este medio le solicitamos el criterio del Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR, a su cargo, sobre la calidad y alcance de las memorias de cálculo de los diseños estructurales de los puentes e intercambios del proyecto: "Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, sección: Barranca – Limonal y de la Ruta Nacional N°17, sección: La Angostura". Para realizar dicha revisión se le remite las memorias de cálculo y planos que se disponen del proyecto en el siguiente link:

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/cloud/index.php/s/aStDnxW8nRpVFC7>

Clave: Lanamme

El link tiene como fecha de expiración el día 27 de julio de 2020, por lo que le solicitamos descargar la información que consideren necesaria antes de dicha fecha. En caso de que consideren que es necesaria información adicional para realizar su revisión, por favor indicárnoslo para hacer la solicitud respectiva.

Sin otro particular, se despide atentamente,

WENDY
SEQUEIRA
ROJAS (FIRMA)

Firmado digitalmente
por WENDY SEQUEIRA
ROJAS (FIRMA)
Fecha: 2020.07.13
13:41:33 -06'00'

Ing. Wendy Sequeira Rojas, M.Sc.
Coordinadora
Unidad de Auditoría Técnica
LanammeUCR

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.



Página 1 de 1

Informe LM-PIE-08-2021

Fecha de emisión: Febrero, 2021

Página 33 de 67

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 2.

Especificaciones para diseño estructural incluidas en el contrato para servicios de consultoría del proyecto

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 34 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



A continuación, se presenta un extracto de los Términos de Referencia del contrato para servicios de consultoría del proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Ruta Nacional N°1”, tramo Barranca-Limonal, donde se especifican todos los requerimientos relacionados con el diseño estructural de los puentes vehiculares del proyecto, así como las memorias de cálculo correspondientes.

El diseño de las estructuras y el diseño geométrico de los intercambios principales se deberán realizar tomando en cuenta las siguientes especificaciones:

El diseño geométrico debe cumplir con el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA), 3era. Edición, 2011, utilizando como fuente de referencia AASHTO 2001, cuando corresponda.

El diseño de los puentes vehiculares nuevos se deberá realizar tomando en cuenta las siguientes especificaciones:

- a) *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Sixth Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2012.*
- b) *AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 2nd Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2011.*
- c) *Lineamientos de Diseño Sismo Resistente para Puentes, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA), 2013.*
- d) *Circulares de Ingeniería Hidráulica de la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos: HEC N°18, FHWA HI-96-031, 2012, 5º edición; HEC N°20, FHWA HI-96-032, 2012, 4º edición; HEC N°23, FHWA HI-97-030, 2009, 5º edición.*
- e) *Código de Cimentaciones de Costa Rica, edición vigente.*
- f) *En soluciones de puentes con superestructuras constituidas por tableros (losas) y vigas principales longitudinales (no curvas (*)), se deben incluir vigas diafragmas según se indica:*

a. *Diafragmas en los apoyos*

Para todas las luces, obligatoriamente se debe incluir diafragmas en los

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 35 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



extremos de las vigas alineados con los apoyos en bastiones y pilas.

b. Diafragmas intermedios

- ✓ Luces menores o iguales a 12,00 metros no requieren diafragmas.*
- ✓ En luces mayores a 12,00 metros y menores o iguales a 20 metros se debe colocar como mínimo un diafragma en el punto de máximo momento.*
- ✓ En luces mayores a 20,00 metros y menores o iguales a 40,00 metros se debe colocar un mínimo de 3 diafragmas uniformemente distribuidos a lo largo de la luz, asegurándose que al menos un diafragma coincida con el punto de máximo momento.*
- ✓ Para el caso de luces mayores a 40,00 metros, colocar diafragmas con un espaciamiento máximo de 12,00 metros, asegurándose que al menos un diafragma coincida con el punto de máximo momento.*

() Para superestructuras curvas, aplica lo establecido en la normativa AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6ta Edición 2012.*

Para el diseño de la rehabilitación y reforzamiento de los puentes existentes:

- a) Auscultación e informe sobre la estructura existente a efecto de valorar detalladamente su condición estructural actual.*
- b) Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 1 – Bridges (Publication Nº FHWA-HRT-06-032). Federal Highway Administration (FHWA), 2006.*
- c) Lineamientos de Diseño Sismo Resistente para Puentes, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA), 2013.*
- d) Para los requerimientos de los materiales, el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010).*

Nota: en caso de que una o más estructuras no puedan ser rehabilitadas/reforzadas a estas solicitudes o si su costo es muy alto en relación con una estructura nueva, el Consultor puede sugerir la construcción de un puente de 4 vías, pero debe considerar que durante la construcción de la nueva estructura, no se podrá suspender el paso vehicular

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 36 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



por dicha carretera Interamericana.

- *Las estructuras deberán cumplir con las solicitaciones de carga establecidas por la metodología LRFD mencionada anteriormente, para una vida útil de al menos 75 (setenta y cinco) años, aspecto a considerar en el diseño o chequeo por fatiga.*
- *Todas las estructuras deberán ser sismo-resistentes, con capacidad para resistir un evento extremo de esta naturaleza con un período de retorno de 1033 (mil treinta y tres) años que equivale a una probabilidad de excedencia de 7 (siete) por ciento y una vida útil de 75 (setenta y cinco) años.*
- *Todas las estructuras deberán tener capacidad hidráulica para permitir el paso de la avenida máxima para un período de retorno de 100 (cien) años, con un espacio libre entre el máximo nivel del espejo de agua y el plano horizontal más bajo de la superestructura del puente, de 1,50 (uno coma cincuenta) metros.*
- *Con el propósito de tener estructuras eficientes estructuralmente hablando, se requiere que el diseño de todos los elementos primarios de la estructura esté optimizado, por tanto, el contratista se compromete a cumplir con que las dimensiones y el refuerzo (concreto reforzado) de las secciones recomendadas responden a un diseño estructural eficiente. Si existen elementos principales cuya capacidad, ya sea por diseño último o por condiciones de servicio, supere la demanda por más de un 33% se deberá justificar, mediante los cálculos de deflexiones, vibraciones, fatiga u otra consideración que respalde y amerita el exceso de capacidad.*

El contratista deberá presentar una memoria de cálculo con su respectiva descriptiva, en un formato claro, tanto por escrito como digital, que cumpla con los siguientes requerimientos:

- *Indicar las especificaciones de diseño.*
- *Indicar las capacidades de soporte de diseño.*
- *Indicar claramente el cálculo de los coeficientes sísmicos de diseño.*

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 37 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



- *Presentar en un orden lógico: elementos de superestructura, elementos de subestructura, obras adicionales.*
- *Presentar un desglose de las características, peso, resistencia y propiedades de los materiales considerados en los diseños.*
- *Presentar el desglose y cálculo de todas las cargas (acciones) consideradas en el diseño por ejemplo: cargas permanentes, cargas vivas (incluyendo el efecto del impacto, fuerza de frenado, fuerza centrífuga, etc.), eventos extremos (sismo, viento, etc.), empujes de suelo (estático y por sismo) y cualquier otro que se deba tomar en cuenta.*
- *Justificar el uso de cualquier parámetro que no sea dado en los estudios preliminares o establecido como único en las normativas (como un parámetro que vaya en función del tipo de material, deberá aclarar que se está utilizando ese material y justificar el por qué).*
- *Presentar revisión de deflexiones y vibraciones de la estructura.*
- *Hacer referencia al artículo correspondiente a la norma utilizada cada vez que utilice una fórmula o tabla específica.*
- *Presentar el desarrollo completo del cálculo del elemento al menos en una ocasión, si el mismo cálculo se repite para otros elementos, podrá presentar una tabla de resultados o solamente el resultado, siempre y cuando haga referencia al artículo de donde extrajo el método de cálculo, ver punto anterior.*
- *Para todos los elementos se deberá presentar el valor de la relación capacidad/demanda (con la respectiva combinación de esfuerzo en donde aplique).*
- *Presentar un diagrama con las dimensiones propuestas para los elementos diseñados dentro de la memoria de cálculo.*
- *En caso de emplear algún programa de computadora especializado se deberá presentar como mínimo:*

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 38 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



- *Datos de entrada referente a las propiedades de los materiales.*
 - *Secciones transversales de los elementos estructurales.*
 - *Cargas aplicadas para el análisis estructural.*
 - *Condiciones de apoyo de la estructura.*
 - *Parámetros de diseño sísmico.*
 - *Esquemas que describan la geometría de la estructura analizada (en planta, sección y elevación como mínimo).*
 - *Datos de salida del análisis estructural. Los datos de salida del programa deberán ser seleccionados con los criterios descritos en el párrafo anterior (elementos a diseñar y combinaciones de carga más desfavorables para diseño por flexión, torsión, cortante, carga axial, flexocompresión, entre otros).*
 - *Datos de salida del diseño estructural, los cuales además de presentarse en forma clara, precisa, lógica y ordena, deberán estar en concordancia con lo indicado en los planos estructurales.*
- *En caso de emplear hojas de cálculo electrónicas estas deberán ser impresas y presentadas de manera ordenada, incluyendo en el cuerpo de la hoja, como mínimo las siguientes partes:*
- *Datos de entrada referente a las propiedades de los materiales,*
 - *Secciones transversales y geometría de los elementos estructurales,*
 - *Cargas aplicadas para el análisis estructural,*
 - *Condiciones de apoyo de la estructura,*
 - *Parámetros de diseño sísmico,*
 - *Esquemas que describan la geometría de la estructura analizada (en planta,*



sección y elevación como mínimo),

- *Acciones y reacciones que controlan el diseño estructural (respaldadas a través del análisis estructural),*
- *Proceso de diseño en una secuencia clara, precisa, lógica y ordenada. En este caso, los diversos pasos del proceso de diseño deben ser referencias a los artículos respectivos del Documento Principal para Diseño, y de ser aplicables, a los Documentos Auxiliares para Diseño. Asimismo, la simbología utilizada debe estar claramente identificada.*
- *Se deberán incluir las hojas electrónicas auxiliares para la hoja principal.*

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 40 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 3.

Apéndice A5 de la norma *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2012* (6ta edición), para el diseño estructural de puentes de concreto

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 41 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



APPENDIX A5—BASIC STEPS FOR CONCRETE BRIDGES

A5.1—GENERAL

This outline is intended to be a generic overview of the design process using the simplified methods for illustration. It should not be regarded as complete, nor should it be used as a substitute for a working knowledge of the provisions of this section.

A5.2—GENERAL CONSIDERATIONS

- A. Design Philosophy (1.3.1)
- B. Limit States (1.3.2)
- C. Design Objectives and Location Features (2.3) (2.5)

A5.3—BEAM AND GIRDER SUPERSTRUCTURE DESIGN

- A. Develop General Section
 - 1. Roadway Width (Highway-Specified)
 - 2. Span Arrangements (2.3.2) (2.5.4) (2.5.5) (2.6)
 - 3. Select Bridge Type
- B. Develop Typical Section
 - 1. Precast P/S Beams
 - a. Top Flange (5.14.1.2.2)
 - b. Bottom Flange (5.14.1.2.2)
 - c. Webs (5.14.1.2.2)
 - d. Structure Depth (2.5.2.6.3)
 - e. Minimum Reinforcement (5.7.3.3.2) (5.7.3.4)
 - f. Lifting Devices (5.14.1.2.3)
 - g. Joints (5.14.1.3.2)
 - 2. CIP T-Beams and Multiweb Box Girders (5.14.1.5)
 - a. Top Flange (5.14.1.5.1a)
 - b. Bottom Flange (5.14.1.5.1b)
 - c. Webs (5.14.1.5.1c)
 - d. Structure Depth (2.5.2.6.3)
 - e. Reinforcement (5.14.1.5.2)
 - (1) Minimum Reinforcement (5.7.3.3.2) (5.7.3.4)
 - (2) Temperature and Shrinkage Reinforcement (5.10.8)
 - f. Effective Flange Widths (4.6.2.6)
 - g. Strut-and-Tie Areas, if Any (5.6.3)
- C. Design Conventionally Reinforced Concrete Deck
 - 1. Deck Slabs (4.6.2.1)
 - 2. Minimum Depth (9.7.1.1)
 - 3. Empirical Design (9.7.2)
 - 4. Traditional Design (9.7.3)
 - 5. Strip Method (4.6.2.1)
 - 6. Live Load Application (3.6.1.3.3) (4.6.2.1.5)
 - 7. Distribution Reinforcement (9.7.3.2)
 - 8. Overhang Design (A13.4) (3.6.1.3.4)
- D. Select Resistance Factors
 - Strength Limit State (Conventional) (5.5.4.2.1)
- E. Select Load Modifiers
 - 1. Ductility (1.3.3)
 - 2. Redundancy (1.3.4)
 - 3. Operational Importance (1.3.5)
- F. Select Applicable Load Combinations and Load Factors (3.4.1, Table 3.4.1-1)
- G. Calculate Live Load Force Effects
 - 1. Live Loads (3.6.1) and Number of Lanes (3.6.1.1.1)
 - 2. Multiple Presence (3.6.1.1.2)
 - 3. Dynamic Load Allowance (3.6.2)
 - 4. Distribution Factor for Moment (4.6.2.2.2)



- a. Interior Beams with Concrete Decks (4.6.2.2.2b)
 - b. Exterior Beams (4.6.2.2.2d)
 - c. Skewed Bridges (4.6.2.2.2e)
 - 5. Distribution Factor for Shear (4.6.2.2.3)
 - a. Interior Beams (4.6.2.2.3a)
 - b. Exterior Beams (4.6.2.2.3b)
 - c. Skewed Bridges (4.6.2.2.3c, Table 4.6.2.2.3c-1)
 - 6. Reactions to Substructure (3.6)
- H. Calculate Force Effects from Other Loads as Required
- I. Investigate Service Limit State
 - 1. P/S Losses (5.9.5)
 - 2. Stress Limitations for P/S Tendons (5.9.3)
 - 3. Stress Limitations for P/S Concrete (5.9.4)
 - a. Before Losses (5.9.4.1)
 - b. After Losses (5.9.4.2)
 - 4. Durability (5.12)
 - 5. Crack Control (5.7.3.4)
 - 6. Fatigue, if Applicable (5.5.3)
 - 7. Deflection and Camber (2.5.2.6.2) (3.6.1.3.2) (5.7.3.6.2)
- J. Investigate Strength Limit State
 - 1. Flexure
 - a. Stress in P/S Steel—Bonded Tendons (5.7.3.1.1)
 - b. Stress in P/S Steel—Unbonded Tendons (5.7.3.1.2)
 - c. Flexural Resistance (5.7.3.2)
 - d. Limits for Reinforcement (5.7.3.3)
 - 2. Shear (Assuming No Torsional Moment)
 - a. General Requirements (5.8.2)
 - b. Sectional Design Model (5.8.3)
 - (1) Nominal Shear Resistance (5.8.3.3)
 - (2) Determination of β and θ (5.8.3.4)
 - (3) Longitudinal Reinforcement (5.8.3.5)
 - (4) Transverse Reinforcement (5.8.2.4) (5.8.2.5) (5.8.2.6) (5.8.2.7)
 - (5) Horizontal Shear (5.8.4)
- K. Check Details
 - 1. Cover Requirements (5.12.3)
 - 2. Development Length—Reinforcing Steel (5.11.1) (5.11.2)
 - 3. Development Length—Prestressing Steel (5.11.4)
 - 4. Splices (5.11.5) (5.11.6)
 - 5. Anchorage Zones
 - a. Post-Tensioned (5.10.9)
 - b. Pretensioned (5.10.10)
 - 6. Ducts (5.4.6)
 - 7. Tendon Profile Limitation
 - a. Tendon Confinement (5.10.4)
 - b. Curved Tendons (5.10.4)
 - c. Spacing Limits (5.10.3.3)
 - 8. Reinforcement Spacing Limits (5.10.3)
 - 9. Transverse Reinforcement (5.8.2.6) (5.8.2.7) (5.8.2.8)
 - 10. Beam Ledges (5.13.2.5)

A5.4—SLAB BRIDGES

Generally, the design approach for slab bridges is similar to beam and girder bridges with some exceptions, as noted below.

- A. Check Minimum Recommended Depth (2.5.2.6.3)
- B. Determine Live Load Strip Width (4.6.2.3)
- C. Determine Applicability of Live Load for Decks and Deck Systems (3.6.1.3.3)
- D. Design Edge Beam (9.7.1.4)
- E. Investigate Shear (5.14.4.1)
- F. Investigate Distribution Reinforcement (5.14.4.1)



- G. If Not Solid
1. Check if Voided Slab or Cellular Construction (5.14.4.2.1)
 2. Check Minimum and Maximum Dimensions (5.14.4.2.1)
 3. Design Diaphragms (5.14.4.2.3)
 4. Check Design Requirements (5.14.4.2.4)

A5.5—SUBSTRUCTURE DESIGN

- A. Establish Minimum Seat Width
- B. Compile Force Effects Not Compiled for Superstructure
1. Wind (3.8)
 2. Water (3.7)
 3. Effect of Scour (2.6.4.4.2)
 4. Ice (3.9)
 5. Earthquake (3.10) (4.7.4)
 6. Temperature (3.12.2) (3.12.3) (4.6.6)
 7. Superimposed Deformation (3.12)
 8. Ship Collision (3.14) (4.7.5)
 9. Vehicular Collision (3.6.5)
 10. Braking Force (3.6.4)
 11. Centrifugal Force (3.6.3)
 12. Earth Pressure (3.11)
- C. Analyze Structure and Compile Load Combinations
1. Table 3.4.1-1
 2. Special Earthquake Load Combinations (3.10.8)
- D. Design Compression Members (5.7.4)
1. Factored Axial Resistance (5.7.4.4)
 2. Biaxial Flexure (5.7.4.5)
 3. Slenderness Effects (4.5.3.2.2) (5.7.4.3)
 4. Transverse Reinforcement (5.7.4.6)
 5. Shear (Usually EQ and Ship Collision Induced) (3.10.9.4.3)
 6. Reinforcement Limits (5.7.4.2)
 7. Bearing (5.7.5)
 8. Durability (5.12)
 9. Detailing (As in Step A5.3K) and Seismic (5.10.11)
- E. Design Foundations (Structural Considerations)
1. Scour
 2. Footings (5.13.3)
 3. Abutments (Section 11)
 4. Pile Detailing (5.13.4)



Apéndice A.

Lista de verificación para la revisión de la memoria de cálculo del puente sobre el Río Ciruelas con respecto a los requerimientos especificados en el contrato

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 45 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



Cuadro A.1. Verificación de la calidad de la memoria de cálculo del puente sobre el Río Ciruelas con respecto a los requerimientos solicitados en el contrato

Requerimiento especificado en el contrato	Cumplimiento	Comentarios
1. Requerimientos generales del diseño estructural:		
1.1 ¿Se utiliza la normativa especificada en el contrato para el diseño de los puentes vehiculares nuevos?	Sí	
1.2 ¿Incluye el diseño final diafragmas en los extremos de las vigas alineados con los apoyos en bastiones?	Sí	
1.3 ¿Incluye el diseño final diafragmas intermedios con el espaciamiento solicitado?	Sí	
1.4 ¿Se diseñó la estructura para resistir las sollicitaciones de carga de un sismo con un período de retorno TR=1033 años (PE=7%, N=75 años)?	Sí	
1.5 ¿Cumple la estructura con la capacidad hidráulica solicitada (altura libre inferior de 1,50 m para una avenida máxima con un período de retorno TR=100 años)?	Sí	
1.6 ¿Está optimizado el diseño de todos los elementos principales de la estructura, y están debidamente justificados los casos en los que la capacidad excede la demanda en más de un 33%?	Parcialmente	<p>En la memoria de cálculo se reportan los siguientes valores de la relación capacidad/demanda para el diseño por flexión del tablero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1,42 para momento positivo en el tablero - 1,38 para momento negativo en los tramos interiores el tablero - 2,78 para momento negativo en el voladizo del tablero <p>No se explica por qué la capacidad excede la demanda en más de un 33% en estos casos.</p>



Requerimiento especificado en el contrato	Cumplimiento	Comentarios
2. Requerimientos generales de la memoria de cálculo:		
2.1 ¿Se indica en la memoria las especificaciones de diseño?	Sí	
2.2 ¿Se indica en la memoria las capacidades de soporte de diseño?	Sí	
2.3 ¿Se incluye el cálculo de los coeficientes sísmicos de diseño?	Sí	No se muestra el cálculo como tal, pero se hace referencia al estudio de amenaza sísmica para justificar la selección de los coeficientes sísmicos utilizados en el diseño.
2.4 ¿Se presenta la información en un orden lógico (superestructura, subestructura, obras adicionales)?	Sí	
2.5 ¿Se presenta un desglose de las propiedades de los materiales consideradas en el diseño?	Sí	
2.6 ¿Se presenta el desglose y cálculo de todas las cargas consideradas en el diseño?:		
a. Cargas permanentes	Sí	
b. Cargas vivas (incluyendo efecto por impacto, fuerza de frenado)	Sí	También se toma en cuenta la carga viva peatonal.
c. Eventos extremos (sismo, viento)	Parcialmente	Se muestra el cálculo de la carga de viento, pero no queda claro en cuáles elementos de la estructura ni en cuál combinación de carga se consideró esta carga.
d. Empujes de suelo (estático y por sismo)	Sí	
e. Otros	Sí	Se consideran los efectos por retracción, flujo plástico y cambios de temperatura.



Requerimiento especificado en el contrato	Cumplimiento	Comentarios
2. Requerimientos generales de la memoria de cálculo (cont.)		
2.7 ¿Se justifica el uso de los parámetros considerados en el diseño que no estén dados en la normativa o los estudios preliminares?	Parcialmente	Para el diseño de los bastiones y aletones se consideró una sobrecarga uniforme de 10 kN/m ² sobre el relleno, pero no se explica cómo se obtuvo este valor ni se hace referencia a la normativa. Tampoco está claro si corresponde a una sobrecarga permanente o a una sobrecarga por carga viva.
2.8 ¿Se presenta la revisión de deflexiones de la estructura?	Sí	
2.9 ¿Se presenta la revisión de vibraciones de la estructura?	No	Las vibraciones no se mencionan en la memoria de cálculo.
2.10 ¿Se hace referencia al artículo correspondiente de la norma cada vez que se utiliza una fórmula o tabla específica?	Parcialmente	Para el diseño de algunos elementos (diafragmas sobre bastiones, prelosas del tablero, voladizo del tablero) se muestran cálculos realizados a mano, en los cuales no siempre se indica lo que representa cada número ni el artículo de dónde se obtienen las fórmulas aplicadas. Esto dificulta el seguimiento de los cálculos.
2.11 ¿Se presenta el desarrollo completo de los cálculos para cada elemento, al menos en una ocasión?	Parcialmente	No se muestran los cálculos para el diseño de diafragmas intermedios, el acero longitudinal del tablero ni el acero transversal de los pilotes.
2.12 ¿Se presenta el valor de la relación capacidad/demanda para cada elemento?	Sí	
2.13 ¿Se presenta un diagrama con las dimensiones propuestas para cada elemento diseñado?	Sí	



Requerimiento especificado en el contrato	Cumplimiento	Comentarios
3. Requerimientos con respecto a programas de computadora:		
3.1 ¿Se presentan los datos de entrada referentes a las propiedades de los materiales?	Parcialmente	En la memoria no se muestran los datos de entrada para el análisis estructural de la cimentación del Bastión 1 (placa sobre pilotes).
3.2 ¿Se presentan las secciones transversales de los elementos estructurales?	Parcialmente	En el modelo de la superestructura, las vigas principales se modelan como secciones rectangulares y no como las secciones reales. En la memoria no se explica por qué se realizó esta suposición ni cual fue el criterio que se aplicó para realizar la conversión de la sección real a la sección rectangular.
3.3 ¿Se presentan las cargas aplicadas para el análisis estructural?	Sí	
3.4 ¿Se indican las condiciones de apoyo de la estructura?	Sí	
3.5 ¿Se indican los parámetros de diseño sísmico?	Sí	
3.6 ¿Se presentan esquemas que describan la geometría de la estructura analizada (en planta, sección y elevación)?	Sí	Se incluyen figuras del modelo estructural que muestran la geometría de la estructura.
3.7 ¿Se presentan los datos de salida del análisis estructural utilizados en el diseño del elemento (combinaciones de carga más desfavorables)?	Sí	



Requerimiento especificado en el contrato	Cumplimiento	Comentarios
3. Requerimientos con respecto a programas de computadora (cont.):		
3.8 ¿Los datos de salida del análisis estructural se presentan de forma clara, precisa, lógica y ordenada?	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> - En el caso del modelo de la superestructura, se muestran datos de salida para combinaciones de carga denotadas como "pp", "cm", "cp", "sc", y no se dice explícitamente qué representan. - A lo largo la memoria se utilizan principalmente unidades del sistema internacional, pero en ocasiones se utilizan otras unidades (ton, kg/cm²). En el caso de los datos de salida del análisis estructural incluidos en el cuerpo de la memoria, no se indica explícitamente la unidad en la que se muestran los datos, lo cual dificulta el seguimiento. - En el caso de los datos del análisis de los pilotes, el momento de diseño y la combinación de carga crítica que se indican en el texto de la memoria no coinciden con los que se muestran en las figuras. No está claro cuáles son los valores que se usaron para el diseño de estos elementos.
3.9 ¿Se presentan los datos de salida del diseño estructural?	Sí	
3.10 ¿Los datos de salida del diseño estructural se presentan de forma clara, precisa, lógica y ordenada?	Parcialmente	Algunas tablas y figuras correspondientes a los datos de salida del diseño estructural del tablero están repetidas, lo cual dificulta el seguimiento de la información presentada.
3.11 ¿Existe concordancia entre los datos de salida del diseño estructural y el diseño indicado en los planos estructurales?	Parcialmente	<p>Para los siguientes elementos, los planos estructurales indican una mayor área de acero de refuerzo que la que se indica en la memoria de cálculo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La cara interior del muro del Bastión 2. - La cara superior de la placa de cimentación del Bastión 2. - La zona superior de los diafragmas sobre cada bastión.



Requerimiento especificado en el contrato	Cumplimiento	Comentarios
4. Requerimientos con respecto a hojas de cálculo electrónicas:		
4.1 ¿Se presentan las hojas electrónicas de forma ordenada?	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> -Se muestran hojas de cálculo para el diseño de la placa cimentación del Bastión 1 como una placa aislada, cuando en realidad esta cimentación es del tipo placa sobre pilotes. Por lo tanto, la información mostrada no se utiliza y su inclusión dentro de la memoria más bien confunde. -Las hojas de cálculo para el diseño estructural de elementos de la subestructura están en inglés. -A lo largo de la memoria se utilizan principalmente unidades del sistema internacional, pero en ocasiones se utilizan otras unidades (ton, kg/cm²). Hay tablas dentro de las hojas electrónicas para diseño de bastiones donde no se indica explícitamente la unidad de medida que se está utilizando, lo cual dificulta el seguimiento de los cálculos.
4.2 ¿Se incluyen los datos de entrada referentes a las propiedades de los materiales?	Sí	
4.3 ¿Se muestran las secciones transversales y geometría de los elementos estructurales?	Sí	
4.4 ¿Se presentan las cargas aplicadas para el análisis estructural?	Sí	
4.5 ¿Se indican las condiciones de apoyo de la estructura?	Sí	
4.6 ¿Se indican los parámetros de diseño sísmico?	Sí	



Requerimiento especificado en el contrato	Cumplimiento	Comentarios
4. Requerimientos con respecto a hojas de cálculo electrónicas (cont.):		
4.7 ¿Se presentan esquemas que describan la geometría de la estructura analizada (en planta, sección y elevación)?	Sí	
4.8 ¿Se indican las acciones y reacciones que controlan el diseño estructural (respaldadas a través del análisis estructural)?	Sí	
4.9 ¿El proceso de diseño se presenta de forma clara, precisa, lógica y ordenada?	Parcialmente	Las hojas de cálculo completas se incluyen en los apéndices de la memoria, pero no se explica su contenido. A veces es difícil identificar cuál es la información que incluye cada hoja y cómo se realizaron los cálculos.
4.10 ¿Se hace referencia al artículo correspondiente de la norma cada vez que se utiliza una fórmula o tabla específica?	Parcialmente	-Hojas de cálculo para vigas: no se hace referencia a la sección de AASHTO utilizada para el cálculo de la resistencia a flexión y para las comprobaciones de la resistencia a rasante. -Hojas de cálculo para bastiones: en las revisiones de estabilidad no se aclara cómo se calculan los límites de excentricidad ni la resistencia a deslizamiento, tampoco se hace referencia a alguna sección de AASHTO.
4.11 ¿Se identifica claramente la simbología utilizada?	Parcialmente	En algunas hojas electrónicas no se identifica la simbología utilizada. Aunque en ciertos casos es posible deducirla a partir de la información mostrada, en otros casos no queda claro.
4.12 ¿Se incluyen las hojas electrónicas auxiliares para la hoja principal?	Sí	



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Apéndice B.

Listas de verificación para la revisión del procedimiento de diseño del puente sobre el Río Ciruelas con respecto al Apéndice A5 de AASHTO LRFD 2012

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 53 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



Cuadro B.1. Verificación de la calidad del procedimiento de diseño del puente sobre el Río Ciruelas – diseño del tablero

DISEÑO DEL TABLERO [AASHTO A5.3]			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
C.	Diseño convencional de un tablero de concreto reforzado:		
1	¿Se definen todas las cargas permanentes de diseño (DC)? [3.5.1]	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> - En el modelo de análisis estructural de la calzada izquierda no se consideró el peso de la barrera vehicular intermedia. - En el modelo de análisis estructural se aplicó la carga muerta de la carpeta asfáltica por secciones, utilizando un peso mayor al centro y un peso menor hacia los extremos (esto sucede únicamente en el puente sobre el Río Ciruelas). No se explica por qué la carga se aplicó de esta forma. <p>* Para el puente sobre el Río Sardinal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En el modelo estructural se definió el peso propio de las vigas AASHTO tipo V como 11.8 kN/m, que es inferior al peso real de este tipo de viga.
5	¿Se realiza un método aproximado para el análisis estructural del tablero (método de franjas)? [4.6.2.1]	NA	Se usa un método refinado de análisis, los esfuerzos en el tablero fueron obtenidos por medio de un modelo de elemento finito de la superestructura. Para ello se utilizó el programa de análisis estructural CEDRUS-6.
	¿Se verifica la aplicabilidad del método aproximado implementado en el análisis? [4.6.2.1]		
6	¿Se verifica la carga viva vehicular aplicable según el caso de estudio? [3.6.1.3.3]	NA	Se usa un método refinado de análisis, la carga viva vehicular HL-93 se aplica al modelo de elemento finito en diferentes posiciones del tablero. Para diseño se utilizan los esfuerzos correspondientes al caso más crítico.
	¿Se determinan los anchos de franjas equivalentes para aplicar la distribución de la carga viva vehicular? [4.6.2.1.5]		
7	¿Se calcula el acero de refuerzo de distribución requerido en la dirección longitudinal del tablero? [9.7.3.2]	No	En la memoria de cálculo no se explica cómo se obtuvo el acero de refuerzo longitudinal del tablero, lo cual incluye el acero de refuerzo de distribución.



DISEÑO DEL TABLERO [AASHTO A5.3] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
C.	Diseño convencional de un tablero de concreto reforzado:		
8	¿Se aplican los casos de carga necesarios para el diseño del voladizo del tablero? [A13.4.1]	Sí	
	¿Está definido el tipo de barrera vehicular, las propiedades geométricas y las fuerzas de diseño? [13.7.2] [A13.2]	Sí	
	¿Se calcula la resistencia nominal de la barrera vehicular a las cargas transversales por impacto vehicular, las cuales son transmitidas al voladizo? [A13.3.1]	Sí	
	¿Se consideran los criterios para aplicar la carga viva de diseño al voladizo del tablero? [3.6.1.3.1] [3.6.1.3.4]	Sí	
D.	Selección de factores de resistencia:		
1	¿Se definen los factores de resistencia para el estado límite de resistencia? [5.5.4.2.1]	Parcialmente	No se indica cuál fue el factor de resistencia considerado en el diseño por flexión del tablero.
E.	Selección de modificadores de carga:		
1,2,3	¿Se definen los modificadores de carga para el estado límite de resistencia? [1.3.3] [1.3.4] [1.3.5]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan aplicado modificadores de carga. Al ser un puente crítico, el modificador de carga por clasificación operacional (η_I) debe ser 1.05.
F.	Selección de combinaciones y factores de carga:		
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límite a considerar y los factores de carga correspondientes? [3.4.1]	Sí	Se incluyen tablas del programa computacional donde se muestran los estados límite considerados y los factores de carga correspondientes. Se hace referencia a la Tabla 3.4.1-1 de AASHTO.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 55 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



DISEÑO DEL TABLERO [AASHTO A5.3] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
G.	Cálculo de los efectos por carga viva:		
1	¿Se definen las cargas vivas de diseño (LL) que actúan sobre la estructura y el número de carriles de diseño? [3.6.1]	Parcialmente	Se aplica la carga viva vehicular HL-93 considerando un máximo de tres carriles cargados y un mínimo de uno. El ancho total de la calzada izquierda (ignorando la barrera vehicular intermedia) es suficiente como para tener que considerar cuatro carriles cargados, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3.6.1.1.1 de AASHTO.
2	¿Se definen los factores de presencia múltiple a aplicar según el número de carriles cargados? [3.6.1.1.2]	Sí	
3	¿Se define el factor de amplificación dinámica (IM) aplicable al componente y estado límite considerado? [3.6.2]	Sí	
I.	Estado límite de servicio:		
5	¿Se verifica el espaciamiento requerido del acero de refuerzo para el control de agrietamiento? [5.7.3.4]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de que se haya revisado el espaciamiento del acero de refuerzo para cumplir con los criterios de control de agrietamiento.
J.	Estado límite de resistencia:		
1	Flexión:		
1c	¿Se determina la resistencia nominal a flexión del tablero y se comprueba que sea suficiente? [5.7.3.2]	Sí	La revisión de la capacidad del tablero se hace por medio de un análisis seccional con el programa computacional FAGUS.
	¿Se determina la resistencia nominal a flexión negativa del voladizo del tablero y se comprueba que sea suficiente? [5.7.3.2]	Sí	La revisión de la capacidad del voladizo del tablero se hace por medio de un análisis seccional con el programa computacional FAGUS.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 56 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



DISEÑO DEL TABLERO [AASHTO A5.3] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
J.	Estado límite de resistencia:		
1	Flexión:		
1d	¿Se verifican los límites del acero de refuerzo y/o presfuerzo para la resistencia a flexión? [5.7.3.3]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de que se hayan revisado los límites máximo y mínimo para el acero de refuerzo del tablero.
2	Cortante:		
2a	¿Se revisa la capacidad del tablero para resistir cortante?	Sí	
2b (5)	¿Se revisa la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre el tablero y la barrera vehicular? [5.8.4]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de que se haya revisado la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre el tablero y la barrera vehicular.
K.	Revisión del detallado:		
1	¿Se provee el recubrimiento necesario para proteger el acero de refuerzo y/o presfuerzo del tablero? [5.12.3]	Sí	Se cumple con los requerimientos de la Tabla 5.12.3-1 de AASHTO, pero en la memoria de cálculo no se hace referencia a esta tabla o al criterio empleado para elegir el recubrimiento.
2	¿Se calcula la longitud de desarrollo de las barras adicionales colocadas en el voladizo del tablero? [5.11.1.2] [5.11.2.1.1]	No	En la memoria no se muestra el cálculo de la longitud de desarrollo para el acero de refuerzo del voladizo del tablero.
4	¿Se definen los empalmes por traslapo de las barras de acero de refuerzo del tablero? [5.11.5]	Sí	Esta información se muestra en los planos de la estructura.
8	¿Se revisan los límites para el espaciamiento del acero de refuerzo? [5.10.3.1] [5.10.3.2]	No	Se cumple con los requerimientos de AASHTO, pero no se muestra la revisión en la memoria de cálculo.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 57 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



Cuadro B.2. Verificación de la calidad del procedimiento de diseño del puente sobre el Río Ciruelas – diseño de las vigas principales

DISEÑO DE LAS VIGAS PRINCIPALES [AASHTO A5.3]			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
B.	Definición de la sección típica:		
1	Vigas de concreto presforzado:		
1a,1b,1c	¿Se verifica que la sección de la viga utilizada cumpla con los espesores mínimos? [5.14.1.2.2]	Sí	Se utiliza una sección estándar de AASHTO que cumple con los espesores mínimos.
D.	Selección de factores de resistencia:		
1	¿Se definen los factores de resistencia para el estado límite de resistencia? [5.5.4.2.1]	Sí	
E.	Selección de modificadores de carga:		
1,2,3	¿Se definen los modificadores de carga para el estado límite de resistencia? [1.3.3] [1.3.4] [1.3.5]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan aplicado modificadores de carga. Al ser un puente crítico, el modificador de carga por clasificación operacional (η_I) debe ser 1.05.
F.	Selección de combinaciones y factores de carga:		
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límite a considerar y los factores de carga correspondientes? [3.4.1]	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> - Los estados límite de Servicio I y Servicio III no se analizaron para el caso de tres carriles cargados. - Dentro de la combinación de carga Servicio III, el peso del pavimento y el peso de la barrera vehicular están incluidos en dos casos de carga, es decir, podrían estarse aplicando dos veces. Esto se ve reflejado en las fuerzas internas obtenidas, ya que estas son mayores a las de la combinación de carga Servicio I. En la memoria de cálculo no se explica por qué se realizó esta suposición.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 58 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



DISEÑO DE LAS VIGAS PRINCIPALES [AASHTO A5.3] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
G.	Cálculo de los efectos por carga viva:		
1	¿Se definen las cargas vivas de diseño (LL) que actúan sobre la estructura y el número de carriles de diseño? [3.6.1]	Parcialmente	Se aplica la carga viva vehicular HL-93 considerando un máximo de tres carriles cargados y un mínimo de uno. El ancho total de la calzada izquierda (ignorando la barrera vehicular intermedia) es suficiente como para tener que considerar cuatro carriles cargados, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3.6.1.1.1 de AASHTO.
2	¿Se definen los factores de presencia múltiple a aplicar según el número de carriles cargados? [3.6.1.1.2]	Sí	
3	¿Se define el factor de amplificación dinámica (IM) aplicable al componente y estado límite considerado? [3.6.2]	Sí	
4	¿Se calculan los factores de distribución para el momento producido por carga viva? [4.6.2.2.2]	NA	Se usa un método refinado de análisis, los esfuerzos en las vigas fueron obtenidos por medio de un modelo de elemento finito de la superestructura. Para ello se utilizó el programa de análisis estructural CEDRUS-6.
5	¿Se calculan los factores de distribución para el cortante producido por carga viva? [4.6.2.2.3]	NA	
6	¿Se obtienen las reacciones transmitidas por la superestructura hacia la subestructura? [3.6]	Sí	
H.	Cálculo de los efectos por otras fuerzas:		
1	¿Se realiza el cálculo de los efectos de otras fuerzas adicionales, según se requiera?	Sí	-Las otras fuerzas consideradas son: frenado (BR), retracción (SH), flujo plástico (CR), temperatura (TU y TG), viento (WS). -A pesar de que en la memoria se muestra el cálculo de la fuerza de viento (WS), no se explica en cuáles elementos y combinaciones de carga se consideró esta carga.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 59 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



DISEÑO DE LAS VIGAS PRINCIPALES [AASHTO A5.3] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
I.	Estado límite de servicio:		
1	¿Se definen las pérdidas de presfuerzo consideradas en los cálculos? [5.9.5]	Parcialmente	Se indica cuáles fueron las pérdidas de presfuerzo consideradas en el diseño, pero no se muestra cómo se calcularon.
2	¿Se definen los límites de esfuerzos de tensión en los tendones de presfuerzo? [5.9.3]	Sí	
3	¿Se definen los límites de esfuerzos en el concreto antes y después de las pérdidas? [5.9.4]	Sí	
5	¿Se verifica el espaciamiento requerido del acero de refuerzo para el control de agrietamiento? [5.7.3.4]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de que se haya revisado el espaciamiento del acero de refuerzo para cumplir con los criterios de control de agrietamiento.
6	¿Se revisa el estado límite de fatiga, siempre que este sea aplicable? [5.5.3.1]	NA	No es necesario considerar el estado límite de fatiga ya que se cumple con el límite del esfuerzo a tensión en el concreto presforzado para el estado límite Servicio III. Esto no se explica en la memoria de cálculo.
7	¿Se verifica que las deflexiones en las vigas producidas por la carga viva estén dentro de límite establecido? [2.5.2.6.2]	Sí	
J.	Estado límite de resistencia:		
1	Flexión:		
1a, 1b	¿Se calcula el esfuerzo promedio en el acero de presfuerzo, de acuerdo con el tipo de tendón utilizado? [5.7.3.1]	Parcialmente	En las hojas electrónicas mostradas en la memoria no se detalla cómo se realizó este cálculo.
1c	¿Se determina la resistencia nominal a flexión de las vigas principales y se comprueba que sea suficiente? [5.7.3.2]	Parcialmente	Esta información se muestra en las hojas electrónicas incluidas en la memoria, pero no se detalla cómo se realizó el cálculo.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 60 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



DISEÑO DE LAS VIGAS PRINCIPALES [AASHTO A5.3] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
J.	Estado límite de resistencia:		
1d	¿Se verifican los límites del acero de refuerzo y/o presfuerzo para la resistencia a flexión? [5.7.3.3]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de que se hayan revisado los límites máximo y mínimo para el acero de refuerzo y presfuerzo en las vigas.
2	Cortante:		
2b (1)	¿Se obtiene la resistencia nominal a cortante como el menor de los dos valores calculados? [5.8.3.3]	Sí	
2b (2)	¿Se determinan los parámetros β y θ para el cálculo de la resistencia a cortante en la sección considerada? [5.8.3.4]	NA	El cálculo de la resistencia a cortante se realizó por medio del método simplificado para elementos de concreto presfuerzo [5.8.3.4.3].
2b (3)	¿Se verifica que en cada sección del elemento el refuerzo longitudinal colocado es suficiente para resistir la tensión adicional generada por la fuerza cortante? [5.8.3.5]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya realizado esta revisión.
2b (4)	¿Se revisa el límite mínimo permitido para el refuerzo transversal? [5.8.2.5]	Sí	
	¿Se revisa el espaciamiento máximo permitido para el refuerzo transversal? [5.8.2.7]	Sí	
2b (5)	¿Se revisa la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre la viga y el tablero? [5.8.4]	Sí	
K.	Revisión del detallado:		
1	¿Se provee el recubrimiento necesario para proteger el acero de refuerzo y/o presfuerzo de las vigas principales? [5.12.3]	Sí	Se cumple con los requerimientos de la Tabla 5.12.3-1 de AASHTO, pero en la memoria de cálculo no se hace referencia a esta tabla o al criterio empleado para elegir el recubrimiento.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 61 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



DISEÑO DE LAS VIGAS PRINCIPALES [AASHTO A5.3] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
K.	Revisión del detallado:		
3	¿Se revisa la longitud de desarrollo requerida del acero de presfuerzo en las secciones críticas de la viga? [5.11.4]	Sí	
4	¿Se definen los empalmes por traslapo de las barras de acero de refuerzo de las vigas principales? [5.11.5]	Sí	El cálculo y el detalle de las longitudes de traslapo se muestra en los planos de la estructura.
5a	¿Se diseña el refuerzo para las zonas de anclaje en la viga para el acero postensado? [5.10.9]	Sí	
6	¿Se indica en los cálculos el material y el tamaño del ducto, así como la configuración del perfil dentro de la viga? [5.4.6]	Parcialmente	No se muestra información sobre el material del ducto que fue considerado en el diseño.
7a	¿Se considera en el diseño el acero de refuerzo transversal para confinamiento de los tendones de acero postensado? [5.10.4.3]	Sí	
8	¿Se verifican los límites para el espaciamiento del acero de refuerzo convencional de la viga? [5.10.3.1] [5.10.3.2]	No	En la memoria no se muestra información sobre el acero de refuerzo convencional colocado en el sentido longitudinal de la viga.
	¿Se verifican los límites para el espaciamiento de los ductos de postensado dentro de la viga? [5.10.3.3.2]	Sí	Se cumple con los requerimientos de AASHTO, pero esta comprobación no se muestra en la memoria.
10	¿Se muestran los cálculos y consideraciones para el diseño de los elementos secundarios (diafragmas)? [5.13.2.2]	Parcialmente	No se detalla el cálculo para el diseño de los diafragmas intermedios.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 62 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



Cuadro B.3. Verificación de la calidad del procedimiento de diseño del puente sobre el Río Ciruelas – diseño de la subestructura

DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA [AASHTO A5.5]			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
A.	Longitud de asiento mínima:		
1	¿Se verifica la longitud de asiento mínima de las vigas sobre los bastiones? [4.7.4.4]	Sí	
B.	Cálculo de los efectos de fuerzas no calculados para la superestructura:		
1	¿Se analiza el efecto de la carga de viento sobre la estructura (WS)? [3.8]	Parcialmente	En la memoria se muestra el cálculo de la fuerza de viento (WS), pero no se explica para cuáles elementos y combinaciones de carga se consideró esta carga.
2	¿Se analiza el efecto del agua (WA) sobre la subestructura? [3.7]	NA	Los planos de la estructura muestran un sistema de drenaje detrás del bastión, por lo que no es necesario considerar las presiones hidrostáticas en el diseño estructural del muro [11.6.6].
5	¿Se analiza el efecto de la fuerza de sismo (EQ) y los requerimientos mínimos de diseño? [3.10] [4.7.4]	Sí	Las aceleraciones utilizadas en los cálculos se obtienen a partir del estudio de amenaza sísmica. El puente se considera como un puente crítico, por lo que se usa un factor de importancia operacional de 1.25.
6	¿Se analiza el efecto de las fuerzas inducidas por deformación térmica (TU, TG)? [3.12.2]	Sí	
7	¿Se considera dentro del análisis el efecto de otras fuerzas inducidas por deformaciones superpuestas? [3.12.4] [3.12.5] [3.12.7]	Sí	Se consideran los efectos por retracción (SH) y flujo plástico (CR) del concreto.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 63 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA [AASHTO A5.5] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
B.	Cálculo de los efectos de fuerzas no calculados para la superestructura:		
10	¿Se incluye la fuerza de frenado en las consideraciones de la carga vehicular (BR)? [3.6.4]	Sí	
12	¿Se establecen las presiones laterales del suelo (EH) que actúan sobre los bastiones? [3.11.5]	Sí	En la memoria se indica que el cálculo de las presiones laterales del suelo se realiza según la teoría de Coulomb, pero en realidad se utiliza la teoría de Rankine.
	¿Se analiza el efecto de una sobrecarga sobre el material retenido detrás de los bastiones (ES, LS)? [3.11.6]	Sí	Se considera una sobrecarga de 10 kN/m ² en el relleno detrás de los bastiones, pero no se explica cómo se calculó este valor ni la sección de AASHTO que usó como referencia. Tampoco está claro si corresponde a una sobrecarga permanente (ES) o a una sobrecarga por carga viva (LS).
C.	Análisis de la estructura y combinaciones de carga:		
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límite a considerar y los factores de carga correspondientes? [3.4.1]	Parcialmente	- No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan aplicado modificadores de carga. - La combinación de carga de evento extremo considerada se muestra con un factor de carga γ_{EQ} distinto en diferentes secciones de la memoria de cálculo ($\gamma_{EQ}=0.00$ en el cuerpo de la memoria y $\gamma_{EQ}=0.25$ en los apéndices). No queda claro cuál fue el valor utilizado para diseño.
2	¿Se consideran las combinaciones de los efectos por fuerza de sismo en las dos direcciones perpendiculares de la estructura? [3.10.8]	Sí	

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 64 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA [AASHTO A5.5] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
D.	Diseño de elementos a compresión:		
	Pilotes:		
1	¿Se determina la resistencia axial factorizada de los pilotes y se comprueba que sea suficiente? [5.7.4.4]	Sí	Las fuerzas de diseño en los pilotes fueron obtenidas por medio de un modelo de barras de la cimentación en el programa computacional STATIK6. La revisión de la capacidad de los pilotes a flexocompresión se hace por medio de un análisis seccional con el programa computacional FAGUS.
2	¿Se revisa que los pilotes tengan capacidad suficiente para resistir los momentos de diseño en las dos direcciones principales de la estructura? [5.7.4.5]	Sí	
4	¿Se diseña el refuerzo transversal de los pilotes y se toma en cuenta los requerimientos sísmicos que apliquen? [5.7.4.6]	No	En la memoria no se explica cómo fue diseñado el acero de refuerzo transversal de los pilotes.
6	¿Se verifican los límites para el acero de refuerzo longitudinal de los pilotes? [5.7.4.2]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya realizado esta revisión.
	Apoyos:		
7	¿Se verifica la resistencia factorizada en la zona de los elementos de apoyos? [5.7.5]	No	Se utiliza refuerzo de confinamiento en la zona bajo los apoyos. En la memoria no se muestran los cálculos para el diseño de este refuerzo.
	¿Se realiza el diseño de los apoyos para las cargas y desplazamientos calculados? [14.4] [14.7]	Sí	Los apoyos se diseñan por medio del Método A [14.7.6].

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 65 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA [AASHTO A5.5] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
E.	Diseño de bastiones y cimentaciones (consideraciones estructurales):		
2	Cimentaciones superficiales (placa aislada):		
	¿Se realiza el diseño por flexión de la placa de cimentación para el momento de diseño calculado en la sección crítica correspondiente? [5.13.3.4]	Sí	
	¿Se realiza el diseño por cortante de la placa de cimentación para la fuerza cortante de diseño calculada en la sección crítica correspondiente? [5.13.3.6]	Sí	
	¿Se revisa la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre el muro y la placa de cimentación? [5.13.3.8] [5.8.4]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de que se haya revisado la transferencia de cortante en el plano de contacto ente el muro y la placa de cimentación.
3	Bastiones (muro en voladizo):		
	¿Se considera el efecto de las fuerzas inerciales y presiones laterales ocasionadas por sismo para el estado límite Evento Extremo I? [11.6.5]	Sí	
	¿Se revisan las condiciones de asentamiento y estabilidad global del muro para el estado límite de servicio? [11.6.2]	No	No hay evidencia dentro de la memoria de que se haya revisado el asentamiento y la estabilidad global del muro para el estado límite de servicio.
	¿Se revisa la capacidad de soporte del suelo para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.3.2]	Sí	

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 66 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------



DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA [AASHTO A5.5] – (cont.)			
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios
E.	Diseño de bastiones y cimentaciones (consideraciones estructurales):		
3	Bastiones (muro en voladizo):		
	¿Se revisa que la excentricidad del muro esté dentro del límite permitido para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.3.3]	Parcialmente	Se hace la revisión de excentricidad, pero no se indica cómo se calcula la excentricidad ni el valor límite considerado.
	¿Se analiza la estabilidad del muro ante deslizamiento para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.3.6]	Parcialmente	-Se revisa la estabilidad ante deslizamiento, pero en la memoria no se indica cómo se obtuvo la resistencia al deslizamiento considerada en la revisión. -La base de la placa de cimentación cuenta con una llave de cortante, pero no se detalla cuál es la resistencia al deslizamiento que aporta ni se explica por qué este elemento es necesario.
	¿Se diseña el muro contra la falla estructural generada por momentos y cortantes máximos para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.4]	Sí	
	¿Se diseña el refuerzo longitudinal del muro para resistir la formación de grietas por retracción y temperatura? [11.6.1.5] [5.10.8]	Parcialmente	En la memoria se muestra el diseño del refuerzo de retracción y temperatura, pero el límite superior que establece AASHTO (igual a 1270 mm ² /m) fue interpretado más bien como un límite inferior. Por lo tanto, la cantidad de acero de refuerzo colocado en la dirección longitudinal (#6 @0.20 m) excede el límite superior indicado en AASHTO.

Informe LM-PIE-08-2021	Fecha de emisión: Febrero, 2021	Página 67 de 67
------------------------	---------------------------------	-----------------