



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe EIC-Lanamme-INF-1656-2023

**Revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del proyecto
Diseño y Construcción del Paso a desnivel de Hatillo 4 en
Ruta Nacional n.º 39**



Preparado por:

Unidad de Puentes

Programa de Ingeniería Estructural

Documento generado con base en el art. 6, inciso b) de la Ley 8114 y lo señalado en el cap. 7, art. 68 del Decreto DE-37016-MOPT: Reglamento al artículo 6 de la Ley 8114

San José, Costa Rica
20 de noviembre de 2023



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Página intencionalmente dejada en blanco



1. Informe: EIC-Lanamme-INF-1656-2023		2. Copia N°: 1
3. Título: REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PASO A DESNIVEL DE HATILLO 4 EN RUTA NACIONAL N.º 39		4. Fecha del Informe: 20 de noviembre, 2023
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		
6. Notas complementarias Ninguna		
7. Resumen Dentro del presente informe de revisión documental, se revisa la memoria de cálculo de diseño estructural del nuevo Paso a desnivel de Hatillo 4, en la Ruta Nacional No. 39. El proyecto consiste en la construcción de una estructura de cuatro tramos, con apoyos fijos y expansivos, de 32,99 m cada uno, para una longitud total de 131,95 m. La estructura cuenta con superestructura de tipo viga de concreto presforzado, bastiones tipo cabezal sobre pilotes y pilas tipo columna múltiple. Para realizar la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del proyecto en análisis, se utilizaron tres listas de verificación. Con la primera lista, se revisó el cumplimiento de los requerimientos especificados en el cartel de licitación; con la segunda, el procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas; con la tercera, el procedimiento de diseño estructural para cargas de sismo. 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, Paso a desnivel, Ruta Nacional No.39, Circunvalación, diseño estructural de Paso a desnivel, Hatillo 4.		9. N.º de páginas 78
10. Elaborado por: Ing. Alexander Oviedo Campos Unidad de Puentes Programa de Ingeniería Estructural	11. Revisado por: Ing. Daniel Johanning Cordero Unidad de Puentes Programa de Ingeniería Estructural	12. Revisado y aprobado por: Ing. Julián Trejos Villalobos Coordinador Unidad de Puentes y Coordinador a.i. del Programa de Ingeniería Estructural
13. Revisión legal por: Asesoría Legal LanammeUCR		



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Página intencionalmente dejada en blanco



Resumen ejecutivo

Como parte de las competencias de fiscalización de la Red Vial Nacional que la Ley 8114 le asigna al LanammeUCR, la Unidad de Auditoría Técnica solicitó al Programa de Ingeniería Estructural la revisión de la memoria de cálculo de diseño estructural del proyecto *Diseño y construcción: Viaducto sobre Ruta Nacional 39 en Hatillo 4*.

Para realizar la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del proyecto en análisis, se utilizaron tres listas de verificación. Con la primera lista, se revisó el cumplimiento de los requerimientos especificados en el cartel de licitación; con la segunda, el procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas; con la tercera, el procedimiento de diseño estructural del Paso a desnivel para cargas de sismo.

A partir de la evaluación realizada, se destaca que el procedimiento mostrado en la memoria de cálculo de diseño del Paso a desnivel por construir cumple en un **76,5 %** con los requerimientos de la normativa vigente y del cartel de licitación del proyecto. A continuación, se resumen los hallazgos detectados que requieren de una atención inmediata:

- Se detectaron inconsistencias entre los datos de salida del diseño estructural y el diseño indicado en los planos estructurales. En específico se destacan los siguientes casos en los que los detalles constructivos se presentan con menor resistencia a la establecida en la memoria de cálculo:
 1. Viga cabezal de las pilas: En la memoria de cálculo se consideraron 6 varillas #4 como parte del refuerzo para momento negativo, pero estas no se muestran en los planos.
 2. Losa de fundación de pilas: En la memoria de cálculo se indica un refuerzo de varilla #6 a cada 12,5 cm, pero en los planos se detallan a cada 25 cm.
 3. En la memoria de cálculo se consideró un recubrimiento de 4 cm, pero en planos se indica uno de 5 cm. Por lo tanto, se solicita al contratista realizar las aclaraciones respectivas en la memoria de cálculo y/o los planos estructurales, ya que esto incide en el cálculo de la capacidad de resistencia a flexión del elemento.



- No se encontró evidencia de la consideración de los efectos por impacto vehicular en los elementos de la subestructura, según el artículo 3.6.5 de AASHTO LRFD; tampoco se justificó el motivo de no haberlos considerado.
- No se adjuntó la revisión de requerimientos de capacidad $P-\Delta$ considerando los desplazamientos inelásticos de la estructura, como se solicita según AASHTO LRFD sección 4.7.4.5.
- Tanto en la memoria de cálculo como en los planos estructurales aportados por el Contratista, el espaciamiento del refuerzo transversal en los extremos superior e inferior de las columnas de las pilas (150 mm), correspondientes a las zonas de rótulas plásticas, sobrepasa el espaciamiento máximo permitido según el artículo 5.11.4.1.5 de AASHTO LRFD (100 mm) para un buen desempeño de la estructura ante sollicitaciones sísmicas.
- En los planos estructurales aportados por el Contratista, no se incluyó una nota general que prohíba realizar empalmes del acero de refuerzo en las regiones de rótula plástica de las columnas, esto con tal de asegurar el cumplimiento del artículo 5.11.4.1.6 de AASHTO LRFD para un buen desempeño de la estructura ante sollicitaciones sísmicas.

Al respecto, se hacen las siguientes recomendaciones dirigidas a la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR:

- Recomendar a la Administración que solicite al Contratista una alternativa de diseño donde se hayan corregido los hallazgos de atención inmediata o, en su defecto, una justificación de los criterios adoptados con respecto a estos hallazgos con la debida aprobación de la Administración.
- Recomendar a la Administración que solicite a la empresa diseñadora la información faltante y aclaraciones necesarias que permitan verificar el cumplimiento de los requerimientos de la normativa aplicable.
- Se considera apropiado recomendar a la Administración que, en los documentos contractuales de futuros proyectos de diseño de puentes, solicite específicamente la entrega de un plan de control y aseguramiento de la calidad.



Página intencionalmente dejada en blanco



Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo	5
1. Introducción	10
2. Objetivos	12
2.1. Objetivo general	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. Antecedentes	13
4. Alcance de la revisión	17
5. Metodología	18
6. Resultados y análisis de la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del proyecto Paso a desnivel de Hatillo 4	20
6.1. Revisión con respecto a los requerimientos del cartel de licitación	20
6.2. Revisión del procedimiento de diseño estructural del Paso a desnivel para cargas no sísmicas	23
6.3 Revisión del procedimiento de diseño sismorresistente del Paso a desnivel	27
6.4 Resumen de los resultados de la revisión.....	31
7. Conclusiones	34
8. Recomendaciones	37
8. Referencias	39
Apéndice A. Lista de verificación para la revisión del procedimiento de diseño del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39 con respecto a los requerimientos del cartel de licitación	41



EIC-Lanamme-INF-1656-2023	Fecha: 20 de noviembre de 2023	Página 9 / 78
---------------------------	--------------------------------	---------------

Apéndice B. Lista de verificación para la revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39..... 49

Apéndice C. Lista de verificación para la revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39..... 67



1. Introducción

El proyecto *Diseño y construcción: Viaducto sobre Ruta Nacional 39 en Hatillo 4*, de ahora en adelante denominado como proyecto Paso a desnivel de Hatillo 4, consiste en la construcción de un puente compuesto por cuatro tramos de 32,98 m cada uno, para un total de 131,60 m de luz. La estructura cuenta con superestructura tipo viga de concreto presforzado y una subestructura conformada por dos bastiones tipo cabezal sobre pilotes y tres pilas tipo columna múltiple, todas de concreto reforzado.

Como parte de las competencias de fiscalización de la Red Vial Nacional que la Ley 8114 le asigna al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) solicitó al Programa de Ingeniería Estructural (PIE) la revisión de la memoria de cálculo de diseño estructural del proyecto Paso a desnivel de Hatillo 4, según consta en el correo electrónico remitido por el Ing. Francisco Fonseca con fecha 16 de octubre de 2023. Esta revisión se centró en evaluar el cumplimiento de los requerimientos del diseño estructural establecidos en el cartel de licitación del proyecto y en la normativa vigente. Adicionalmente, se verificó si la información incluida en la memoria de cálculo se presenta de forma clara, congruente y ordenada, de manera que pueda ser seguida por un revisor externo especializado.

La revisión efectuada es relevante para garantizar el uso adecuado de la normativa técnica, así como la consistencia de la memoria de cálculo con los planos constructivos y las especificaciones técnicas. Además, permite detectar posibles errores u omisiones en el procedimiento de diseño estructural, con el fin de comunicarlos oportunamente a la Administración.

Para realizar la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del proyecto en estudio, se emplearon tres listas de verificación. Con la primera lista, se revisó el cumplimiento de los requerimientos especificados en el cartel de licitación; con la segunda, el procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas, según los requerimientos establecidos en la especificación de diseño AASHTO LRFD (AASHTO, 2017); con la tercera, el procedimiento de diseño estructural del Paso a desnivel para cargas de sismo, según los requerimientos de los



Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (CFIA, 2013) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017). A partir de la evaluación realizada con las listas de verificación, se presentan conclusiones y recomendaciones técnicas dirigidas a la Administración.



2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el cumplimiento de la memoria de cálculo de diseño estructural del Paso a desnivel perteneciente al proyecto Paso a desnivel de Hatillo 4 con respecto a las disposiciones contractuales y la normativa aplicable, mediante el uso de listas de verificación, a fin de comunicar a la Administración los posibles errores y omisiones.

2.2. Objetivos específicos

- a. Verificar el cumplimiento de los requerimientos del cartel de licitación del proyecto en la memoria de cálculo de diseño estructural.
- b. Revisar la aplicación correcta y completa de la normativa vigente referente a cargas sísmicas y no sísmicas en la memoria de cálculo de diseño estructural.
- c. Verificar la claridad, congruencia y orden del contenido de la memoria de cálculo de diseño estructural.
- d. Presentar conclusiones y recomendaciones con base en las observaciones realizadas.



3. Antecedentes

El proyecto del Paso a desnivel de Hatillo 4 se desarrolla en la provincia de San José, en el cantón central de San José, en el distrito de Hatillo. Este proyecto surge a raíz de la necesidad de mejoramiento de la circulación vehicular en el anillo de Circunvalación en la Gran Área Metropolitana para eliminar el semáforo que existe actualmente en la intersección de la Calle Costa Rica con la Ruta Nacional n.º 39.

El proyecto Paso a desnivel de Hatillo 4 se licitó por medio de la contratación del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) con la identificación 2019LN-000019-0006000001. El documento de requerimientos del cartel de licitación de dicha contratación (CONAVI, 2019), en su capítulo II, establece las condiciones específicas para cada una de las etapas del proyecto: (I) anteproyecto de oferta, (II) diseño y (III) construcción. Como parte de la etapa de diseño del proyecto, el Contratista debía entregar los siguientes 4 informes:

- Informe de avance n.º 1: Estudios básicos
- Informe de avance n.º 2: Anteproyecto de diseño
- Informe de avance n.º 3: Diseño final, planos y especificaciones
- Informe final: Planos finales, sumario de cantidades y presupuesto.

Según lo establecido en el cartel de licitación, el informe de avance n.º 3 debía incluir la realización del diseño estructural del Paso a desnivel, el diseño geométrico final y la elaboración de los planos constructivos y de las especificaciones técnicas. Adicionalmente, en la sección 4.4.1 del capítulo II del cartel, se establece una serie de requerimientos específicos para las memorias de cálculo estructurales (CONAVI, 2019), los cuales se tomaron en cuenta para la revisión realizada en este informe.

El diseño y la construcción del proyecto fueron adjudicados a la empresa constructora MECO en el año 2022, de ahora en adelante denominado como Contratista. El 12 de octubre del 2023, el CONAVI compartió con el LanammeUCR, por solicitud de la UAT, la documentación correspondiente al informe de avance n.º 3 que les había entregado el Contratista, específicamente la memoria de cálculo estructural y los planos, en su versión final.



De acuerdo con la propuesta del Contratista, el Paso a desnivel por construir consiste en una superestructura de cuatro tramos de 32,98 m cada uno, las cuales se componen de vigas tipo bulbo de concreto presforzado, y cuenta con 5 subestructuras: dos bastiones tipo cabezal sobre pilotes y tres pilas tipo columna múltiple con una cimentación de profunda, todas de concreto reforzado. Adicionalmente, se destaca que el Paso a desnivel presenta condiciones de curvatura, debido a que la Administración estableció esta condición de previo en el contrato.

En la Tabla 1, se presenta un resumen de las características generales del Paso a desnivel. Adicionalmente, las Figuras 1, 2 y 3 muestran diferentes vistas de los componentes del Paso a desnivel.

Tabla 1

Características generales del Paso a desnivel de Hatillo 4.

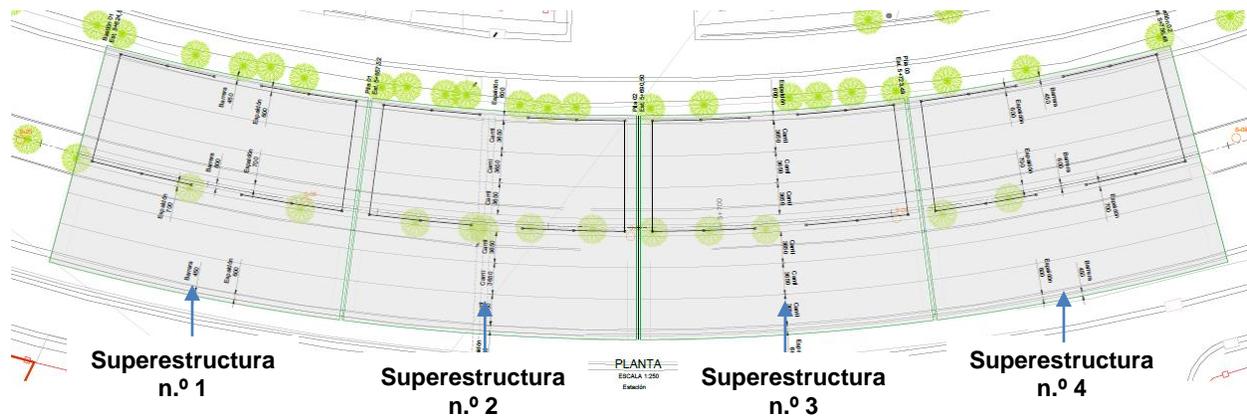
Geometría	Longitud total (m)	131,95
	Ancho total (m)	26,00
	Número de tramos	4
	Alineación del puente	Curvo
Superestructura	Número de superestructuras	4
	Tipo de superestructura (elementos principales)	Tramos 1, 2, 3 y 4: viga tipo bulbo de concreto presforzado
	Tipo de tablero	Tablero de concreto reforzado
Subestructura	Número de bastiones y pilas	2 bastiones; 3 pilas
	Tipo de bastiones	Viga cabezal sobre pilotes
	Tipo de pilas	Columna múltiple de concreto reforzado
	Tipo de apoyo en bastiones	Bastión n°.1: Apoyo fijo Bastión n°.2: Apoyo móvil
	Tipo de apoyo en pilas	Pila n°1, 2 y 3: Apoyo fijo.
	Tipo de cimentación	Bastiones y pilas: Profunda (Pilotes)

Nota. Adaptado de MECO (2023b).



Figura 1

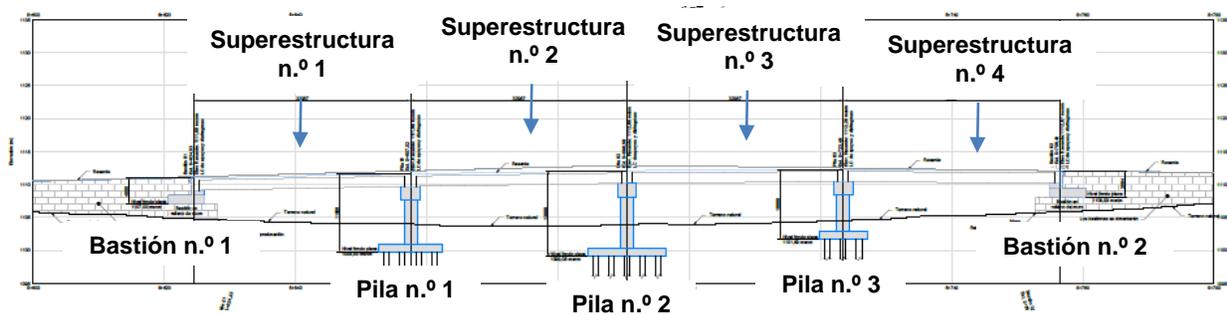
Vista en planta del Paso a desnivel de Hatillo 4, en la Ruta Nacional n.º 39



Nota. Modificado a partir de MECO (2023b).

Figura 2

Vista en elevación del Paso a desnivel de Hatillo 4, en la Ruta Nacional n.º 39

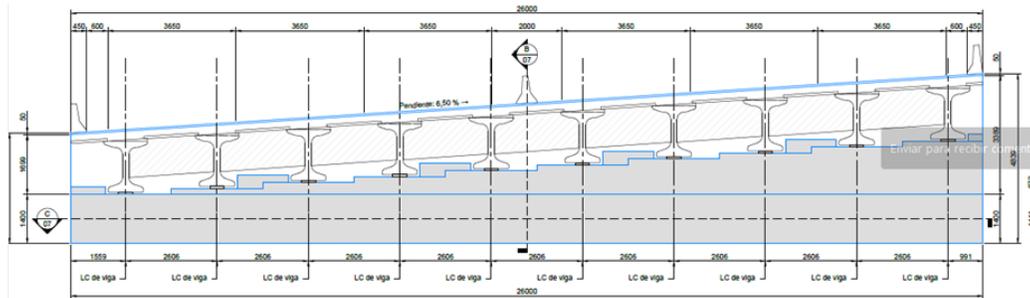


Nota. Modificado a partir de MECO (2023b).



Figura 3

Sección transversal del Paso a desnivel de Hatillo 4, en la Ruta Nacional n.º 39



Nota. Modificado a partir de MECO (2023b).

En lo que respecta a normativa, el cartel de licitación (CONAVI, 2019) establece que el Contratista debía realizar todas las actividades de conformidad con las normas y los manuales vigentes; por lo tanto, estos deben ser considerados en la revisión de la memoria de cálculo. Aunque la lista de normas y manuales incluida en el cartel es extensa, para efectos de este informe, se destacan dos documentos relacionados con el diseño estructural, los cuales se describen a continuación:

- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 8th Edition (AASHTO, 2017)¹: Contiene las especificaciones para el diseño, evaluación y rehabilitación de puentes vehiculares por el método LRFD. En la sección 3, se establecen todas las cargas de diseño, factores y combinaciones de carga para el diseño de puentes nuevos; en la sección 4, se establecen todos los requerimientos de análisis y modelado de las estructuras; en la sección 5, se indican todos los requerimientos para estructuras de concreto; en las secciones 10 y 11, se incluye todo lo relacionado con subestructuras. También se considera aplicable la sección 3.10, relacionada con cargas de sismo. Para efectos de este informe, se referirá a esta normativa como AASHTO LRFD.
- Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (CFIA, 2013): Establece los requisitos mínimos para el análisis, diseño y rehabilitación sismorresistente de puentes que se construyan en Costa Rica. Para efectos de este informe, se referirá a esta normativa como LDSRP.



4. Alcance de la revisión

Este informe presenta los resultados de la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del Paso a desnivel de Hatillo 4. Dentro de la memoria de cálculo del diseño estructural que aportó el Contratista, se revisaron específicamente los siguientes aspectos:

- Cumplimiento de los requerimientos del cartel de licitación del proyecto.
- Cumplimiento de los requerimientos de diseño estructural de puentes establecidos en el documento *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (AASHTO, 2017).
- Cumplimiento de los requerimientos de diseño sismorresistente de puentes establecidos en los documentos: *Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes* (CFIA, 2013) y *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (AASHTO, 2017).
- Claridad para dar seguimiento al procedimiento de diseño mostrado en la memoria de cálculo.
- Coincidencia entre los planos constructivos y los resultados obtenidos en las memorias de cálculo.
- Justificación de las suposiciones tomadas por el Contratista.
- Indicación del nombre y número de carné de los profesionales responsables del diseño estructural, así como de los responsables de la revisión independiente del diseño.

Por otro lado, quedaron fuera del alcance de la revisión los siguientes aspectos:

- La comprobación de la exactitud de los cálculos realizados en la memoria de cálculo.
- La revisión detallada de los planos estructurales del Paso a desnivel, los cuales se utilizaron solamente como material de soporte en el momento de revisar la memoria de cálculo.



5. Metodología

Se desarrollaron tres listas de verificación para revisar el procedimiento de diseño estructural mostrado en la memoria de cálculo. Este tipo de herramienta permite revisar, de manera sistemática, el cumplimiento de los requerimientos establecidos tanto en los documentos contractuales como en la normativa técnica aplicable. A continuación, se describen las listas que fueron desarrolladas y su aplicación en la revisión de la memoria:

1. La primera lista de verificación se elaboró con base en los requerimientos especificados en el cartel de licitación con respecto al diseño estructural, y se utilizó para revisar el cumplimiento de la memoria de cálculo de dichos requerimientos. En el Apéndice A de este informe, se muestra la lista de verificación aplicada al proyecto de Paso a desnivel de Hatillo 4.
2. La segunda lista de verificación se elaboró con base en el Apéndice A5 de la especificación AASHTO LRFD 2017 (AASHTO, 2017), el cual contiene el procedimiento general y las consideraciones mínimas por seguir para el diseño estructural de puentes de concreto reforzado y concreto presforzado. Esta lista se utilizó para revisar el procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas. En el Apéndice B de este informe, se muestra la lista de verificación al proyecto de Paso a desnivel de Hatillo 4.
3. La tercera lista de verificación se elaboró con base en los requerimientos para diseño sismorresistente de puentes establecidos en los LDSRP (CFIA, 2013) y la especificación AASHTO LRFD 2017 (AASHTO, 2017). Esta lista se utilizó para revisar el procedimiento de diseño estructural para cargas de sismo. En el Apéndice C de este informe, se muestra la lista de verificación al proyecto de Paso a desnivel de Hatillo 4.

Las listas de verificación descritas anteriormente se utilizaron para determinar el grado de cumplimiento del procedimiento de diseño con respecto a cada uno de los criterios considerados. Cada criterio se calificó y se le asignó una puntuación seleccionando una de tres posibles valoraciones, las cuales se muestran en la Tabla 2. En caso de ser necesario, se hicieron observaciones específicas con respecto a la evaluación de cada criterio.



Tabla 2

Valoraciones y puntuaciones consideradas en la calificación de los criterios de las listas de verificación

Valoración	Descripción	Puntuación asignada
Sí	El criterio se cumple en su totalidad.	1 punto
Parcialmente	Se cumplen algunos aspectos del criterio, pero otros no.	0,5 puntos
No	El criterio no se cumple del todo.	0 puntos

Con base en la escala de puntuación mostrada en la Tabla 2, se obtuvo un puntaje total para cada una de las listas de verificación, a fin de obtener el porcentaje de cumplimiento de la memoria de cálculo. Para ello, el puntaje total obtenido se dividió entre el puntaje máximo por el que se puede optar, el cual coincide con la cantidad total de criterios evaluados en cada una de las listas. De la misma manera, se obtuvo el porcentaje de cumplimiento global de la memoria de cálculo, considerando los puntajes de todos los criterios evaluados con las tres listas de verificación.

Las observaciones más importantes y el porcentaje de cumplimiento obtenidos a partir de esta evaluación se presentan en la sección 6 del presente informe. Adicionalmente, en los apéndices, se pueden consultar las listas completas con la puntuación asignada a cada criterio.



6. Resultados de la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del proyecto Paso a desnivel de Hatillo 4

En esta sección, se presenta un resumen de las observaciones más importantes que fueron identificadas a partir de la revisión del procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del diseño estructural del Paso a desnivel de Hatillo 4, al utilizar cada una de las 3 listas mencionadas en la sección 5 de este informe. Los resultados de la evaluación con la primera lista, que trata sobre el cumplimiento del proceso de diseño del Paso a desnivel con respecto a los requerimientos del cartel de licitación, se presentan en la sección 6.1; los de la segunda lista, sobre la revisión del diseño estructural del Paso a desnivel para cargas no sísmicas, en la sección 6.2; y los de la tercera lista, sobre la revisión del análisis y diseño estructural del Paso a desnivel para cargas de sismo, en la sección 6.3.

Cada una de las secciones mencionadas incluye una tabla que contiene el resumen de la evaluación aplicada; Posteriormente, se analizan las principales observaciones detectadas, las cuales se subdividen, según el impacto que tienen en el proyecto, en las siguientes categorías de importancia: (I) conformidad del diseño estructural; (II) completitud de la información; (III) presentación y orden de la información.



6.1. Revisión con respecto a los requerimientos del cartel de licitación

La Tabla 3 presenta el resumen de la revisión del proceso de diseño estructural del Paso a desnivel por construir con respecto a los requerimientos del cartel de licitación. La lista de verificación empleada se puede consultar, de forma detallada, en el Apéndice A del presente documento. Se puede observar que el porcentaje de cumplimiento general obtenido a partir de esta revisión fue de **85,9%**.

Tabla 3

Revisión del proceso de diseño del Paso a desnivel a construir contra los requerimientos del cartel de licitación

Requerimiento especificado en el cartel/contrato	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	Porcentaje de cumplimiento
Requerimientos generales del diseño	3	3	100,0 %
Requerimientos generales de la memoria de cálculo	11,5	16	78,11 %
Requerimientos con respecto a programas de computadora	8,5	9	94,4 %
Requerimientos con respecto a hojas de cálculo electrónicas	10,5	11	95,5 %
Total:	33,5	39	85,9 %

Nota. Los resultados detallados correspondientes a esta tabla se encuentran en el Apéndice A.

A continuación, se presentan las principales observaciones obtenidas a partir del análisis de la memoria de cálculo, las cuales se separan en categorías según el impacto que podrían tener en el proyecto.

A. Observaciones con respecto a la conformidad del diseño estructural:

6.A.1. Se detectaron inconsistencias entre los datos de salida del diseño estructural mostrados en la memoria de cálculo y el diseño indicado en los planos estructurales. Los casos específicos en los que esto ocurre se detallan en las secciones 6.2 y 6.3 del presente informe.



B. Observaciones con respecto a la completitud de la información

- 6.B.1. No se observó que se realizara una revisión de las vibraciones en la superestructura, según se solicita en el cartel de licitación en el inciso 4.4.1. ii del cartel de licitación, y tampoco se adjunta la respectiva justificación del por qué esta no se realiza.
- 6.B.2. Para el diseño de los bloques sísmicos, no se mostraron diagramas con las dimensiones propuestas de la geometría final que solicita el inciso 4.4.1. ii del cartel de licitación.

C. Observaciones con respecto a la presentación y orden de la información

- 6.C.1. La información presentada en la memoria no siguió un orden lógico, según indica el cartel de licitación en el inciso 4.4.1.ii, pues se muestran los cálculos de los elementos de la subestructura antes de mostrar los cálculos de los elementos de la superestructura. Lo correcto es que el orden de la memoria coincida con el flujo que presentan las cargas desde la superestructura hacia la cimentación.
- 6.C.2. En los cálculos de las pilas, la viga cabezal del bastión y las cimentaciones, no se indica la referencia a los artículos correspondientes de la norma, según se solicita en el inciso 4.4.1.ii del cartel de licitación, lo cual dificulta el seguimiento del procedimiento de diseño.



6.2. Revisión del procedimiento de diseño estructural del Paso a desnivel para cargas no sísmicas

La Tabla 4 presenta el resumen de la revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas no sísmicas del Paso a desnivel. La lista de verificación empleada se puede consultar, de forma detallada, en el Apéndice B del presente documento. Se puede observar que el porcentaje de cumplimiento general obtenido a partir de esta revisión fue de **74,3%**.

Tabla 4.

Porcentaje de cumplimiento del procedimiento de diseño estructural del Paso a desnivel según AASHTO LRFD (AASHTO, 2017)

Pasos generales del procedimiento de diseño estructural	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	Porcentaje de cumplimiento
Diseño del tablero [AASHTO A5.3]	24,5	30	81,7 %
Diseño de la superestructura [AASHTO A5.3]	33,5	42	79,8 %
Diseño de la subestructura [AASHTO A5.5]	24,5	39	62,8 %
Total:	82,5	111	74.3 %

Nota. Los resultados detallados correspondientes a esta tabla se encuentran en el Apéndice B.

A continuación, se presentan las principales observaciones obtenidas a partir del análisis de la memoria de cálculo, las cuales se separan en categorías según el impacto que podrían tener en el proyecto. Con el propósito de hacer referencia a las observaciones en otras secciones del informe, se da continuidad a la identificación con letras iniciada en la sección 6.1.

D. Observaciones con respecto a la conformidad del diseño estructural

6.D.1. Se detectaron inconsistencias entre los datos de salida del diseño estructural y el diseño indicado en los planos estructurales como se destaca en los siguientes casos:

- Columnas de pilas: En la memoria de cálculo se consideró un recubrimiento de 4 cm, pero en planos se indica uno de 5 cm. De acuerdo al artículo 5.10.1 de la normativa de AASHTO LRFD, el recubrimiento que se debería utilizar es de 5 cm, el cual se podría reducir a 4 cm si se aplica un factor de corrección de 0,8 cuando se usan



relaciones de agua/cemento menores a 0,4 para la mezcla de concreto. Por lo tanto, se solicita al contratista realizar las aclaraciones respectivas en la memoria de cálculo y/o los planos estructurales, ya que esto, a su vez, incide en el cálculo de la capacidad de resistencia a flexión del elemento.

- Viga cabezal de las pilas: En la memoria de cálculo se consideraron 6 varillas #4 como parte del refuerzo para momento negativo, pero estas no se muestran en los planos.
- Losa de fundación de pilas: En la memoria de cálculo se indica un refuerzo de varilla #6 a cada 12,5 cm, pero en los planos se detallan a cada 25 cm.
- Barrera vehicular de los costados extremos del puente: En la memoria de cálculo se indica que el refuerzo de la barrera tipo media New Jersey parte del uso de varillas acero de refuerzo #3. Sin embargo, en los planos estructurales, se indica que se debe hacer uso de varillas acero de refuerzo #4.

6.D.2. No se encontró evidencia de la consideración de los efectos por impacto vehicular en la subestructura, según el artículo 3.6.5 de AASHTO LRFD; tampoco se justificó el motivo de no haberlos considerado.

E. Observaciones con respecto a la completitud de la información

6.E.1. No se adjuntó el cálculo de los empalmes por traslape y la longitud de desarrollo de las barras de acero de refuerzo, según los artículos 5.10.8.1, 5.10.8.2 y 5.10.8.4 de AASHTO LRFD. Sin embargo, la Unidad de Puentes realizó el cálculo de forma manual y pudo determinar que existe cumplimiento de estos requerimientos según la tabla incluida en la lámina PT-01-47 de los planos constructivos. Aun así, esto no exime al diseñador de revisar este aspecto en todos los elementos diseñados.

6.E.2. No se evidenció la aplicación de factores modificadores de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional, según se define en los artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 de AASHTO LRFD; tampoco se justificó el motivo de no haberlos considerado. Se destaca, que en el caso más extremo, este apartado podría conllevar a un aumento de hasta un 15% en la magnitud del cálculo de la demanda.



- 6.E.3. No se revisó el espesor mínimo permitido para el tablero de la superestructura, según el artículo 9.7.1.1 de AASHTO LRFD. Sin embargo, la Unidad de Puentes del LanammeUCR efectuó la revisión correspondiente y pudo comprobar que el espesor sí cumple con lo requerido por la norma.
- 6.E.4. No se incluyó la revisión del espaciamiento del acero de refuerzo requerido para control de agrietamiento en el tablero de la superestructura, según el artículo 5.6.7 de AASHTO LRFD.
- 6.E.5. No se incluyó la revisión de la capacidad del tablero de la superestructura para resistir cortante, según el artículo 5.7.2 de AASHTO LRFD.
- 6.E.6. No se revisaron los espesores mínimos del ala superior ni del alma para las vigas de la superestructura, según los artículos 5.12.2.3.2 y 5.12.3.5.1 de AASHTO LRFD. Sin embargo, la Unidad de Puentes del LanammeUCR efectuó la revisión correspondiente y pudo comprobar que los espesores sí cumplen con lo requerido por la norma.
- 6.E.7. No se encontró evidencia del cálculo de carga por efectos de frenado en el análisis de la superestructura, según el artículo 3.6.4. de AASHTO LRFD 2017; tampoco se justificó el motivo de no haberlo realizado.
- 6.E.8. No se adjuntó el cálculo para determinar si el refuerzo longitudinal colocado en cada sección del elemento de la viga principal de la superestructura es suficiente para resistir la tensión adicional generada por la fuerza cortante, según el artículo 5.7.3.5 de AASHTO LRFD.
- 6.E.9. No se encontró evidencia de que se haya calculado la longitud de desarrollo de los tendones de presfuerzo requerida en las secciones críticas de las vigas principales, según el artículo 5.9.4.3 de AASHTO LRFD.
- 6.E.10. No se revisaron los límites de espaciamiento de acero de refuerzo en las vigas principales de la superestructura según los artículos 5.10.3.1 y 5.10.3.2, así como para las columnas según el artículo 5.6.4.2 de AASHTO LRFD. Debido a que las varillas no están acotadas



en los planos constructivos, tampoco fue posible verificar su cumplimiento con esta normativa.

- 6.E.11. En la página 8 de la memoria de cálculo aportada por el contratista se menciona en la sección de "cargas de diseño" que se considera la carga de viento. Sin embargo, en la página 14, sección de "resultados del análisis estructural", se indican las reacciones globales del modelo de análisis para carga muerta, carga viva vehicular, carga sísmica, pero no se aporta información en relación con las reacciones que pudo haber generado la carga de viento
- 6.E.12. No se encontró evidencia de la consideración de efectos de fuerzas inducidas por cambios de temperatura en el análisis de la estructura, según el artículo 3.12.2 y 3.12.3. de AASHTO LRFD; tampoco se justificó el motivo de no haberlos considerado.
- 6.E.13. En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, se puede observar en el diagrama de interacción de las pilas y pilotes que se coloca un límite de carga axial permitida. Sin embargo, la forma de calcular dicho límite no fue adjuntado, ni se hace referencia a la sección de AASHTO LRFD u otras normativas de las que pudo provenir el cálculo realizado.
- 6.E.14. No se revisó la capacidad de las columnas (pilas) y pilotes por flexión biaxial, según el artículo 5.6.4.5 de AASHTO LRFD.
- 6.E.15. No se adjuntaron las revisiones de los efectos por esbeltez de las columnas (pilas), según el artículo 4.5.3.2.2 y 5.6.4.3 de AASHTO LRFD.
- 6.E.16. No se incluyeron cálculos que revisen la transferencia de fuerza cortante en el plano de contacto entre la columna y la viga cabezal de la pila de la subestructura del Paso a desnivel, según el artículo 5.7.4 de AASHTO LRFD.
- 6.E.17. No se adjuntó la revisión de límite del acero de refuerzo longitudinal para los elementos de los pilotes, según el artículo 5.6.4.2 de AASHTO LRFD.



6.E.18. No se adjuntó la revisión de la resistencia factorizada en la zona de los elementos de apoyos, según el artículo 5.6.5 de AASHTO LRFD.

6.E.19. No se incluyeron cálculos que revisaran la transferencia de fuerza cortante en el plano de contacto entre el cuerpo del bastión y la placa de cimentación del Paso a desnivel, según el artículo 5.12.8.8 y 5.7.4 de AASHTO LRFD.

6.E.20. No se adjuntó la revisión de los requerimientos de área y espaciamiento del refuerzo transversal para pilotes de concreto, como lo establece la normativa de AASHTO LRFD en las secciones 5.6.4.6 y 5.12.9.

F. Observaciones con respecto a la presentación y orden de la información

6.F.1. Aunque sí se realizaron revisiones para las pilas en cuanto a requisitos de espaciamiento del refuerzo transversal, no se hace la referencia al artículo de la normativa que se utilizó para su revisión. En el caso de la normativa de AASHTO LRFD, el artículo respectivo corresponde al artículo 5.6.4.6.



6.3 Revisión del procedimiento de diseño sismorresistente del Paso a desnivel

La Tabla 5 presenta el resumen de la revisión del procedimiento de análisis y diseño sismorresistente del Paso a desnivel. La lista de verificación empleada se puede consultar, de forma detallada, en el Apéndice C del presente documento. Se puede observar que el porcentaje de cumplimiento general obtenido de la revisión fue de **74,0%**.

Tabla 5.

Porcentaje de cumplimiento del procedimiento de diseño sismorresistente para los componentes del Paso a desnivel según el método de fuerzas de AASHTO LFRD (AASHTO, 2017)

Pasos generales del procedimiento de análisis y diseño sísmico	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	Porcentaje de cumplimiento
1. Requerimientos generales de diseño:	4,5	5	90,0%
2. Determinación de la demanda sísmica:	4	4	100,0%
3. Determinación de zona de desempeño sísmico y sistema sismorresistente:	4	4	100,0%
4. Análisis de demanda (fuerzas):	6	6	100,0%
5. Determinación de fuerzas y desplazamientos de diseño:	5	8	62,5%
6. Diseño y detallado de columnas dúctiles de concreto reforzado:	5,5	13	42,3%
7. Diseño por capacidad de los elementos adyacentes:	8	10	80,0%
Total:	37	50	74,0%

Nota. Los resultados detallados correspondientes a esta Tabla se encuentran en el Apéndice C.

A continuación, se presentan las principales observaciones obtenidas a partir del análisis de la memoria de cálculo, las cuales se separan en categorías según el impacto que podrían tener en el proyecto. Con el propósito de hacer referencia a las observaciones en otras partes del texto, se da continuidad a la identificación con letras iniciada en la sección 6.1.



G. Observaciones con respecto a la conformidad del diseño estructural:

- 6.G.1. No se adjuntó la revisión de requerimientos de capacidad $P-\Delta$ considerando los desplazamientos inelásticos de la estructura, como se solicita en la sección 4.7.4.5 de AASHTO LRFD.
- 6.G.2. En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, sí se realiza la revisión del límite máximo de espaciamiento del refuerzo transversal de las columnas en las regiones de la rótula plástica, indicando un espaciamiento de 15 cm tanto en la memoria de cálculo como en los planos estructurales. Sin embargo, como lo establece la sección 5.11.4.1.5 de AASHTO LRFD, el espaciamiento del refuerzo transversal en estas regiones no debe ser a 10 cm.
- 6.G.3. En los planos constructivos aportados por el Contratista, en la lámina de notas generales, se indica que no se permiten empalmes en las uniones bastión-placa y bastión-apoyo de vigas, sin embargo, no se incluyó una nota similar para las columnas de las pilas. Esta nota es importante para asegurar el cumplimiento del artículo 5.11.4.1.6 de AASHTO LRFD, el cual prohíbe los empalmes del acero de refuerzo en las regiones de rótula plástica de las columnas.

H. Observaciones con respecto a la completitud de la información

- 6.H.1. En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, se indica que para efectos del cálculo sísmico se considera la estructura como tipo esencial. Sin embargo, no se adjuntó la respectiva justificación del por qué se descartó considerarla como tipo crítica.
- 6.H.2. En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, se indican los desplazamientos elásticos obtenidos a partir de sus análisis. Sin embargo, no se determinaron los desplazamientos inelásticos, como se solicita según AASHTO LRFD sección 4.7.4.5.
- 6.H.3. No se adjuntó la revisión de área mínima y máxima de acero longitudinal en la columna, como se requiere según AASHTO LRFD en su artículo 5.11.4.1.1. Sin embargo, la Unidad de Puentes revisó este aspecto manualmente y se determinó que sí cumple con los límites establecidos en la norma.



- 6.H.4. No se adjuntó la revisión de los requisitos con respecto al detallado del refuerzo transversal de las columnas colocado dentro de la región de rótula plástica, como se requiere según AASHTO LRFD en su artículo 5.11.4.1.4 y 5.11.4.1.5.
- 6.H.5. No se adjuntaron los cálculos con respecto al nudo que se forma entre el apoyo fijo y las pilas para determinar si este cumple con el límite máximo de la resistencia nominal a cortante aportada por el concreto, como se indica en el artículo 5.11.4.3 de AASHTO LRFD.
- 6.H.6. No se adjuntaron los cálculos del diseño de los apoyos fijos para determinar si estos resisten las fuerzas sísmicas de diseño calculadas, como se indica en el artículo 14.6.5.3 de AASHTO LRFD.
- 6.H.7. No se adjuntó la revisión de los anclajes de los apoyos por exceso de fuerza sísmica horizontal, según se solicita en el artículo 14.7.5.3.7 de AASHTO LRFD.

I. Observaciones con respecto a la presentación y orden de la información

No se tienen observaciones relacionadas con esta categoría.



6.4 Resumen de los resultados de la revisión

En la Tabla 6, se presenta un resumen de los porcentajes de cumplimiento con los criterios de las listas de verificación para cada procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del Paso a desnivel en análisis. El porcentaje de cumplimiento global obtenido para la memoria de cálculo fue de **76,5 %**. El detalle de los criterios específicos que fueron evaluados y el puntaje asignado a cada uno de ellos se pueden consultar en los Apéndices A, B y C del presente informe.

Tabla 6

Porcentaje de cumplimiento global del procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del Paso a desnivel de Hatillo 4 a construir sobre la Ruta Nacional n.º 39.

Lista de verificación	Normativa considerada	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	Porcentaje de cumplimiento
1. Requerimientos del cartel de licitación	Ninguna	33,5	39	85,9 %
2. Procedimiento de análisis y diseño del Paso a desnivel ante cargas no sísmicas	- AASHTO LRFD 2017	82,5	111	74,3 %
3. Procedimiento de análisis y diseño del Paso a desnivel ante cargas de sismo	- AASHTO LRFD 2017 - LDSRP	37	50	74,0 %
Total:		153	200	76,5 %

De manera general, se destaca que la memoria de cálculo presentada por el contratista es detallada y cumple con la mayor parte de los puntos solicitados, tanto a nivel contractual como a nivel de normativa de diseño. Esto demuestra que posiblemente existió un proceso de control y aseguramiento de la calidad en esta etapa del proyecto. Adicionalmente, sí se pudo verificar que en la memoria de cálculo se encuentran los nombres y número de carné de cada uno de los participantes, por lo que sí fue posible comprobar su afiliación al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Sin embargo, se detectó algunos incumplimientos de los requisitos establecidos tanto en el cartel de licitación como en la normativa de diseño aplicable, así como omisión de información que impide verificar el cumplimiento de algunos de los requerimientos de la normativa.



A continuación, se resumen los hallazgos detectados que requieren de una atención inmediata:

- Se detectaron inconsistencias entre los datos de salida del diseño estructural y el diseño indicado en los planos estructurales como se destaca en los siguientes casos:
 - Columnas de pilas: En la memoria de cálculo se consideró un recubrimiento de 4cm, pero en planos se indica uno de 5cm.
 - Viga cabezal de las pilas: En la memoria de cálculo se consideraron 6 varillas #4 como parte del refuerzo para momento negativo, pero estas no se muestran en los planos.
 - Losa de fundación de pilas: En la memoria de cálculo se indica un refuerzo de varilla #6 a cada 12,5 cm, pero en los planos se detallan a cada 25 cm.
 - Barrera vehicular de los costados extremos del puente: En la memoria de cálculo el refuerzo de la barrera tipo media New Jersey que se indica en la memoria no coincide con el detalle mostrado en los planos.
- No se encontró evidencia de la consideración de los efectos por impacto vehicular en la subestructura, según el artículo 3.6.5 de AASHTO LRFD; tampoco se justificó el motivo de no haberlos considerado.
- No se adjuntó la revisión de requerimientos de capacidad $P-\Delta$ considerando los desplazamientos inelásticos de la estructura, como se solicita según AASHTO LRFD sección 4.7.4.5.
- Tanto en la memoria de cálculo como en los planos estructurales aportados por el Contratista, el espaciamiento del refuerzo transversal en las regiones de rótula plástica de las columnas (150 mm) sobrepasa el espaciamiento máximo permitido según el artículo 5.11.4.1.5 de AASHTO LRFD (100 mm) para un buen desempeño de la estructura ante solicitaciones sísmicas.



- En los planos estructurales aportados por el Contratista, no se incluyó una nota general que prohíba realizar empalmes del acero de refuerzo en las regiones de rótula plástica de las columnas, esto con tal de asegurar el cumplimiento del artículo 5.11.4.1.6 de AASHTO LRFD para un buen desempeño de la estructura ante solicitaciones sísmicas.
- Completar la memoria de cálculo mostrando las siguientes verificaciones:
 - Presentar y justificar, para el diseño de la viga principal de la superestructura, el uso de factores modificadores de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional, según el artículo 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 de AASHTO LRFD.
 - La revisión la capacidad del tablero de la superestructura para resistir cortante, según el artículo 5.7.2 de AASHTO LRFD.
 - Indicar las reacciones globales de la estructura por cargas de viento, tal y como se realizó para los otros tipos de carga de la sección de “resultados del análisis estructural” en la página 14 de la memoria de cálculo.
 - Presentar la revisión de la transferencia de fuerza cortante en el plano de contacto entre la columna y la viga cabezal de la pila de la subestructura, y entre el cuerpo del bastión y la placa de cimentación, según el artículo 5.12.8.8 y 5.7.4 de AASHTO LRFD.
 - Presentar la revisión de los cálculos del diseño de los apoyos fijos para determinar si estas resisten las fuerzas sísmicas de diseño calculadas, como se indica según AASHTO LRFD en su artículo 14.6.5.3.
 - Presentar la justificación del por qué se considera la estructura como de tipo esencial, y no como puente crítico, para efectos del cálculo de la carga sísmica.



7. Conclusiones

Se evaluó el cumplimiento de la memoria de cálculo del diseño estructural del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39. Esta evaluación consistió en la revisión, mediante el uso de listas de verificación, de la aplicación correcta y completa de la normativa aplicable al diseño estructural y al diseño sismorresistente del Paso a desnivel, así como de los requerimientos del cartel de licitación. A partir de lo anterior, en la Tabla 7 se presentan las conclusiones de la aplicación de esta metodología. Para cada conclusión, se hace referencia al inciso del presente informe en el cual se detectó el hallazgo.

Tabla 7

Resumen de conclusiones derivadas de la revisión de la memoria de cálculo.

Conclusión		Observaciones asociadas
1.	El procedimiento mostrado en la memoria de cálculo de diseño del Paso a desnivel por construir sobre la Ruta Nacional n.º 251 en Ruta Nacional n.º 2 cumplió en un 76,5 % con los requerimientos de la normativa vigente que aplica al proyecto y los requerimientos del cartel de licitación. Por lo tanto, se destaca que la memoria de cálculo presentada por el contratista es detallada y cumple con la mayor parte de los puntos solicitados, tanto a nivel contractual como a nivel de normativa de diseño. Sin embargo, se detectó algunos incumplimientos de los requisitos establecidos tanto en el cartel de licitación como en la normativa de diseño aplicable, así como omisión de información que impide verificar el cumplimiento de algunos de los requerimientos de la normativa.	General
2.	Se detectaron hallazgos que, por la importancia que estos conllevan, requieren de una atención inmediata. Específicamente, se detectó lo siguiente:	-
2.1.	Se detectaron inconsistencias entre los datos de salida del diseño estructural y el diseño indicado en los planos estructurales.	6.A.1, 6.D.1, 6.G.2
2.2.	No se encontró evidencia de la consideración de los efectos por impacto vehicular en la subestructura.	6.D.2
2.3.	No se adjuntó la revisión de requerimientos de capacidad P-Δ considerando los desplazamientos inelásticos de la estructura.	6.G.1



EIC-Lanamme-INF-1656-2023	Fecha: 20 de noviembre de 2023	Página 35 / 78
---------------------------	--------------------------------	----------------

2.4.	Tanto en la memoria de cálculo como en los planos estructurales aportados por el Contratista, el espaciamiento del refuerzo transversal en las regiones de rótula plástica de las columnas (150 mm) sobrepasa el espaciamiento máximo permitido según el artículo 5.11.4.1.5 de AASHTO LRFD (100 mm) para un buen desempeño de la estructura ante solicitaciones sísmicas.	6.G.2
2.5.	En los planos estructurales aportados por el Contratista, no se incluyó una nota general que prohíba realizar empalmes del acero de refuerzo en las regiones de rótula plástica de las columnas, esto con tal de asegurar el cumplimiento del artículo 5.11.4.1.6 de AASHTO LRFD para un buen desempeño de la estructura ante solicitaciones sísmicas.	6.G.3
2.6	Completar la memoria de cálculo, para los casos que pueden generar cambios en los planos constructivos o, que de no hacerlos puede generar un diseño inseguro, los cuales son los siguientes: justificación de los factores modificadores de carga, revisión de la capacidad por cortante del tablero, indicar las reacciones globales de la estructura por cargas de viento, presentar la revisión de la transferencia de fuerza cortante en el plano de contacto entre la columna y la viga cabezal de la pila de la subestructura, y entre el cuerpo del bastión y la placa de cimentación, y presentar la justificación del por qué se considera la estructura como de tipo esencial.	6.E.2, 6.E.5, 6.E.11, 6.E.16, 6.E.19, 6.H.1
3.	Se detectó la omisión de información en la memoria de cálculo que se solicitó en los requerimientos del cartel de licitación, de los cuales se destacan los siguientes: no se adjunta la revisión por vibraciones de la superestructura y se omite la referencia a los artículos correspondientes de la norma en el diseño de las pilas, la viga cabezal del bastión y las cimentaciones.	6.B.1, 6.B.2, 6.C.1, 6.C.2
4.	Se detectó la omisión de información en la memoria de cálculo que impide verificar el cumplimiento de los requerimientos de la normativa aplicable. Específicamente, se detectó la omisión de la siguiente información:	-
4.1	Justificación de la utilización de criterios de diseño en algunos de los elementos del Paso a desnivel.	6.E.2, 6.E.7, 6.E.11
4.2	No se adjuntó el cálculo de los empalmes por traslape y la longitud de desarrollo de las barras de acero de refuerzo	6.E.1.
4.3	Omisión de revisión de espesores mínimos para el tablero y las vigas de la superestructura	6.E.3, 6.E.6



EIC-Lanamme-INF-1656-2023	Fecha: 20 de noviembre de 2023	Página 36 / 78
---------------------------	--------------------------------	----------------

4.4.	Omisión de pasos, procedimientos o revisiones que están especificados en la normativa.	6.E.4, 6.E.8, 6.E.10, 6.E.13, 6.E.14, 6.E.15, 6.E.18, 6.E.20, 6.H.2, 6.H.3, 6.H.4, 6.H.5, 6.H.6, 6.H.7
5.	Se detectaron casos en los que la información presentada en la memoria de cálculo no es clara o presenta incongruencias, lo cual puede dificultar su seguimiento.	6.C.1, 6.F.1



8. Recomendaciones

Con base en la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39, se recomienda a la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR ejecutar las acciones que se presentan en la Tabla 8. Para cada recomendación, se hace referencia al inciso del presente informe donde se detalla el problema específico que se busca resolver.

Tabla 8

Recomendaciones finales derivadas de la revisión de la memoria de cálculo

Recomendación		Observaciones asociadas
1.	Recomendar a la Administración que solicite al Contratista una alternativa de diseño donde se hayan corregido los hallazgos de atención inmediata o, en su defecto, una justificación de los criterios adoptados con respecto a estos hallazgos con la debida aprobación de la Administración.	6.A.1, 6.D.1, 6.D.2, 6.E.2, 6.E.5, 6.E.11, 6.E.16, 6.E.19, 6.G.1, 6.G.2, 6.H.1
2.	Recomendar a la Administración que solicite a la empresa diseñadora la información faltante y aclaraciones necesarias que permitan verificar el cumplimiento de los requerimientos del cartel de licitación y de la normativa aplicable.	6.B.1, 6.B.2, 6.C.1, 6.C.2, 6.E.2, 6.E.3, 6.E.4, 6.E.6, 6.E.7, 6.E.8, 6.E.10, 6.E.11, 6.E.13, 6.E.14, 6.E.15, 6.E.18, 6.E.20, 6.H.2, 6.H.3, 6.H.4, 6.H.5, 6.H.6, 6.H.7
3.	Recomendar a la Administración que, en los documentos contractuales de futuros proyectos de diseño de Pasos a desnivel, se solicite, específicamente, la entrega de la siguiente información:	-
3.1.	Un plan de control y aseguramiento de la calidad de todos los entregables y actividades relacionadas con el diseño estructural. La función de este plan es permitir la detección de errores e inconsistencias antes de que el diseñador entregue el producto final. El plan debe ser revisado y aprobado por la Administración antes del inicio de los trabajos. Se alienta a consultar el documento	General



EIC-Lanamme-INF-1656-2023	Fecha: 20 de noviembre de 2023	Página 38 / 78
---------------------------	--------------------------------	----------------

	titulado “ <i>Guidance on Quality Control and Quality Assurance (QC/QA) in Bridge Design</i> ” (FHWA, 2011).	
3.2.	El uso de normativa y especificaciones técnicas de diseño estructural vigentes, indicando explícitamente la edición vigente de cada norma al momento de formularse el documento contractual.	General



9. Referencias

American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. (2017). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 8th Edition.*

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, CFIA. (2013). *Lineamientos para diseño sismorresistente de puentes.*
<https://www.codigosismico.or.cr/images/lineamientos.pdf>

Constructora MECO, (2023a). *Memoria de Cálculo Estructural, Proyecto: Intercambio RN 39 Paso a desnivel Hatillo 4.* Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Constructora MECO, (2023b). *Planos estructurales: Diseño y construcción del paso elevado vehicular tipo viaducto, calles marginales, paso inferior y rampas de aceleración y desaceleración en Hatillo 4, intersección calle Costa Rica y Ruta Nacional no. 39 .* Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Federal Highway Administration, FHWA (2011). *Guidance on Quality Control and Quality Assurance (QC/QA) in Bridge Design.* U.S. Department of Transportation.

CONAVI (2019a). *Licitación pública No. 2019LN-000019-000600001. Diseño y construcción de las estructuras para el paso elevado vehicular tipo viaducto, calles marginales, paso inferior, y rampas de aceleración y desaceleración en Hatillo 4, intersección Calle Costa Rica, y Ruta Nacional No. 39.* Documento de requerimientos. <https://www.sicop.go.cr/>.

CONAVI. (2019b). *Contrato para el diseño y construcción de las estructuras para el paso elevado vehicular tipo viaducto, calles marginales, paso inferior y rampas de aceleración y desaceleración en Hatillo 4, intersección calle Costa Rica y Ruta Nacional no. 39".* *licitación pública no. 2019In-000019-0006000001 entre el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) y constructora MECO SA.* Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.



Página intencionalmente dejada en blanco



Apéndice A.

Lista de verificación para la revisión del procedimiento de diseño del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39 con respecto a los requerimientos del cartel de licitación



Página intencionalmente dejada en blanco



Tabla A.1

Revisión del procedimiento de diseño del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39 con respecto a los requerimientos del cartel de licitación

Requerimiento especificado en el cartel/contrato		Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
1.	Requerimientos generales del diseño:			3	3
1.1	¿Se utiliza la normativa para diseño de puentes vehiculares nuevos solicitada en el cartel/contrato?	Sí	Sin comentarios.	1	1
1.2	¿Se diseñó la estructura para resistir las solicitaciones de carga de un sismo con un período de retorno TR=1000 años (PE=7%, N=75 años)?	Sí	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se indica cuál fue el periodo de retorno considerado. Sin embargo, se siguió el procedimiento dado en los "Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes", el cual por defecto ya incluye esta información como parte de su metodología de cálculo.	1	1
1.3	¿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%?	Sí	Sin comentarios	1	1
2.	Requerimientos generales de la memoria de cálculo:			11,5	16
2.1	¿Se indica en la memoria las especificaciones de diseño?	Sí	Sin comentarios.	1	1
2.2	¿Se indica en la memoria las capacidades de soporte de diseño?	Sí	Sin comentarios.	1	1
2.3	¿Se presenta la información en un orden lógico (superestructura, subestructura, obras adicionales)?	Parcialmente	La información presentada en la memoria no siguió un orden lógico, pues se muestran los cálculos de los elementos de la subestructura antes de mostrar los cálculos de los elementos de la superestructura.	0,5	1



2.4	¿Se presenta un desglose de las propiedades de los materiales consideradas en el diseño?	Sí	Sin comentarios.	1	1
2.5	¿Se presenta el desglose y cálculo de todas las cargas consideradas en el diseño?:				
	a. Cargas permanentes	Sí	Sin comentarios.	1	1
	b. Cargas vivas (incluyendo efecto por impacto, fuerza de frenado)	Parcialmente	No se encontró evidencia del cálculo de carga por efectos de frenado en el análisis de la estructura, según el artículo 3.6.4. de AASHTO LRFD 2017; tampoco se justificó el motivo de no haberlo realizado.	0,5	1
	c. Eventos extremos (sismo, viento)	Sí	Sin comentarios.	1	1
	d. Empujes de suelo (estático y por sismo)	Sí	Sin comentarios.	1	1
	e. Otros	Parcialmente	No se encontró evidencia de la consideración de efectos de fuerzas inducidas por cambios de temperatura en el análisis de la estructura, según el artículo 3.12.2 y 3.12.3. de AASHTO LRFD; tampoco se justificó el motivo de no haberlos considerado. No se encontró evidencia de la consideración de los efectos por impacto vehicular en la subestructura, según el artículo 3.6.5 de AASHTO LRFD; tampoco se justificó el motivo de no haberlos considerado.	0,5	1
2.6	¿Se justifica el uso de los parámetros considerados en el diseño que no estén dados en la normativa o los estudios preliminares?	NA	Sin comentarios.	NA	NA
2.7	¿Se presenta la revisión de deflexiones de la estructura?	Sí	Sin comentarios.	1	1



2.8	¿Se presenta la revisión de vibraciones de la estructura?	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se adjunta la revisión de vibraciones en la estructura que se solicitó en la sección 4.4.1 del cartel, ni se indica la respectiva justificación del por qué no se realizó.	0	1
2.9	¿Se hace referencia al artículo correspondiente de la norma cada vez que se utiliza una fórmula o tabla específica?	Parcialmente	En los cálculos de las pilas, la viga cabezal del bastión y las cimentaciones, no se indica la referencia a los artículos correspondientes de la norma.	0,5	1
2.10	¿Se presenta el desarrollo completo de los cálculos para cada elemento, al menos en una ocasión?	Sí	Sin comentarios.	1	1
2.11	¿Se presenta el valor de la relación capacidad/demanda para cada elemento?	Sí	Sin comentarios.	1	1
2.12	¿Se presenta un diagrama con las dimensiones propuestas para cada elemento diseñado?	Parcialmente	Para el caso del diseño de los bloques sísmicos, en la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se presentó el diagrama con las dimensiones propuestas.	0,5	1
3.	Requerimientos con respecto a programas de computadora:			8,5	9
3.1	¿Se presentan los datos de entrada referentes a las propiedades de los materiales?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.2	¿Se presentan las secciones transversales de los elementos estructurales?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.3	¿Se presentan las cargas aplicadas para el análisis estructural?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.4	¿Se indican las condiciones de apoyo de la estructura?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.5	¿Se indican los parámetros de diseño sísmico?	Sí	Sin comentarios.	1	1



3.6	¿Se presentan esquemas que describan la geometría de la estructura analizada (en planta, sección y elevación)?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.7	¿Se presentan los datos de salida del análisis estructural utilizados en el diseño del elemento (combinaciones de carga más desfavorables)?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.8	¿Los datos de salida del análisis estructural se presentan de forma clara, precisa, lógica y ordenada?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.9	¿Existe concordancia entre los datos de salida del diseño estructural y el diseño indicado en los planos estructurales?	Parcialmente	Se detectaron las siguientes inconsistencias: <ul style="list-style-type: none"> • Columnas de pilas: se consideró recubrimiento de 4cm, pero planos indican 5cm. • Viga cabezal de las pilas: se consideraron 6 varillas #4 como parte del refuerzo para momento negativo, pero estas no se muestran en planos. • Pilotes de pilas y bastiones: se indica una separación máxima de 10 cm por confinamiento en zona de rótula plástica, pero en planos se muestra una separación constante de 15 cm en toda la profundidad del pilote. • Losa de fundación de pilas: se indica un refuerzo de varilla #6 a cada 12,5 cm, pero en los planos se detallan a cada 15 cm. • Barrera vehicular tipo media New Jersey: el refuerzo que se indica en la memoria no coincide con el detalle mostrado en los planos. 	0,5	1
4.	Requerimientos con respecto a hojas de cálculo electrónicas:			10,5	11
4.1	¿Se presentan las hojas electrónicas de forma ordenada?	Sí	Sin comentarios.	1	1
4.2	¿Se incluyen los datos de entrada referentes a las propiedades de los materiales?	Sí	Sin comentarios.	1	1
4.3	¿Se muestran las secciones transversales y geometría de los elementos estructurales?	Sí	Sin comentarios.	1	1



4.4	¿Se presentan las cargas aplicadas para el análisis estructural?	Sí	Sin comentarios.	1	1
4.5	¿Se indican las condiciones de apoyo de la estructura?	NA	El análisis que se realiza en las hojas de cálculo electrónicas no requiere definir la condición de apoyo de los elementos.	NA	NA
4.6	¿Se indican los parámetros de diseño sísmico?	Sí	Sin comentarios.	1	1
4.7	¿Se presentan esquemas que describan la geometría de la estructura analizada (en planta, sección y elevación)?	Sí	Sin comentarios.	1	1
4.8	¿Se indican las acciones y reacciones que controlan el diseño estructural (respaldadas a través del análisis estructural)?	Sí	Sin comentarios.	1	1
4.9	¿El proceso de diseño se presenta de forma clara, precisa, lógica y ordenada?	Sí	Sin comentarios.	1	1
4.10	¿Se hace referencia al artículo correspondiente de la norma cada vez que se utiliza una fórmula o tabla específica?	Parcialmente	En los cálculos de las pilas, la viga cabezal del bastión y las cimentaciones, no se indica la referencia a los artículos correspondientes de la norma.	0,5	1
4.11	¿Se identifica claramente la simbología utilizada?	Sí	Sin comentarios.	1	1
4.12	¿Se incluyen las hojas electrónicas auxiliares para la hoja principal?	Sí	Sin comentarios.	1	1
Puntaje total obtenido:				33,5	39
				85,9%	



Página intencionalmente dejada en blanco



Apéndice B.

Lista de verificación para la revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39



Página intencionalmente dejada en blanco



Tabla B.1

Revisión del procedimiento de diseño estructural del tablero para cargas no sísmicas del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017)

DISEÑO DEL TABLERO [AASHTO A5.3]					
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
C.	Diseño convencional de un tablero de concreto reforzado apoyado sobre vigas:			8,5	9
2	¿Se cumple con el espesor mínimo permitido para el tablero? [9.7.1.1]	Sí	No se incluyó esta revisión en la memoria. Sin embargo, la Unidad de Puentes revisó el espesor manualmente y se determinó que cumple.	1	1
5	En caso de utilizar un método aproximado de análisis (método de franjas), ¿se verifica que sea aplicable al tipo de tablero considerado en el diseño? [4.6.2.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	En caso de utilizar un método refinado de análisis, ¿se hace uso de uno de los métodos de análisis estructural aceptables? [4.4] [4.6.3.2]	NA	No se utilizó un método refinado de análisis para el diseño del tablero.	NA	NA
6	¿Se verifica la carga viva vehicular aplicable según el caso de estudio? [3.6.1.3.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	En caso de utilizar el método aproximado de análisis, ¿se determinan los anchos de franjas equivalentes para aplicar la distribución de la carga viva vehicular? [4.6.2.1.5]	Sí	Sin comentarios.	1	1
7	¿Se calcula el acero de refuerzo de distribución requerido en la dirección longitudinal del tablero? [9.7.3.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
8	¿Se aplican los casos de carga requeridos para el diseño del voladizo del tablero? [A13.4.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1



	¿Se define el tipo de barrera vehicular, las propiedades geométricas y las fuerzas de diseño? [13.7.2] [A13.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se calcula la resistencia nominal de la barrera vehicular a las cargas transversales que son transmitidas al voladizo? [A13.3.1]	Parcialmente	El refuerzo de la barrera vehicular tipo media New Jersey no coincide con el detalle mostrado en los planos estructurales presentados por el Contratista.	0,5	1
	¿Se consideran los criterios de aplicación de la carga viva de diseño al voladizo del tablero? [3.6.1.3.1] [3.6.1.3.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
D.	Selección de factores de resistencia:			1	1
1	¿Se definen los factores de resistencia para el estado límite de resistencia? [5.5.4.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
E.	Selección de modificadores de carga:			1,5	3
1	¿Se define el modificador de carga de ductilidad para el estado límite de resistencia? [1.3.3]	Parcialmente	En la página 10 de la memoria de cálculo aportada por el Contratista, se hace mención del uso de estos modificadores, mas no se indica cuáles fueron los valores considerados.	0,5	1
2	¿Se define el modificador de carga de redundancia para el estado límite de resistencia? [1.3.4]	Parcialmente	En la página 10 de la memoria de cálculo aportada por el Contratista, se hace mención del uso de estos modificadores, mas no se indica cuáles fueron los valores considerados.	0,5	1
3	¿Se define el modificador de carga de importancia operacional para el estado límite de resistencia? [1.3.5]	Parcialmente	En la página 10 de la memoria de cálculo aportada por el Contratista, se hace mención del uso de estos modificadores, mas no se indica cuáles fueron los valores considerados.	0,5	1
F.	Selección de combinaciones y factores de carga:			1	1
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límite a considerar y los factores de carga correspondientes? [3.4.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1
G.	Cálculo de los efectos por carga viva:			3	3
1	¿Se definen las cargas vivas de diseño (LL) que actúan sobre la estructura y el número de carriles de diseño? [3.6.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1



2	¿Se definen los factores de presencia múltiple a aplicar según el número de carriles cargados? [3.6.1.1.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
3	¿Se define el factor de amplificación dinámica (IM) aplicable al componente y estado límite considerado? [3.6.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
H.	Cálculo de los efectos por otras fuerzas:			2	2
1	¿Se calculan los efectos de todas las cargas permanentes de diseño (DC, DW)? [3.5.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se realiza el cálculo de los efectos de otras fuerzas adicionales, en caso de ser requerido?	Sí	Se consideran los efectos de carga por colisión en los sectores del voladizo del tablero.	1	1
I.	Estado límite de servicio:			0	1
5	¿Se verifica el espaciamiento requerido del acero de refuerzo para el control de agrietamiento? [5.6.7]	No	Sin comentarios.	0	1
7	¿Se verifica que las deflexiones en el tablero producidas por la carga viva estén dentro de límite establecido? [9.5.2]	NA	Sin comentarios.	NA	NA
J.	Estado límite de resistencia:			4	5
1	Flexión:				
1c	¿Se determina la resistencia nominal a flexión positiva del tablero y se comprueba que sea suficiente? [5.6.3.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se determina la resistencia nominal a flexión negativa del voladizo del tablero y se comprueba que sea suficiente? [5.6.3.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
1d	¿Se verifica el límite mínimo del acero de refuerzo y/o presfuerzo para la resistencia a flexión? [5.6.3.3]	Sí	Sí se realiza la revisión en la memoria de cálculo para determinar el acero de refuerzo mínimo, sin embargo, la sección de la normativa AASHTO LRFD indicada (5.7.3.3.2) corresponde a una edición anterior de la norma.	1	1



2	Cortante:				
2a	¿Se revisa la capacidad del tablero para resistir cortante? [5.7.2]	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista no se adjuntó esta revisión.	0	1
2b (5)	¿Se revisa la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre el tablero y la barrera vehicular? [5.7.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
K.	Revisión del detallado:			3,5	5
1	¿Se provee el recubrimiento necesario para proteger el acero de refuerzo y/o presfuerzo del tablero? [5.10.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1
2	¿Se calcula la longitud de desarrollo de las barras de acero de refuerzo transversales colocadas en el voladizo del tablero? [5.10.8.1] [5.10.8.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
4	¿Se definen los empalmes por traslape de las barras de acero de refuerzo transversales y longitudinales del tablero? [5.10.8.4]	Parcialmente	En los planos constructivos finales aportados por el Contratista si se indican las longitudes de los empalmes por traslape, sin embargo, a nivel de la memoria de cálculo, no se adjuntaron las respectivas revisiones.	0,5	1
8	¿Se revisan los límites para el espaciamiento del acero de refuerzo? [5.10.3.1] [5.10.3.2]	No	No se revisaron los límites de espaciamiento de acero de refuerzo en vigas principales de la superestructura según los artículos 5.10.3.1 y 5.10.3.2. Debido a que las varillas no están acotadas en los planos constructivos, tampoco fue posible verificar su cumplimiento con esta normativa.	0	1
	¿Se calcula el acero de refuerzo de retracción y temperatura requerido en la dirección longitudinal del tablero? [5.10.6]	Sí	Sí se realiza la revisión en la memoria de cálculo para determinar el acero por temperatura, sin embargo, la sección de la normativa AASHTO LRFD indicada (5.10.8.1) corresponde a una edición anterior de la norma.	1	1
Puntaje total obtenido:				24,5	30
				81,7%	



Tabla B.2.

Revisión del procedimiento de diseño estructural de la superestructura para cargas no sísmicas del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017)

DISEÑO DE LAS VIGAS PRINCIPALES [AASHTO A5.3]					
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
B.	Definición de la sección típica:			0,5	1
1a,1b,1c	¿Se verifica que la sección de la viga utilizada cumpla con los espesores mínimos del ala superior, ala inferior y alma? [5.12.3.2.2] [5.12.3.5.1]	Parcialmente	En la memoria de cálculo no se revisan los espesores mínimos de ala superior y alma para vigas de la superestructura según AASHTO LRFD artículos 5.12.2.3.2 y 5.12.3.5.1, sin embargo, la Unidad de Puentes realizó una revisión de la sección transversal y esta sí cumple con lo requerido por la norma.	0,5	1
D.	Selección de factores de resistencia:			1	1
1	¿Se definen los factores de resistencia para el estado límite de resistencia? [5.5.4.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
E.	Selección de modificadores de carga:			0	3
1	¿Se define el modificador de carga de ductilidad para el estado límite de resistencia? [1.3.3]	No	No se observó en la memoria de cálculo el uso de factores modificadores de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional según se define en AASHTO LRFD Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5. Tampoco se observó una justificación de por qué no utilizarlos o porqué tomarlos como iguales a 1.	0	1
2	¿Se define el modificador de carga de redundancia para el estado límite de resistencia? [1.3.4]	No	No se observó en la memoria de cálculo el uso de factores modificadores de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional según se define en AASHTO LRFD Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5. Tampoco se observó una justificación de por qué no utilizarlos o porqué tomarlos como iguales a 1.	0	1



3	¿Se define el modificador de carga de importancia operacional para el estado límite de resistencia? [1.3.5]	No	No se observó en la memoria de cálculo el uso de factores modificadores de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional según se define en AASHTO LRFD Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5. Tampoco se observó una justificación de por qué no utilizarlos o porqué tomarlos como iguales a 1.	0	1
F. Selección de combinaciones y factores de carga:				1	1
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límite a considerar y los factores de carga correspondientes? [3.4.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1
G. Cálculo de los efectos por carga viva:				4	5
1	¿Se definen las cargas vivas de diseño (LL) que actúan sobre la estructura y el número de carriles de diseño? [3.6.1]	Sí	Se hace la anotación que esto se define como parte de las disposiciones de diseño de un elemento diferente a la viga, pero que por el contexto en que se redactó la memoria de cálculo da a entender que es aplicable a cualquier elemento.	1	1
2	¿Se definen los factores de presencia múltiple a aplicar según el número de carriles cargados? [3.6.1.1.2]	Parcialmente	Estos factores se indican únicamente para el diseño del tablero, pero no se muestra la información en las hojas de cálculo utilizadas para el diseño de las vigas principales.	0,5	1
3	¿Se define el factor de amplificación dinámica (IM) aplicable al componente y estado límite considerado? [3.6.2]	Parcialmente	Estos factores se indican únicamente para el diseño del tablero, pero no se muestra la información en las hojas de cálculo utilizadas para el diseño de las vigas principales.	0,5	1
4	En caso de utilizar el método aproximado de análisis, ¿se calculan los factores de distribución para el momento producido por carga viva? [4.6.2.2.2]	NA	Se utilizó un método refinado de cálculo.	NA	NA
5	En caso de utilizar el método aproximado de análisis, ¿se calculan los factores de distribución para el cortante producido por carga viva? [4.6.2.2.3]	NA	Se utilizó un método refinado de cálculo.	NA	NA



4, 5	En caso de utilizar un método refinado de análisis, ¿se hace uso de uno de los métodos de análisis estructural aceptables? [4.4] [4.6.3.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
6	¿Se obtienen las reacciones transmitidas por la superestructura a la subestructura? [3.6]	Sí	Sin comentarios.	1	1
H.	Cálculo de los efectos por otras fuerzas:			1,5	2
1	¿Se definen todas las cargas permanentes de diseño (DC, DW)? [3.5.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se realiza el cálculo de los efectos de otras fuerzas adicionales, en caso de ser requerido?	Parcialmente	'Se observa en la memoria de cálculo referencias a otros tipos de cargas como la carga centrífuga, sin embargo, no se detalla los efectos de la carga de frenado. Tampoco se presenta una justificación del por qué no se consideraron los efectos de dicha carga.	0,5	1
I.	Estado límite de servicio:			8	8
1	¿Se definen las pérdidas de presfuerzo consideradas en los cálculos? [5.9.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
2	¿Se verifican los límites de esfuerzos de tensión en los tendones de presfuerzo? [5.9.2.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
3a	¿Se verifica el límite del esfuerzo de compresión en el concreto antes de las pérdidas? [5.9.2.3.1a]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se verifica el límite del esfuerzo de tensión en el concreto antes de las pérdidas? [5.9.2.3.1b]	Sí	Sin comentarios.	1	1
3b	¿Se verifica el límite del esfuerzo de compresión en el concreto después de las pérdidas, para la combinación de carga de Servicio I? [5.9.2.3.2a]	Sí	Sin comentarios.	1	1



	¿Se verifica el límite del esfuerzo de tensión en el concreto después de las pérdidas, para la combinación de carga de Servicio III? [5.9.2.3.2b]	Sí	Sin comentarios.	1	1
5	¿Se verifica el espaciamiento requerido del acero de refuerzo para el control de agrietamiento? [5.6.7]	Sí	Sin comentarios.	1	1
6	En caso de ser aplicable, ¿se revisa el estado límite de fatiga? [5.5.3.1]	NA	No es necesaria en elementos de concreto presforzado que cumplan con el límite de esfuerzos a tensión para la combinación de carga Servicio III.	NA	NA
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	Sin comentarios.	1	1
J.	Estado límite de resistencia:			10	11
1	Flexión:				
1a, 1b	¿Se calcula el esfuerzo promedio en el acero de presfuerzo, de acuerdo con el tipo de tendón utilizado (adherido o no adherido)? [5.6.3.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1
1c	¿Se determina la resistencia nominal a flexión positiva de las vigas principales y se comprueba que sea suficiente? [5.6.3.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se determina la resistencia nominal a flexión negativa de las vigas principales y se comprueba que sea suficiente? [5.6.3.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
1d	¿Se verifica el límite mínimo del acero de refuerzo y/o presfuerzo para la resistencia a flexión? [5.6.3.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
2	Cortante:				



2b (1)	¿Se calcula la resistencia nominal a cortante de las vigas principales considerando el aporte del concreto, el acero de refuerzo transversal y el presfuerzo? [5.7.3.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se revisa el límite superior de la resistencia nominal a cortante dado por la Ec. 5.7.3.3-2? [5.7.3.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
2b (2)	¿Se determinan los valores de los parámetros β y θ para el cálculo de la resistencia a cortante en la sección considerada? [5.7.3.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
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? [5.7.3.5]	No	No se observó en la memoria de cálculo aportada por el Contratista que se realizara esta revisión, y no se adjunta la respectiva justificación del por qué esta no se realiza.	0	1
2b (4)	¿Se revisa el límite mínimo permitido para el refuerzo transversal? [5.7.2.5]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se revisa el espaciamiento máximo permitido para el refuerzo transversal? [5.7.2.6]	Sí	Sin comentarios.	1	1
2b (5)	¿Se revisa la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre las vigas principales y el tablero? [5.7.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
K.	Revisión del detallado:			7,5	10
1	¿Se provee el recubrimiento de concreto suficiente para proteger el acero de refuerzo y/o presfuerzo de las vigas principales? [5.10.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1
2	¿Se revisa la longitud de desarrollo del acero de refuerzo convencional requerida en las secciones críticas de las vigas principales? [5.10.8.1] [5.10.8.2]	Parcialmente	En los planos constructivos finales aportados por el Contratista si se indican las longitudes de los empalmes por traslapo, sin embargo, a nivel de la memoria de cálculo, no se adjuntaron las respectivas revisiones.	0,5	1



3	¿Se revisa la longitud de desarrollo de los tendones de presfuerzo requerida en las secciones críticas de las vigas principales? [5.9.4.3]	No	No se presenta esta revisión en la memoria de cálculo aportada por el Contratista.	0	1
4	¿Se definen los empalmes por traslapo de las barras de acero de refuerzo de las vigas principales? [5.10.8.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
5	¿Se diseñan las zonas de anclaje del acero de presfuerzo considerando el tipo de presfuerzo (acero postensado o acero pretensado)? [5.9.5.6] [5.9.4.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
6	¿Se define el material y tamaño del ducto, así como la configuración del perfil del ducto dentro de la viga? [5.4.6]	Sí	Sin comentarios.	1	1
7a, 7b	¿Se revisan los requerimientos de confinamiento de los tendones de presfuerzo? [5.9.5.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
7c	¿Se revisan los límites de espaciamiento de los tendones y ductos de presfuerzo? [5.9.5.1] [5.9.5.2]	Sí	Sin comentarios.	1	1
8	¿Se revisan los límites de espaciamiento del acero de refuerzo convencional? [5.10.3.1] [5.10.3.2]	No	No se revisaron los límites de espaciamiento de acero de refuerzo en vigas principales de la superestructura según los artículos 5.10.3.1 y 5.10.3.2, así como para las columnas según el artículo 5.6.4.2 de AASHTO LRFD. Debido a que las varillas no están acotadas en los planos constructivos, tampoco fue posible verificar su cumplimiento con esta normativa.	0	1
10	¿Se muestran los cálculos y consideraciones para el diseño de los elementos secundarios (diafragmas transversales)? [5.12.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
Puntaje total obtenido:				33,5	42
				79,8%	



Tabla B.3

Revisión del procedimiento de diseño estructural de la subestructura para cargas no sísmicas del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017)

DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA [AASHTO A5.5]					
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
A.	Longitud de asiento mínima:			1	1
1	¿Se verifica la longitud de asiento mínima de las vigas principales sobre los elementos de la subestructura? [4.7.4.4]	Sí	Sin comentarios	1	1
B.	Cálculo de los efectos de fuerzas no calculados para la superestructura:			7	9
1	¿Se analiza el efecto de la carga de viento sobre la estructura y la carga viva (WS, WL)? [3.8]	Parcialmente	En la página 8 de la memoria de cálculo aportada por el Contratista se menciona en la sección de "cargas de diseño" que se considera la carga de viento. Sin embargo, una vez realizado el análisis de los elementos de la subestructura no se aporta información en relación a las reacciones que pudo haber generado la carga de viento.	0,5	1
2	¿Se analiza el efecto del agua (WA) sobre los elementos de la subestructura? [3.7]	NA	El puente no se encuentra cerca de cuerpos de agua.	NA	NA
5	¿Se analiza el efecto de la fuerza de sismo (EQ) sobre la estructura? [3.10] [4.7.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
6	¿Se analiza el efecto de las fuerzas inducidas por cambios de temperatura (TU, TG)? [3.12.2] [3.12.3] [4.6.6]	Parcialmente	La norma de AASHTO LRFD establece que queda a consideración del diseñador hacer uso o no de las fuerzas y desplazamientos que inducen los cambios de temperatura. En la memoria de cálculo del Contratista no se encontró evidencia de que se hayan considerado estos efectos, ni se adjunta la justificación respectiva.	0,5	1



7	¿Se analiza el efecto de las fuerzas inducidas por otras deformaciones superpuestas (SH, CR, SE, PS)? [3.12.4] [3.12.5] [3.12.6] [3.12.7]	Sí	Sin comentarios.	1	1
9	¿Se analiza el efecto de las fuerzas por impacto vehicular (CT) en los elementos de la subestructura? [3.6.5]	No	No se observó evidencia de que se haya considerado el efecto del impacto de vehículos (CT), para el diseño de las pilas, las cuales van a estar expuestas al paso del tránsito vehicular, conforme lo establece la sección 3.6.5 de la normativa AASHTO LRFD (2017). Tampoco se adjunta la justificación por parte del Contratista del por qué no se realizó esta consideración.	0	1
10	¿Se incluye la fuerza de frenado (BR) en las consideraciones de la carga vehicular? [3.6.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
11	En el caso de puentes curvos, ¿se incluye el efecto la fuerza centrífuga (CE) en las consideraciones de la carga vehicular? [3.6.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
12	¿Se analiza el efecto de las presiones laterales del suelo (EH) que actúan sobre los bastiones y aletones? [3.11.5]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se analiza el efecto de una sobrecarga sobre el material retenido detrás de los bastiones (ES, LS)? [3.11.6]	Sí	Sin comentarios.	1	1
C.	Análisis de la estructura y combinaciones de carga:			2	2
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límite a considerar y los factores de carga correspondientes? [3.4.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1
2	¿Se consideran las combinaciones de los efectos por fuerza de sismo en las dos direcciones perpendiculares de la estructura? [3.10.8]	Sí	Sin comentarios.	1	1



D.	Diseño de elementos a compresión:			5	12
	Columnas:				
1	¿Se determina la resistencia axial factorizada de las columnas y se comprueba que sea suficiente? [5.6.4.4]	Parcialmente	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, se observa en el diagrama de interacción que se coloca un límite de carga axial permitida. Sin embargo, la forma de calcular dicho límite no fue adjuntado, ni se hace referencia a la sección de AASHTO LFRD, u otras normativas, de las que pudo provenir el cálculo realizado.	0,5	1
2	¿Se revisa que las columnas tengan capacidad suficiente para resistir los momentos de diseño en las dos direcciones principales de la estructura (flexión biaxial)? [5.6.4.5]	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se adjuntó la revisión de flexión biaxial, como lo establece la normativa de AASHTO LRFD en su sección 5.6.4.5.	0	1
3	¿Se analizan los efectos de esbeltez de las columnas, o bien, se demuestra que no es necesario considerarlos? [4.5.3.2.2] [5.6.4.3]	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se adjuntó la revisión por esbeltez en las pilas, ni la respectiva justificación para no considerarla, como lo establece la normativa de AASHTO LRFD en su sección 5.6.4.3.	0	1
4	¿Se revisan los requerimientos de área y espaciamiento del refuerzo transversal para elementos en compresión? [5.6.4.6]	Parcialmente	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista se observa que se realizan revisiones en cuanto requisitos de espaciamiento del refuerzo transversal, sin embargo, no se indican las referencias a la normativa que se utilizó para su revisión.	0,5	1
5	¿Se calcula la resistencia nominal a cortante de las columnas y se comprueba que sea suficiente? [5.7.3.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se revisa la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre la columna y la viga cabezal? [5.7.4]	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se adjuntó la revisión de transferencia de cortante a través del plano para los elementos de las pilas, como lo establece la normativa de AASHTO LRFD en su sección 5.7.4.	0	1
6	¿Se verifican los límites para el acero de refuerzo longitudinal de las columnas? [5.6.4.2]	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se adjuntó la revisión del límite del acero de refuerzo longitudinal para los elementos de las pilas, como lo establece la normativa de AASHTO LRFD en su sección 5.6.4.2.	0	1



8	¿Se provee el recubrimiento de concreto suficiente para proteger el acero de refuerzo de las columnas? [5.14.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
9	¿Se revisa la longitud de desarrollo del acero de refuerzo convencional requerida en las secciones críticas de las columnas? [5.10.8.1] [5.10.8.2]	Parcialmente	En los planos constructivos finales aportados por el Contratista si se indican las longitudes de desarrollo, sin embargo, a nivel de la memoria de cálculo, no se adjuntaron las respectivas revisiones.	0,5	1
	¿Se definen los empalmes por traslapo de las barras de acero de refuerzo de las columnas? [5.10.8.4]	Parcialmente	En los planos constructivos finales aportados por el Contratista si se indican las longitudes de los empalmes por traslapo, sin embargo, a nivel de la memoria de cálculo, no se adjuntaron las respectivas revisiones.	0,5	1
Apoyos:					
7	¿Se verifica la resistencia factorizada en la zona de los elementos de apoyos? [5.6.5]	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se adjuntó la revisión de la resistencia factorizada en la zona de los elementos de los apoyos, como lo establece la normativa de AASHTO LRFD en su sección 5.6.5.	0	1
	¿Se realiza el diseño de los apoyos para las cargas y desplazamientos calculados? [14.4] [14.6] [14.7]	Sí	Sin comentarios.	1	1
E.	Diseño de bastiones y cimentaciones (consideraciones estructurales):			9,5	15
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? [5.12.8.4]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se realiza el diseño por cortante de la placa de cimentación para la fuerza cortante de diseño calculada en la sección crítica correspondiente? [5.12.8.6]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se revisa la transferencia de fuerzas a través del plano de contacto entre la columna o muro y la placa de cimentación? [5.12.8.8] [5.7.4]	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se adjuntó la revisión de transferencia de cortante a través del plano para el muro (cuerpo del bastión) y la placa de cimentación, como lo establece la normativa de AASHTO LRFD en su sección 5.7.4.	0	1



3	Bastiones (muro en voladizo)				
	¿Se revisan las condiciones de asentamiento y estabilidad global del muro para el estado límite de servicio? [11.6.2]	NA	No se está construyendo elementos en zonas con taludes, y, adicionalmente, se posee una cimentación de tipo profunda.	NA	NA
	¿Se revisa la capacidad de soporte del suelo para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.3.2]	NA	Posee una cimentación de tipo profunda.	NA	NA
	¿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]	NA	Posee una cimentación de tipo profunda.	NA	NA
	¿Se analiza la estabilidad del muro ante deslizamiento para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.3.6]	NA	Posee una cimentación de tipo profunda.	NA	NA
	¿Se diseña el muro contra la falla estructural generada por flexión para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.4] [5.6.3.2] [5.6.3.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se diseña el muro contra la falla estructural generada por fuerza cortante para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.4] [5.7.3.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿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	Sin comentarios.	1	1
¿Se revisan los requerimientos del acero de refuerzo para resistir los efectos por retracción y temperatura? [11.6.1.5] [5.10.6]	Sí	Sin comentarios.	1	1	
4	Cimentaciones profundas (pilotes):				
	¿Se determina la resistencia axial factorizada de los pilotes y se comprueba que sea suficiente? [5.6.4.4]	Parcialmente	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, se observa en el diagrama de interacción que se coloca un límite de carga axial	0,5	1



			permitida. Sin embargo, la forma de calcular dicho limite no fue adjuntado, ni se hace referencia a la sección de AASHTO LRFD, u otras normativas, de las que pudo provenir el cálculo realizado.		
	¿Se revisa que los pilotes tengan capacidad suficiente para resistir los momentos de diseño en las dos direcciones principales de la estructura (flexión biaxial)? [5.6.4.5]	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se adjuntó la revisión de flexión biaxial, como lo establece la normativa de AASHTO LRFD en su sección 5.6.4.5.	0	1
	¿Se calcula la resistencia nominal a cortante de los pilotes y se comprueba que sea suficiente? [5.7.3.3]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se revisan los requerimientos de área y espaciamiento del refuerzo transversal para pilotes de concreto? [5.6.4.6] [5.12.9]	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se adjuntó la revisión de los requerimientos de área y espaciamiento del refuerzo transversal para pilotes de concreto, como lo establece la normativa de AASHTO LRFD en las secciones 5.6.4.6 y 5.12.9.	0	1
	¿Se verifican los límites para el acero de refuerzo longitudinal de los pilotes? [5.6.4.2] [5.12.9]	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista, no se adjuntó la revisión de límite del acero de refuerzo longitudinal para los elementos de los pilotes, como lo establece la normativa de AASHTO LRFD en su sección 5.6.4.2.	0	1
	¿Se provee el recubrimiento de concreto suficiente para proteger el acero de refuerzo de los pilotes? [5.10.1]	Sí	Sin comentarios.	1	1
	¿Se revisa la longitud de desarrollo del acero de refuerzo convencional requerida en las secciones críticas de los pilotes? [5.10.8.1] [5.10.8.2] [5.12.9.1]	Parcialmente	En los planos constructivos finales aportados por el Contratista si se indican las longitudes de desarrollo, sin embargo, a nivel de la memoria de cálculo, no se adjuntaron las respectivas revisiones.	0,5	1
	¿Se definen los empalmes por traslapo de las barras de acero de refuerzo de los pilotes? [5.10.8.4] [5.12.9.2]	Parcialmente	En los planos constructivos finales aportados por el Contratista si se indican las longitudes de los empalmes por traslapo, sin embargo, a nivel de la memoria de cálculo, no se adjuntaron las respectivas revisiones.	0,5	1
Puntaje total obtenido:				24,5	39
				62,8%	



Apéndice C.

Lista de verificación para la revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39



Página intencionalmente dejada en blanco



Tabla C.1.

Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del Paso a desnivel de Hatillo 4 por construir en Ruta Nacional n.º 39, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017)

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE <u>PUENTE SIN AISLAMIENTO SÍSMICO</u> SEGÚN LINEAMIENTOS PARA DISEÑO SISMORRESISTENTE DE PUENTES DE COSTA RICA Y LA NORMA AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS 8th Ed 2017 (MÉTODO DE FUERZAS)						
Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
1. Requerimientos generales de diseño:					4,5	5
-	-	¿Se realizó previamente un planeamiento y diseño preliminar del Paso a desnivel para cargas de servicio?	Sí	Sin comentarios.	1	1
1.2	3.10.1	¿Las especificaciones de diseño sísmico utilizadas son aplicables al tipo de Paso a desnivel considerado?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.1	-	¿Se establece la clasificación de importancia operacional del Paso a desnivel?	Parcialmente	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista se indica que para efectos del cálculo sísmico se considera la estructura como de tipo esencial. Sin embargo, no se adjunta la respectiva justificación del por qué se descartó considerarla como de tipo crítica.	0,5	1
1.3	C3.10.5	¿Se establecen los criterios de desempeño del Paso a desnivel acordes con su clasificación de importancia operacional?	Sí	Sin comentarios.	1	1
2.3.1	10.4.2	¿Se obtiene la información requerida del suelo de cimentación a partir de una investigación geotécnica del sitio?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	10.5.4.2	¿Se evalúa el potencial de licuación del suelo en el sitio donde se construirá el Paso a desnivel?	NA	No se indicó, por parte del Contratista, que los estudios de suelos arrojaran posibles amenazas de licuación en la zona.	NA	NA



2. Determinación de la demanda sísmica:					4	4
2.1	-	¿Se determina la zona de amenaza sísmica según la ubicación geográfica del Paso a desnivel?	Sí	Sin comentarios.	1	1
2.3	-	¿Se establece la clasificación del sitio de cimentación a partir de la información obtenida de la investigación geotécnica?	Sí	Sin comentarios.	1	1
2.4	-	¿Se determina el espectro de diseño mediante el procedimiento general?	Sí	Sin comentarios.	1	1
2.5.1	-	En caso de ser requerido, ¿se realiza un análisis de amenaza sísmica de sitio específico para obtener el espectro de diseño?	NA	Este requisito no fue solicitado como parte del cartel de licitación, y, a su vez, no se cuenta con un puente que supere los 150 m de luz, y el Contratista no consideró a la estructura como de importancia crítica, por ende no cumple con requerimientos de LDSRP para que esto sea aplicable.	NA	1
2.5.2	-	En caso de ser requerido, ¿se realiza un análisis de respuesta dinámica del sitio para obtener el espectro de diseño?	NA	No se indicó por parte del Contratista que este tipo de análisis fuese requerido.	NA	1
2.6	-	En caso de ser requerido, ¿se consideran los efectos de amplificación espectral por presencia cercana de una falla?	Sí	Sin comentarios.	1	1
2.5	-	Para espectros desarrollados por medio de un procedimiento específico, ¿se considera el límite inferior de 2/3 del espectro de diseño desarrollado por medio del procedimiento general?	NA	Ver comentario del punto 2.5.1.	NA	NA
2.7	-	En caso de sea requerido un análisis de historia en el tiempo, ¿se utilizan acelerogramas congruentes con el marco tectónico y sísmológico del sitio?	NA	No se indicó por parte del Contratista que este tipo de análisis fuese requerido.	NA	NA



2.7	-	En caso de sea requerido un análisis de historia en el tiempo, ¿se desarrollan acelerogramas compatibles con el espectro de respuesta calculado para el sitio dentro del rango de períodos de interés?	NA	No se indicó por parte del Contratista que este tipo de análisis fuese requerido.	NA	NA
3. Determinación de zona de desempeño sísmico y sistema sismorresistente:					4	4
-	4.7.4.3	¿Se evalúa si el puente satisface o no los requisitos mínimos de regularidad?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.3	-	¿Se determina correctamente la zona de desempeño sísmico considerando la zona de amenaza sísmica, la importancia operacional del Paso a desnivel, la regularidad del Paso a desnivel y el potencial de licuación del suelo?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.2	-	¿Se define la estrategia empleada para el diseño sismorresistente del Paso a desnivel: Tipo 1, 2 o 3?	Sí	Sin comentarios.	1	1
3.2	-	¿Se define cuáles son los elementos del Paso a desnivel resistentes a cargas de sismo y si el daño o fluencia es aceptable en estos elementos?	Sí	Sin comentarios.	1	1
4. Análisis de demanda (fuerzas):					6	6
-	4.7.4.3.1	¿Se utiliza un procedimiento de análisis acorde con la zona de desempeño sísmico y características del Paso a desnivel?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	C3.10.7.2	¿Se seleccionan adecuadamente los ejes horizontales para los movimientos del terreno?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	10.5.4.2	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4 y en caso que aplique, ¿se realiza un análisis para considerar los posibles efectos por licuación de suelos?	NA	No se indicó, por parte del Contratista, que los estudios de suelos arrojaran posibles amenazas de licuación en la zona.	NA	NA



-	4.7.4.3.3	¿Se consideran los requisitos de modelado para análisis dinámico estático establecidos en la normativa?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	4.7.4.3.3	¿El número de modos de vibración considerados en el análisis es al menos tres veces el número de tramos considerados en el modelo?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	4.7.4.3.3	¿Los resultados de los diferentes modos de vibración se combinan utilizando el método de combinación cuadrática completa (CQC)?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	3.10.8	¿Se realiza un análisis estático por el método de la carga uniforme siguiendo el procedimiento establecido en la normativa?	Sí	Sin comentarios.	1	1
5. Determinación de fuerzas y desplazamientos de diseño:					5	8
-	3.10.7	¿Se determinan los factores de modificación de respuesta, R, ¿aplicables al tipo de subestructura y conexiones del puente?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	3.10.9.3	Para la zona de desempeño sísmico 2, se determinan las fuerzas de diseño de todos los componentes, ¿excepto cimentaciones, como las fuerzas elásticas obtenidas del análisis divididas entre el factor de modificación de respuesta aplicable al tipo de subestructura (R)?	NA	Para este proyecto aplica la zona de desempeño sísmico 3.	NA	NA
-	3.10.9.3	Para la zona de desempeño sísmico 2, se determinan las fuerzas de diseño de las cimentaciones como las fuerzas elásticas obtenidas del análisis divididas entre la mitad del factor de modificación de respuesta aplicable al tipo de subestructura (R/2)?	NA	Para este proyecto aplica la zona de desempeño sísmico 3.	NA	NA



-	3.10.9.3 3.10.9.4 3.10.7	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4, ¿se determinan las fuerzas sísmicas de diseño iniciales de las columnas como las fuerzas elásticas obtenidas del análisis divididas entre el factor de modificación de respuesta aplicable al tipo de subestructura (R)?	Sí	Sin comentarios.	1	0
-	3.10.9.4.3	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4, ¿se incrementa la capacidad de momento nominal de las columnas mediante el factor de sobrerresistencia aplicable para efectos de calcular las fuerzas asociadas a la formación de rótulas plásticas?	Sí	Sin comentarios.	1	0
-	3.10.9.4.3	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4, ¿se calculan todas las fuerzas asociadas a la formación de rótulas plásticas en las columnas en las dos direcciones ortogonales, de acuerdo con la configuración de la pila (columna sencilla o columna múltiple)?	Sí	Sin comentarios.	NA	NA
-	3.10.9.4.1	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4, se determinan las fuerzas sísmicas de diseño finales de las columnas, ¿sus conexiones y los componentes adyacentes como la menor entre las fuerzas asociadas a la formación de rótulas plásticas en las columnas o las fuerzas elásticas divididas entre el factor de modificación de respuesta apropiado (R)?	Sí	Sin comentarios	1	1
-	3.4.1	¿Se combinan las fuerzas sísmicas de diseño con otros tipos de fuerzas aplicables utilizando los factores de carga correspondientes al estado límite de Evento Extremo I?	Sí	Sin comentarios.	1	1



EIC-Lanamme-INF-1656-2023	Fecha: 20 de noviembre de 2023	Página 74 / 78
---------------------------	--------------------------------	----------------

-	4.7.4.5	¿Se obtienen los desplazamientos inelásticos de la estructura a partir de los desplazamientos elásticos obtenidos del análisis, considerando el factor de magnificación del desplazamiento R_d apropiado?	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista se indican los desplazamientos elásticos obtenidos a partir de sus análisis. Sin embargo, no se determinaron los desplazamientos inelásticos, como se solicita según AASHTO LRFD sección 4.7.4.5.	0	1
-	4.7.4.5	¿Se revisan los requerimientos de capacidad P- Δ considerando los desplazamientos inelásticos de la estructura?	No	No se adjuntó la revisión de requerimientos de capacidad P- Δ considerando los desplazamientos inelásticos de la estructura, como se solicita según AASHTO LRFD sección 4.7.4.5.	0	1
6. Diseño y detallado de columnas dúctiles de concreto reforzado:					5,5	13
6.1 Diseño por flexión:						
-	5.11.4.1.2	Para columnas con refuerzo de aros o espirales, ¿se utiliza un factor de reducción de resistencia $\phi = 0.9$?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	5.11.4.1.2	¿Se revisa que la resistencia biaxial de las columnas sea suficiente para resistir los momentos de diseño actuando en combinación con la fuerza axial de diseño?	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista se revisan los efectos del cortante biaxial en los elementos de interés, sin embargo, no se revisan los efectos de la flexión biaxial, como se solicita según AASHTO LRFD sección 5.11.4.1.2.	0	1
-	5.11.4.1.2	¿El análisis de flexión biaxial considera las fuerzas axiales de diseño tanto máxima como mínima?	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista se revisan los efectos del cortante biaxial en los elementos de interés, sin embargo, no se revisan los efectos de la flexión biaxial, como se solicita según AASHTO LRFD sección 5.11.4.1.2.	0	1
6.2 Diseño por cortante:						
-	5.11.4.1.3	¿Se obtiene la resistencia nominal a cortante considerando el aporte del concreto y el aporte del refuerzo transversal?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	5.5.4.2	¿Se aplica el factor de reducción de resistencia correspondiente a fuerza cortante $\phi = 0.9$?	Sí	Sin comentarios.	1	1



EIC-Lanamme-INF-1656-2023	Fecha: 20 de noviembre de 2023	Página 75 / 78
---------------------------	--------------------------------	----------------

-	5.11.4.1.3	¿Dentro de la región de rótula plástica, se considera la reducción en la capacidad de cortante aportada por el concreto cuando la fuerza axial que actúa en la columna (considerando los efectos de sismo) es pequeña?	NA	No aplica la revisión en este artículo dado que la fuerza axial aplicada en los elementos es mayor a 0.10 f'c Ag.	NA	NA
-	5.11.4.1.3	¿Se revisa que la resistencia a cortante de las columnas sea suficiente para resistir las fuerzas cortantes de diseño, tanto dentro como fuera de la región de rótulas plásticas?	Sí	Sin comentarios.	1	1
6.3 Detallado del refuerzo longitudinal:						
-	5.11.3.1	Para la zona de desempeño sísmico 2, ¿se revisa que el área de acero longitudinal esté entre el 1% y el 6% del área de sección transversal de la columna?	NA	Para este proyecto aplica la zona de desempeño sísmico 3.	NA	NA
-	5.11.4.1.1	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4, ¿se revisa que el área de acero longitudinal esté entre el 1% y el 4% del área de sección transversal de la columna?	No	No se adjuntó la revisión de área mínima y máxima de acero longitudinal en la columna, como se requiere según AASHTO LRFD en su artículo 5.11.4.1.1. Sin embargo, la Unidad de Puentes revisó el espesor manualmente y se determinó que este cumple.	0	1
-	5.11.4.3	¿Se revisan los requisitos con respecto a la longitud de desarrollo del refuerzo longitudinal de las columnas?	No	En los planos constructivos finales aportados por el Contratista si se indican las longitudes de desarrollo, sin embargo, a nivel de la memoria de cálculo, no se adjuntaron las respectivas revisiones.	0	1



-	5.11.4.1.6	¿Se revisan los requisitos con respecto a los empalmes del refuerzo longitudinal de las columnas?	No	En los planos constructivos finales aportados por el Contratista si se indican las longitudes de los empalmes por traslapo, sin embargo, a nivel de la memoria de cálculo, no se adjuntaron las respectivas revisiones. Adicionalmente, se resalta que este criterio indica que no se pueden realizar empalmes en las zonas de rótula plástica, en los planos constructivos aportados por el Contratista, en la sección de notas generales se indica que no se permiten empalmes en las uniones bastión-placa y bastión-apoyo de vigas, pero no se incluye una nota similar para las columnas de las pilas.	0	1
6.4 Detallado del refuerzo transversal:						
-	5.11.4.1.4 5.11.4.1.5	¿Se revisan los requisitos con respecto al detallado del refuerzo transversal de las columnas colocado dentro de la región de rótula plástica?	No	No se adjuntó la revisión de los requisitos con respecto al detallado del refuerzo transversal de las columnas colocado dentro de la región de rótula plástica, como se requiere según AASHTO LRFD en su artículo 5.11.4.1.4.y 5.11.4.1.5.	0	1
-	5.11.4.1.4	¿Se revisa el límite mínimo aplicable de la cantidad de refuerzo transversal de las columnas colocado dentro de la región de rótula plástica?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	5.11.4.1.5	¿Se revisa el límite máximo del espaciamiento del refuerzo transversal de las columnas colocado dentro de la región de rótula plástica?	Parcialmente	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista si se realiza la revisión del límite máximo de espaciamiento del refuerzo transversal del as columnas en la región de la rótulas plástica. Sin embargo, como lo establece AASHTO LRFD, en su sección 5.11.4.1.5, el espaciamiento máximo del debe de ser de 10 cm, y se indicó que este debía ser de 15 cm.	0,5	1
7. Diseño por capacidad de los elementos adyacentes:					8	10
7.1 Diseño por capacidad de la viga cabezal de la pila:						
-	3.10.9.4	¿Se realiza el diseño de la viga cabezal de las pilas para resistir las fuerzas sísmicas de diseño calculadas?	Sí	Sin comentarios.	1	1



		7.2 Diseño por capacidad de las conexiones de la columna:				
-	5.11.4.3	¿Se realiza el diseño de las conexiones resistentes a momento de la columna para transmitir las fuerzas sísmicas de diseño calculadas?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	5.11.4.3	¿Se revisa la longitud mínima que debe extenderse el refuerzo transversal de la columna dentro del elemento adyacente?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	5.11.4.3	¿Se revisa el límite máximo de la resistencia nominal a cortante aportada por el concreto en el nudo de unión?	No	No se adjuntaron los cálculos en relación al nudo que se forma entre el apoyo fijo y las pilas para determinar si estas cumplen con el límite máximo de la resistencia nominal a cortante aportada por el concreto, como se indica según AASHTO LRFD en su artículo 5.11.4.3.	0	1
		7.3 Diseño sísmico de cimentaciones:				
-	5.11.3.2.1 5.11.4.5.1	¿Se realiza el diseño de las cimentaciones de concreto para resistir las fuerzas sísmicas de diseño calculadas?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	10.5.4.2	En caso de ser aplicable ¿se consideran los efectos de licuación de suelos en el diseño sísmico de las cimentaciones?	NA	No se indicó, por parte del Contratista, que los estudios de suelos arrojaran posibles amenazas de licuación en la zona.	NA	NA
-	10.6.4	En caso de ser aplicable, ¿se revisan los requerimientos de diseño sísmico para cimentaciones superficiales (volcamiento, deslizamiento, capacidad de soporte, estabilidad global)?	NA	Se tiene una cimentación de tipo profunda.	NA	NA
-	10.7.4	En caso de ser aplicable, ¿se revisan los requerimientos de diseño sísmico para cimentaciones de pilotes hincados?	NA	El pilote diseñado es de tipo pre - excavado.	NA	NA
-	10.8.4 10.7.4	En caso de ser aplicable, ¿se revisan los requerimientos de diseño sísmico para cimentaciones de pilotes preexcavados y colados en sitio?	Sí	Sin comentarios.	1	1
-	5.11.4.5	En caso de ser aplicable, ¿se revisan los requerimientos de diseño sísmico para pilotes de concreto?	Sí	Sin comentarios.	1	1



7.5 Diseño sísmico de bastiones:						
-	11.6.5	¿Se revisan los requerimientos de diseño sísmico de los bastiones en la dirección longitudinal (considerando presiones laterales de suelo inducidas por sismo, efectos inerciales del muro y fuerzas sísmicas provenientes de la superestructura)?	Sí	Sin comentarios.	1	1
4.4	11.6.5.2.2 11.6.5.2.3	¿Se utiliza el método de análisis de Mononobe-Okabe o el método Generalizado de Equilibrio Límite para calcular las presiones activas del suelo generadas durante el sismo, considerando una aceleración horizontal no menor al 50% del coeficiente de aceleración C_a ?	Sí	Sin comentarios.	1	1
7.6 Diseño sísmico de apoyos:						
-	14.6.5.3	¿Se realiza el diseño de los apoyos, restricciones y anclajes para resistir, como mínimo, las fuerzas sísmicas de diseño calculadas?	NA	No se adjuntaron los cálculos del diseño de los apoyos fijos para determinar si estas resisten las fuerzas sísmicas de diseño calculadas, como se indica según AASHTO LRFD en su artículo 14.6.5.3.	0	1
-	14.7.5.3.7	En el caso de apoyos expansivos elastoméricos, ¿se diseñan los anclajes para resistir adecuadamente las fuerzas sísmicas horizontales en exceso de las fuerzas que son acomodadas por la deformación lateral de la almohadilla?	No	En la memoria de cálculo aportada por el Contratista no se indicó la revisión de los anclajes por exceso de fuerza sísmica horizontal, como se indica según AASHTO LRFD 14.7.5.3.7.	0	1
-	4.7.4.4	¿Se revisan los requisitos de longitud de asiento mínima para la zona de desempeño sísmico aplicable?	Sí	Sin comentarios.	1	1
Puntaje total obtenido:					37	50
					74,0%	