



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Estructural

LM-PIE-32-2020

INFORME DE INVESTIGACIÓN

REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PASO A DESNIVEL DE LA INTERSECCIÓN DE GUADALUPE, RUTA NACIONAL No.39



San José, Costa Rica

Agosto, 2020



1. Proyecto: LM-PIE-32-2020		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PASO A DESNIVEL DE LA INTERSECCIÓN DE GUADALUPE, RUTA NACIONAL No.39		4. Fecha del Informe Agosto, 2020
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias Ninguna		
7. Resumen <i>El siguiente informe presenta los resultados de la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del paso a desnivel del proyecto: Paso a Desnivel de la Intersección de Guadalupe, Ruta Nacional No.39; el cual consiste de una serie de obras para mejorar la movilidad y la conectividad del tramo en la ruta, que comprende desde la entrada de la Facultad de Derecho de la Universidad de Costa Rica, pasando a través de la Rotonda de La Bandera, hasta llegar a la actual Intersección de Guadalupe.</i> <i>El Programa de Ingeniería Estructural (PIE) realiza esta revisión ante la solicitud de criterio técnico de la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) del Programa de infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR.</i> <i>Este documento es parte de las competencias de Fiscalización de la Red Vial Nacional asignadas al LanammeUCR por medio de la Ley 8114</i>		
8. Palabras clave Paso a desnivel, Ruta Nacional No. 39, Intersección de Guadalupe, Memoria de cálculo, Control de calidad, Aseguramiento de la calidad.	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 55
11. Informe por: Ing. Andrés González León Programa de ingeniería Estructural	12. Revisado y aprobado por: Ing. Rolando Castillo Barahona Coordinador Programa Ingeniería Estructural	13. Aprobado por:



Tabla de contenidos

1.	Introducción	5
1.1	Objetivo General	6
1.2	Objetivos específicos	6
1.3	Descripción del proyecto	6
1.4	Alcance	8
2.	El control y aseguramiento de la calidad	10
2.1	El control y el aseguramiento de la calidad del diseño estructural en la etapa de diseño.....	11
2.2	Contenido de un plan de control y de un plan de aseguramiento de la calidad para la etapa de diseño	12
3.	Revisión de los documentos de licitación	13
3.1	Resultados de la revisión del documento de licitación	13
4.	Criterios para la revisión de la memoria de calculo.....	15
4.1	Memoria de cálculo de un proyecto.....	15
4.2	Procedimiento para la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural	16
5.	Revisión de la memoria de calculo	18
5.1	Observaciones generales y recomendaciones.....	18
5.2	Observaciones específicas y recomendaciones	21
5.2.1	Diseño de la superestructura - Losa	22
5.2.2	Diseño de la superestructura – Vigas principales y viga diafragma...	24
5.2.3	Diseño de la subestructura – Bastión	25



6. Referencias.....	29
Anexo 1. Memorando de solicitud de análisis de las memorias de cálculo del contratista.....	30
Anexo 2. Lista de normativa exigida al contratista como parte del cartel de licitación SDP-001-2014	32
Anexo 3. Apéndice A5 de la norma AASHTO LRFD Bridge Design Specifications Fifth Edition, 2010.	35
Apéndice 1. Listas de verificación de la memoria de cálculo del paso a desnivel en la Intersección de Guadalupe.....	39

1. Introducción

El siguiente informe presenta los resultados de la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del paso a desnivel del proyecto: Paso a Desnivel de la Intersección de Guadalupe, Ruta Nacional No.39; el cual consiste de una serie de obras para mejorar la movilidad y la conectividad del tramo en la ruta, que comprende desde la entrada de la Facultad de Derecho de la Universidad de Costa Rica, pasando a través de la Rotonda de La Bandera, hasta llegar a la actual Intersección de Guadalupe.

El Programa de Ingeniería Estructural (PIE) realiza esta revisión ante la solicitud de criterio técnico de la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) del Programa de infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR según consta en el Memorando LM-UAT-0039-2020 (ver Anexo 1).

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

1.1 Objetivo General

El objetivo general de este informe es presentar el resultado de la revisión realizada a la memoria de cálculo del diseño estructural del paso a desnivel de la intersección de Guadalupe.

1.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este informe es investigar lo siguiente:

- a. Describir los conceptos de control y aseguramiento de la calidad y la importancia de su inclusión en los carteles de licitación.
- b. Verificar si el cartel de licitación solicita al contratista el desarrollo y seguimiento de un programa de control y aseguramiento de la calidad del diseño estructural.
- c. Determinar si la memoria de cálculo contiene la información mínima que se indica en el Apéndice A5 de la normativa AASHTO LRFD 2010
- d. Verificar si la estructura e información incluida en la memoria de cálculo permite facilitar el seguimiento al procedimiento, los cálculos y suposiciones realizadas.

1.3 Descripción del proyecto

El proyecto titulado: *Paso a desnivel de la Intersección de Guadalupe, Ruta Nacional No.39*, es un esfuerzo coordinado por el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), propietario del proyecto, junto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), quien funge como ente fiscalizador de la etapa de diseño y construcción del proyecto. La etapa de diseño fue desarrollada con un préstamo del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE); a través del proyecto denominado “*Asistencia técnica y aumento de las capacidades institucionales en estudios previos, diseños constructivos y contratación de obras viales (Préstamo BCIE 1)*”. Este proyecto no solo contempla el diseño del paso a desnivel de la



intersección de Guadalupe, sino también el diseño de un paso a desnivel sobre las intersecciones de la rotonda de las Garantías Sociales y de La Bandera-UCR. La meta del proyecto es agilizar el tránsito sobre la ruta No.39 y conectar con el tramo de circunvalación norte.

El cartel licitación fue desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2014), el cual se titula: “*SDP-001-2014 Ingeniería para el diseño de detalle, presupuesto, pliegos de especificaciones técnicas y documentos para licitación de las intersecciones Garantías Sociales, La Bandera-UCR y Guadalupe. San José, Costa Rica.*”, de ahora en adelante citado solamente como el documento *SDP-001-2014*. En julio del año 2014, sale a concurso este cartel de licitación para realizar los diseños, planos y las especificaciones técnicas de las intersecciones de Guadalupe, Garantías Sociales y La Bandera-UCR sobre la Ruta Nacional No.39.

Como resultado del proceso de licitación, el proyecto fue adjudicado, a la empresa internacional, Euroestudios S.L. No se cuenta con información del monto de adjudicación de este contrato.

La sección del proyecto correspondiente a la intersección de Guadalupe, contempla el diseño de las estructuras detalladas en el Tomo 1 de los documentos entregados por la empresa adjudicada. Estas estructuras son:

- Paso inferior de seis carriles en el sentido San Pedro-Calle Blancos
- Paso superior de rotonda a dos carriles en el sentido Guadalupe-San José.
- Muros de entrada y salida de la rotonda.
- Un paso peatonal.
- Paso de alcantarilla de cuadro sobre el río Torres.

La Figura 1 se muestra la intersección de Guadalupe en la condición antes del proyecto, y en la Figura 2 se muestra como luciría con el paso a desnivel una vez finalizado.



Figura 1. Fotografía de la intersección de Guadalupe sin intervención

Fuente: Ministerio de obras públicas y transportes [MOPT], 2019



Figura 2. Ilustración de la intersección de Guadalupe con intervención

Fuente: La Republica, 2019

1.4 Alcance

Este informe presenta los resultados de la revisión del diseño estructural del paso a desnivel de la intersección Guadalupe. Específicamente la revisión de los



componentes indicados a continuación y sus elementos según se indica a continuación:

- Superestructura
 - Tablero
 - Vigas
 - Diafragma
- Subestructura
 - Cuerpo de bastión
 - Fundaciones
 - Apoyos

Para realizar la revisión del diseño estructural del paso a desnivel se contó con los entregables de la licitación *SDP-001-2014*. Estos entregables son:

- Memoria de cálculo.
- Planos de diseño.

La memoria de cálculo del diseño del paso a desnivel está incluida en los Tomos 3 y 4, los cuales llevan por título “Anexo 08: Estructuras (1)” y “Anexo 08: Estructuras (2)” respectivamente.

El presente informe se limitó a revisar específicamente la siguiente información:

- El uso de la normativa indicada en las especificaciones técnicas del cartel de licitación para el diseño estructural.
- Las etapas de diseño consideradas en el diseño estructural.
- El contenido de cada etapa de diseño.
- Facilidad para darle seguimiento a las etapas de diseño y a los cálculos realizados.
- Explicación y justificación brindadas por el diseñador a las suposiciones realizadas en el diseño

Es importante mencionar que la revisión de la memoria de cálculo se realizó de manera cualitativa y no cuantitativa. Esto significa que durante el proceso de revisión no se evalúa la exactitud de los cálculos y/o el correcto modelamiento en programas estructurales de los diferentes elementos del paso a desnivel. El aseguramiento de la calidad de los cálculos y del modelado estructural es responsabilidad del profesional responsable del diseño estructural y por tanto es de esperar que el contratista cuenta con un plan de control y de aseguramiento de la calidad que permita garantizar la confiabilidad en los resultados obtenidos.

Se inspeccionan los planos de diseño con el fin de comprender el contenido de la memoria de cálculo. Sin embargo, el alcance de la revisión no contempla la revisión detallada del contenido de los planos.

Además, se consultó y revisó el cartel de licitación *SDP-001-2014* para la elaboración de las propuestas por parte de los oferentes. Esta revisión se limitó a los criterios que pudiera establecer la Administración, respecto a lineamientos que garanticen la calidad en los entregables (memorias de cálculo y planos), dentro de documentos contractuales.

2. El control y aseguramiento de la calidad

Un programa de control y aseguramiento de la calidad establece los procedimientos organizacionales o prácticas para asegurar que los requisitos y expectativas de la Administración se satisfacen en su totalidad (The Federal Highway Administration [FHWA], 2011). Un programa de control y aseguramiento de la calidad proporciona controles dentro de una organización, para asegurar la calidad de los entregables de la etapa de diseño (memorias de cálculo, especificaciones y planos). Los programas de control y aseguramiento de la calidad son implementados en las distintas etapas del proyecto. El contratista o consultor encargado del diseño, es responsable de corroborar que sus cálculos y dibujos son precisos y satisfacen los



requisitos de diseño del proyecto. El diseñador realiza un control de calidad de su propio trabajo, estableciendo procedimientos de auto revisión para lograr precisión y exactitud del trabajo. Por otra parte, el profesional revisor, realiza el aseguramiento de la calidad y es responsable de la verificación independiente del trabajo del diseñador para asegurar la precisión y exactitud conforme los requisitos y expectativas de diseño establecidas por la Administración.

La Administración juega el papel más importante en la calidad y éxito de un proyecto desde la etapa de diseño hasta su ejecución. La Administración debe establecer claramente los requisitos y alcances en temas de calidad a través de los documentos contractuales (FHWA, 2011).

2.1 El control y el aseguramiento de la calidad del diseño estructural en la etapa de diseño

Debido a lo indicado en el apartado anterior, es fundamental comprender el significado y saber diferenciar los conceptos de control de calidad y aseguramiento de la calidad según se describe a continuación:

- Control de calidad: *“Procedimientos para el chequeo de la precisión de los cálculos y la consistencia de los planos, detectando y corrigiendo omisiones y/o errores de diseño antes de que los planos finales de diseño se finalicen, se verifica si las especificaciones de carga sobre los elementos son adecuadas para las condiciones de servicio y operación”* (FHWA, 2011).
- Aseguramiento de la calidad: *“Procedimientos de revisión de trabajos que aseguran que el control de calidad ha sido el adecuado y se han prevenido errores de manera efectiva, además se cerciora de que exista consistencia en el desarrollo de las especificaciones y los planos de diseño”* (FHWA, 2011).

Según el Departamento de Transporte de Minnesota (MnDOT por sus siglas en inglés), el plan y el seguimiento del control de calidad lo deben realizar las empresas

o los profesionales encargados del diseño, para asegurar la precisión y la integridad de los cálculos y consideraciones de diseño. Este plan debe incluir los lineamientos especificados por la Administración, en documentos contractuales, y deben ser revisados y aprobados por la misma Administración antes de la adjudicación del contrato.

Y como parte de un programa de aseguramiento de la calidad, todos los cálculos y consideraciones de diseño deben ser verificados por un profesional independiente calificado, y que preferiblemente no haya estado involucrado en la realización del diseño, este profesional encargado de la revisión y verificación del diseño debe identificarse como parte del plan de aseguramiento de la calidad de la etapa de diseño (MnDOT, 2018).

2.2 Contenido de un plan de control y de un plan de aseguramiento de la calidad para la etapa de diseño

Con base en la teoría expuesta anteriormente, existen distintos documentos basados en la normativa de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), para verificar la calidad del contenido en el diseño estructural de un puente, entre los cuales se puede referenciar las guías estatales de EEUU. Conforme a lo que establecen estas guías estatales una memoria de cálculo debe considerar la realización de las siguientes acciones:

- 1) Revisar el uso de especificaciones de diseño adecuadas
- 2) Revisar todos los datos de entrada utilizados en la memoria de cálculo y las fuentes de donde se obtuvieron los mismos.
- 3) Indicar a detalle en cuanto al uso de programas computacionales (datos de entrada y salida)
- 4) Revisar los cálculos matemáticos y de ingeniería.
- 5) Revisar la precisión técnica y gramatical, así como de organización en los documentos entregados.

- 6) Revisar los supuestos realizados para modelar la estructura y las consideraciones de diseño implementadas en el procedimiento de diseño.
- 7) Revisar que las memorias de cálculo muestren de forma transparente y ordenada los pasos necesarios para obtener los resultados de los cálculos y programas computacionales utilizados.
- 8) Comprobar que el diseñador evaluó el problema adecuadamente, aplicó los análisis correctos y asignó personal calificado para realizar las tareas.

Es importante destacar que también es responsabilidad de la Administración, realizar el aseguramiento de calidad de los entregables para el diseño de puentes. Este proceso se utiliza para verificar la idoneidad de los procedimientos de control de calidad que utilizan los profesionales o las empresas adjudicadas para la realización de los diseños (modificado de MnDOT, 2018).

3. Revisión de los documentos de licitación

Se realizó una revisión del cartel de licitación (SDP-001-2014), descrito en la sección 1.3 de este informe, extraído de la plataforma digital de Mercado Global de las Naciones Unidas (UNGM, por sus siglas en inglés). Esta revisión tiene el objetivo de identificar si la Administración especificó requerimientos relacionados con control y aseguramiento de la calidad de los entregables: memoria de cálculo y planos.

3.1 Resultados de la revisión del documento de licitación

En el documento de licitación no se especifica como un requisito del concurso, la entrega de lineamientos para el desarrollo de un plan de control y de aseguramiento de la calidad por parte de los oferentes.

Sin embargo, cabe mencionar que el cartel de licitación establece una lista de normativas y regulaciones en el capítulo “11 – Especificaciones a tomar en cuenta”, que deben seguir los oferentes en la elaboración de los entregables de la etapa de diseño, para garantizar el mejor desempeño, durabilidad y seguridad de los usuarios



de las vías y estructuras (ver Anexo 2). La lista de normas y reglamentos indicados establece en cierta medida un nivel de calidad mínimo de los documentos que deben entregarse por parte de los oferentes.

Por otro lado, si se incluye el tema de control de calidad como un criterio que pondera dentro del puntaje de evaluación de la propuesta técnica de cada oferente, como parte del apartado de “Experiencia de la empresa/Organización”, como se puede observar en el extracto obtenido del documento SDP-001-2014, en la Figura 3. Sin embargo, esto no obliga a los participantes de la licitación a desarrollar un programa de control y aseguramiento de la calidad, sino que representa un criterio más de puntaje para la evaluación de las propuestas, y del cual no se detalla mayor información del contenido que deba presentarse para optar por el puntaje indicado.

Evaluación de la Propuesta Técnica Formulario nº 1		Puntuación máxima
Experiencia de la empresa/Organización		
1.1	Reputación de la organización y su personal / credibilidad / fiabilidad / situación en la industria/ empresa	50
1.2	Capacidad organizativa general que pueda afectar a la realización: - estabilidad financiera - consorcio libre no constituido (loose consortium), holding o empresa única - años / tamaño de la empresa - fuerza de apoyo a la gestión de proyectos - capacidad de financiación del proyecto - controles de gestión del proyecto	90
1.3	Grado de subcontratación de cualquier trabajo (la subcontratación conlleva riesgos adicionales que pueden dificultar la ejecución del proyecto; no obstante, bien gestionada, la subcontratación ofrece la oportunidad de acceder a conocimientos especializados.)	15
1.4	Procedimientos de control y garantía de calidad	25
1.5	Importancia de: - conocimiento especializado - experiencia en programas y proyectos similares - experiencia en proyectos en la región América Latina y Caribe - Trabajos realizados para programas del PNUD, multilaterales o bilaterales de gran envergadura	120
		300

Figura 3. Criterios para la evaluación de las ofertas incluidos en el cartel de licitación (SDP-001-2014) con respecto a la experiencia de la empresa/organización.

4. Criterios para la revisión de la memoria de cálculo

Para verificar la precisión, la consistencia y el contenido mínimo de la información de un diseño es necesario contar con una memoria de cálculo con un cierto grado de calidad. Entiéndase por calidad como el grado en el que un conjunto de características de un producto o servicio cumple con los requisitos y las necesidades establecidas por el cliente (norma ISO 9000:2015).

Para lograr que el contratista entregue una memoria de cálculo de calidad, la Administración debe especificar en los documentos contractuales un nivel mínimo de calidad de los productos por entregar. Esto es posible de lograr si en el documento de licitación se especifica que el contratista debe contar con un sistema de control y de aseguramiento de la calidad del proyecto. Por lo tanto, el Contratista debería entregar a la Administración un plan de control de calidad y un plan de aseguramiento de la calidad del diseño. Estos planes deben ser sometidos ante la Administración para ser revisado y aprobado por la misma antes del inicio de los trabajos (DeIDOT, 2019).

Es importante recalcar que, al no contar con una serie de lineamientos para el desarrollo de la memoria de cálculo, se vuelve complicado dar seguimiento al contenido de la memoria y por lo tanto realizar la revisión del mismo.

4.1 Memoria de cálculo de un proyecto.

La memoria de cálculo de un diseño estructural es un documento muy importante que un Contratista debe entregar obligatoriamente junto con los planos de diseño de un puente. Este documento debe mostrar de forma detallada y clara el procedimiento, los análisis, los cálculos y las suposiciones que se realizan en la etapa de diseño. En específico, la memoria de cálculo estructural, debe describir todas las consideraciones de diseño tales como: cargas permanentes, cargas viva vehicular, efecto de otras fuerzas (sismo, viento, colisión entre otras), combinaciones de carga, estados limites, factores de carga y resistencia, revisión



de detalles y diseño de elementos específicos de la superestructura y subestructura y demostrar la capacidad de la estructura satisface la demanda de diseño requerida (modificado de Chakrabarty, S. 2009).

El contenido y detalle de una memoria de cálculo debe permitir a un profesional experimentado e independiente al diseñador del puente comprobar y avalar los cálculos realizados. Este profesional experimentado puede ser un representante del Contratista. Además, la Administración debe contratar un profesional o asignar la revisión a un una integrante de su equipo para revisar el documento de manera independiente.

4.2 Procedimiento para la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural

Para la revisión cualitativa del contenido de la memoria de cálculo se decidió utilizar como referencia el Apéndice A5 de la norma AASHTO LRFD 2010. Este Apéndice muestra el proceso y la consideraciones mínimas a seguir para el diseño de puentes de concreto reforzado y presforzado (ver Anexo 3) .

Partiendo de lo que establece el apéndice A5 de AASHTO LRFD 2010, se desarrollaron listas de verificación por componente según se muestra en la Tabla 1. El propósito de las listas de verificación es evaluar de manera sistemática el proceso de diseño y el contenido de la información aportada por el Contratista para el diseño de los elementos del puente.

Tabla 1. Listas de verificación desarrolladas por componente considerando los distintos elementos del puente.

Lista de verificación	Componente del puente	Elemento	Tipo
A.5.3 – Diseño de la superestructura - Losa	Superestructura	Elementos principales	Losa de concreto reforzado
A.5.3 – Diseño de la superestructura - Vigas	Superestructura	Elementos principales	Vigas principales de concreto presforzado



A.5.5 – Diseño de la subestructura – Bastiones y fundaciones	Subestructura	Elementos secundarios	Diafragmas
		Cuerpo de bastiones	Cabezal sobre pilotes
		Fundaciones	Pilotes
		Apoyos	Elastomérico

En la Figura 4 se presenta el formato de las listas de verificación donde se muestra los criterios de revisión debidamente referenciado a la norma ASSHTO LRFD 2010, su cumplimiento y comentarios. Estos criterios fueron obtenidos del Apéndice A5 de AASHTO LRFD 2010 y son utilizados para verificar la calidad del contenido en la memoria de cálculo. Específicamente se revisa si los criterios se cumplen en su totalidad, se cumplen de forma parcial o no se cumplían. También se puede presentar el caso cuando no se cuenta con la información suficiente para su comprobación. Este caso se indica en las listas como: “Info. insuficiente”. Esta verificación no considera la revisión de cálculos numéricos.

En el Apéndice 1 se incluyen las listas de verificación completas por componente del puente en estudio.

A.5.3 – Diseño de la superestructura - Losa			
Ap. A5	Criterio	Cumplimiento (Si/No/Parcial/Info. Insuficiente)	Comentarios
C. Diseño convencional de una losa de concreto reforzado			
1	¿Se realiza un método aproximado de análisis - Método de franjas [A4.6.2.1]?	Parcial	Se utiliza una edición más antigua de la normativa AASHTO LRFD, que la mínima que se solicita en las especificaciones del cartel de licitación.
1.1	¿Se definen todas las cargas permanentes de diseño [A3.5.1]?	Sí	
6	¿Se verifica la carga viva vehicular aplicable según el caso de estudio [A3.6.1.3.3]?	Parcial	Se utilizan los momentos de carga viva vehicular del Tabla A4-1 para tramos interiores, aunque no se comprueba el cumplimiento de los requisitos para la utilización de los datos de la tabla. No se indica la especificación de diseño de carga viva vehicular utilizado en el diseño del voladizo.

Figura 4. Formato que siguen las listas de verificación



5. Revisión de la memoria de cálculo

Como se mencionó anteriormente, se realizó la revisión de la memoria de cálculo de los principales elementos estructurales agrupados por componentes de un puente. Además, se consultaron los planos constructivos como material de soporte al contenido de la memoria y que representa el producto generado a partir de las memorias de cálculo. En las siguientes secciones se presentan observaciones generales y específicas realizadas durante el proceso de revisión y sus respectivas recomendaciones.

5.1 Observaciones generales y recomendaciones

A partir de la revisión realizada del contenido de la memoria de cálculo, la estructura y formato presentado en el documento; y conforme a las acciones que deben considerarse como buenas prácticas dentro de un programa de control y aseguramiento de la calidad de una memoria de cálculo (ver sección 2.2), se realizan las siguientes observaciones y recomendaciones:

a. Uso del idioma

1. Las memorias se encuentran desarrolladas entre una combinación del idioma español e inglés, algunos datos, variables y tablas se amplían en idioma español y otras en idioma inglés, lo cual no refleja uniformidad en el documento.

Recomendación

Se sugiere a la Administración que toda información suministrada por el contratista se debe presentar en para facilitar el seguimiento del mismo por parte de un tercero.

b. Unidades de medida

1. La memoria de cálculo utiliza unidades de medida del sistema imperial. Esta situación obligaría a un revisor independiente a realizar las conversiones respectivas en caso de que se necesite validar los cálculos realizados.



Recomendación

Se sugiere a la Administración incluir en los carteles un lineamiento respecto a las unidades de medida que se deben utilizar en la elaboración de una memoria de cálculo, con el fin de facilitar la revisión por parte de terceros.

c. Programas computacionales de cálculo estructural

1. Cuando se presentan resultados o datos en forma de tablas o gráficos, no se especifica si la información proviene de una hoja de cálculo o alguno de los programas computacionales de cálculo estructural indicados al inicio de la memoria. Esta situación dificulta el seguimiento de la memoria de cálculo.

Recomendación

Solicitar aclaración al contratista, que se especifique cuáles fueron los programas computacionales utilizados para derivar las tablas y gráficos respectivos.

d. Datos de entrada

1. No fue posible dar trazabilidad a los datos de entrada utilizados para la realización de los cálculos, así como a las fórmulas utilizadas en el cálculo de los diferentes parámetros mostrados como se indica en las listas de verificación.

Recomendación

Solicitar al contratista que se indique la fuente de los datos de entrada necesarios para la realización de los cálculos, incluyendo las suposiciones y consideraciones tomadas.

2. En diferentes secciones de la memoria de cálculo, no se especifican las combinaciones de carga que se están analizando para cada estado límite. Esta situación obliga a un tercero a realizar interpretaciones o suposiciones. Esto no debe suceder.

Recomendación

Solicitar al contratista que indique en la memoria de cálculo la fuente de los datos de entrada requeridos para la realización después de los cálculos, incluyendo las suposiciones y consideraciones tomadas.

e. Normativa

1. No se utiliza normativa vigente según el cartel de licitación (ver comentario del inciso 5.2.1.a. para mayor información). Además, se utiliza una especificación inadecuada para el tipo de estructura (ver observación 2 del inciso 5.2.3.e. para mayor información).

Recomendación

Consultar al Contratista la justificación de utilizar normativa desactualizada conforme a lo indicado en las especificaciones del cartel de licitación SDP-001-2014.

Solicitar al contratista la justificación de utilizar una norma inadecuada para el tipo de estructura.

f. Formato y estructura del documento

1. En varios apartados de la memoria de cálculo, se muestran tablas con la información recortada, así como tablas de cálculo repetidas, lo que dificulta el seguimiento de la información presentada.

Recomendación

Se le recomienda a la Administración solicitar al Contratista revisar y mejorar la presentación final del documento ya que se evidencia una falta en el control de la calidad en la versión entregada.

2. Se presentan una serie de comentarios producto del proceso de revisión interna de la memoria y de las cuales se desconoce su intención dentro del documento.

Recomendación

Se le recomienda a la Administración consultar al Contratista si estos comentarios deben de aparecer en la versión final del documento. O en su defecto que se aclare el objetivo de que estos comentarios aparezcan dentro del documento.

g. Control y aseguramiento de calidad del contratista

1. Dentro de la memoria de cálculo el Contratista muestra una hoja de control de revisión de las memorias a lo interno, en concordancia con las buenas prácticas destacadas en la sección 2.2 de un programa de control de calidad. En esta hoja se indican los profesionales responsables y etapas de la revisión interna de la memoria de cálculo.

Recomendación

Consultar a la Administración si cuentan con el plan de control y aseguramiento de la calidad utilizado por el Contratista para la revisión interna de los entregables.

5.2 Observaciones específicas y recomendaciones

A continuación, se presenta un resumen de observaciones específicas identificadas con la ayuda de las listas de verificación generadas a partir del apéndice A5 de la norma AASHTO LRFD 2010. El detalle de las observaciones se presentan por componente y por elemento según lo indicado en la Tabla 1 de la sección 4.2. A continuación, se presenta un resumen de observaciones específicas.

Los elementos estructurales que fueron evaluados son los siguientes:

a. Elementos de la Superestructura

- Losa: Tablero de concreto colado en sitio que cuenta con losetas prefabricadas presforzados colocados entre las vigas.
- Vigas: En la memoria de cálculo se presenta por separado el análisis y diseño de dos tipos de vigas principales de concreto presforzado: (a) vigas que

soportan carga vehicular y (b) vigas que no soportan carga vehicular. Para el diseño se utilizó el programa de cálculo estructural LEAP CONSPAN V8i.

- Diafragmas: si existen estos elementos de acuerdo con lo observado en planos.

b. Elementos de la Subestructura

- Bastión: El bastión es del tipo viga cabezal sobre pilotes donde el pilote es el elemento de cimentación profunda. El grupo de pilotes que conforma la pantalla de pilotes se diseña utilizando los programas de cálculo estructural RIDO v4.20 (esfuerzos) y Plaxis (desplazamientos).
- Apoyos: Los apoyos son del tipo Apoyo elastomérico con almohadillas reforzadas con placas de acero.

5.2.1 Diseño de la superestructura – Losa

a. Diseño convencional de la losa de concreto reforzado

1. En la memoria de cálculo se hace referencia a la norma AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 4th edition (2007) para el diseño mediante bandas. Sin embargo, el Cartel establece que debe utilizarse la normativa AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 5th edition (2010), como mínimo (ver Anexo 2).

Recomendación

Solicitar aclaración al contratista al respecto de utilizar normativa no vigente a pesar de lo indicado en las especificaciones del cartel de licitación SDP-001-2014. Indicar la edición de la normativa AASHTO LRFD utilizada para el diseño, ya que se crea la duda de si se utiliza una normativa no vigente en otros apartados de la memoria.

b. Carga viva

1. En la memoria de cálculo se indica el uso de los valores de momentos de la Tabla A4-1 del apéndice A4 de la norma AASHTO LRFD. Sin embargo, la memoria de cálculo no brinda evidencia de que se cumplieron los



requerimientos mínimos para poder aplicar los valores de dicha tabla que se describen dentro del mismo apéndice.

Recomendación

Consultar al Contratista, si se realizó la verificación de los requisitos enlistados en el apéndice de la norma.

c. Carga muerta

1. No se indican la fuente de datos de entrada y dimensiones de la barrera vehicular incluidos en los cálculos, según se muestra en las listas de verificación. Tampoco se indica el nivel de contención de la misma.

Recomendación

Solicitar al contratista que se indique la fuente de los datos de entrada para la realización de los cálculos, incluyendo las suposiciones y consideraciones tomadas. Consultar por el nivel de contención para el que fue diseñado la barrera vehicular tipo New Jersey que se indica en los planos.

d. Estado límite de resistencia

1. No se evidencia la verificación de la capacidad nominal a cortante de la interface losa–barrera para el acero de refuerzo que continua de la barrera a la losa y que se muestra en el detalle de planos.

Recomendación

Consultar al Contratista si se realizó esta comprobación para el acero de refuerzo que se observó en los detalles de planos.

2. No se observó el cálculo del acero de refuerzo longitudinal superior de la losa. Este refuerzo se presenta en el resumen del refuerzo que debe llevar la losa.

Recomendación

Solicitar al Contratista la justificación de porque no se muestra el criterio utilizado para el cálculo de este acero de refuerzo.



e. Estado límite de servicio

1. Al realizar la comprobación del acero de refuerzo transversal superior de la losa por agrietamiento se observó que el diseñador llega a la conclusión que se debe disminuir el espaciamiento propuesto, sin embargo, en el resumen del acero de refuerzo que debe llevar la losa, no se realiza la disminución de espaciamiento.

Recomendación

Solicitar al Contratista la justificación de porque no se incluye el criterio obtenido a partir de los cálculos.

5.2.2 Diseño de la superestructura – Vigas principales y viga diafragma

a. Combinaciones y factores de carga

1. Se presentan las cargas permanentes y la carga viva vehicular para el cálculo de las vigas principales. Sin embargo, no se indican específicamente las combinaciones de los estados límites considerados y los factores de carga utilizados para obtener la carga final de diseño.

Recomendación

Solicitar al Contratista que se indique la información respectiva en la realización de los cálculos, incluyendo las suposiciones y consideraciones tomadas.

b. Carga viva

1. Para el caso de las vigas ubicadas en la zona sin tránsito vehicular (zona del monumento), no se indica la fuente de donde proviene la carga permanente máxima prevista de 30 kN/m².

Recomendación

Solicitar al Contratista que se indique la fuente de la carga permanente, incluyendo las suposiciones y consideraciones tomadas.

2. Para el caso de las vigas ubicadas en la zona con tránsito vehicular, no se observó evidencia de que se hayan considerado factores de distribución de



la carga viva para el cálculo del momento y cortante de diseño tanto para las vigas interiores como las exteriores.

Recomendación

Solicitar al Contratista información sobre el criterio utilizado para el cálculo del momento y cortante de diseño de las vigas principales.

c. Revisión de detalles – Elementos específicos

1. No se observa en la memoria, el proceso de diseño de las vigas diafragmas, indicadas en los planos y ubicadas en los extremos de la superestructura.

Recomendación

Solicitar al Contratista justificar el detalle del diseño de estos elementos.

d. Estado límite de resistencia

1. En el caso del diseño del acero de refuerzo por resistencia nominal a cortante en las vigas principales, se hace referencia a las fórmulas en la normativa AASHTO LRFD, sin embargo, se utilizan las ecuaciones que define la normativa para secciones tipo cajón en lugar de las ecuaciones para secciones sólidas.

Recomendación

Solicitar al Contratista la justificación de esta consideración para el diseño por cortante de las vigas principales tipo AASHTO-IV

5.2.3 Diseño de la subestructura – Bastión

a. Longitud de asiento

1. No se evidencia en la memoria de cálculo, la revisión de la longitud de asiento mínima de las vigas. A pesar de que la norma indica que no es necesario el análisis sísmico para puentes de un solo claro (A4.7.4.2), si se debe satisfacer los requerimientos mínimos establecidos en el apartado de análisis dinámico de la norma AASHTO LRFD (A4.7.4.1). Además la verificación de este parámetro debe realizarse, según se indica en Lineamientos para el



Diseño Sismorresistente de Puentes (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos), [CFIA] 2013; documento que también se incluye dentro de la lista de especificaciones a tomar en cuenta del cartel de licitación SDP-001-2014 (ver Anexo 2).

Recomendación

Solicitar al Contratista una aclaración sobre lo indicado incluyendo las suposiciones y consideraciones tomadas.

b. Efecto de otras fuerzas – Colisión vehicular

1. En la memoria de cálculo, no se justifica como se considera el efecto de una colisión de un vehículo contra la subestructura.

Recomendación

Solicitar al Contratista la justificación de cómo se realiza esta verificación dentro de la memoria de cálculo para el diseño de la pantalla de pilotes.

c. Combinaciones de carga

1. Se omite en las memorias información sobre las combinaciones de carga utilizadas por los estados límite evaluados, así como los factores de carga correspondientes a cada caso.

Recomendación

Solicitar al Contratista una aclaración sobre lo indicado incluyendo las suposiciones y consideraciones tomadas.

d. Revisión de detalles – Elementos específicos

1. No se observó evidencia del diseño de la viga cabezal sobre la pantalla de pilotes que conforma los bastiones del paso a desnivel.

Recomendación

Solicitar al Contratista información sobre el diseño de la viga cabezal de los bastiones.

2. No se evidencia en la memoria de cálculo, como se considera la transmisión de esfuerzos de las vigas principales hacia la pared de la viga cabezal de los



bastiones. Esto según lo que se observó en una vista de la sección del bastión de planos constructivos, donde se muestra una junta de construcción entre la losa y la pared de la viga cabezal, además de acero de refuerzo que continua a través de la junta de construcción y que implica una conexión entre las vigas principales y la pared del cabezal.

Recomendación

Consultar al Contratista cuáles son las consideraciones de diseño incluidas en el diseño de la junta de construcción mostrada en el detalle de planos, ya que no se observa el detalle en la memoria de cálculo.

e. Diseño de cimentaciones (consideraciones estructurales)

1. Si bien se indica que el cálculo de esfuerzos, las comprobaciones de estabilidad y desplazamientos de las cimentaciones se realiza mediante los programas de análisis RIDO v4.2 y Plaxis, no queda claro las consideraciones de diseño para la selección de combinaciones de carga, fuente de datos de las cargas y los factores de carga utilizados para la comprobación de los estados límites. Además, no es posible interpretar como se utilizan los datos de salida obtenidos de los programas.

Recomendación

Solicitar al Contratista aclarar de donde provienen los datos de las cargas y cuáles son los factores de carga utilizados para la comprobación de los estados límites. Además, solicitar que se aclare cómo se interpretan los datos obtenidos de los programas de cálculo, para el diseño de los elementos.

2. El cálculo de la fuerza de sismo fue realizado con la normativa incorrecta. Se utilizó el Código Sísmico de Costa Rica 2010, el cual no aplica para el diseño de puentes como bien lo establece la norma dentro sus limitaciones. Se debió haber utilizado Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (ver Anexo 2.).



Recomendación

Solicitar una aclaración al Contratista del por qué se utilizó normativa inadecuada para el tipo de estructura.

Consultar a la Administración porque no se le indicó al Contratista, en su debido momento, que estaba utilizando una normativa inadecuada para realizar el diseño sísmico de los bastiones.



6. Referencias

American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2010). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. Fifth Edition. Washington D.C: AASHTO.

Euroestudios S.L. (2015). *Proyecto de las intersecciones de la Bandera y Guadalupe, San José, Costa Rica. Proyecto de diseño de detalle. Anexo 08: Estructuras*. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del PITRA-LanammeUCR.

La Republica. (2019). Paso a desnivel en Guadalupe estará listo a mediados del 2021 [Ilustración]. Recuperado de <https://www.larepublica.net>

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2019). Adjudicadas obras para construir nuevo paso a desnivel de Guadalupe [Fotografía]. Recuperado de <https://www.mopt.go.cr>

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos [CFIA] (2013). *Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes*. Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica. San José, Costa Rica: LanammeUCR

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). *SDP-001-2014 Ingeniería para el diseño de detalle, presupuesto, pliegos de especificaciones técnicas y documentos para licitación de las intersecciones Garantías Sociales, La Bandera-UCR y Guadalupe. San José, Costa Rica*. Documento recuperado de <https://www.ungm.org/Public/Notice/27941>

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



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 1.

Memorando de solicitud de análisis de las memorias de cálculo del contratista.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

MEMORANDO

LM-UAT-0039-2020

PARA: Ing. Rolando Castillo Ph.D., Coordinador Programa de Ingeniería Estructural

CC: Ing. Esteban Villalobos, Ing. Daniel Johanning, Ing. Andrés González

DE: Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

ASUNTO: Remisión información de proyecto contemplados en el Plan Anual de Auditoría

FECHA: 21 de abril de 2020

Estimado ingeniero:

En cumplimiento con lo acordado en la reunión realizada el pasado 15 de abril de 2020, respecto a la colaboración de su programa en la revisión de diseños estructurales y acompañamiento en inspecciones de campo a los diferentes proyectos contemplados en el plan anual de Auditoría Técnica del LanammeUCR, se remite el enlace con las carpetas de la información de los proyectos prioritarios, la cual es necesaria para llevar a cabo dichas tareas:

<https://www.dropbox.com/sh/knuzfe5b79qc5s8/AABTx94JwaWC0Xxv5W1pp7Oa?dl=0>

El auditor líder de estos proyectos es el Ing. Sergio Guerrero, por lo que puede contactarlo a él o a mí para cualquier consulta.

Saludos,

WENDY SEQUEIRA ROJAS (FIRMA) Firmado digitalmente por
WENDY SEQUEIRA ROJAS (FIRMA)
Fecha: 2020.04.21 09:03:57 -06'00'

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.
Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 2.

Lista de normativa exigida al contratista como parte del cartel de licitación SDP-001-2014

A continuación, se detalla la lista de normativa exigida al contratista, tal y como se detalla según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2014) para el cartel de licitación:

- a. “Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR-2010)”.
- b. El código de construcción – Costa Rica – Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos – CFIA.
- c. La norma “AASHTON LRFD Bridge Design Specifications”, de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), edición 2010 o última version.
- d. El documento titulado “Tomo de disposiciones para la construcción y conservación vial”, contiene las disposiciones generales emitidas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).
- e. Manual de construcción para caminos, carreteras y puentes (MC-2012).
- f. Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes.
- g. El Código de Cimentaciones de Costa Rica, edición 2009.
- h. Las Normas para la colocación de dispositivos de seguridad para protección de obras y demás disposiciones contractuales.
- i. Manual de diseño estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica (DE-2010) o última versión.
- j. Reglamento de disposiciones de seguridad para protección de obras, publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 103 del 30 de mayo de 1997, Decreto No. 26041-MOPT.
- k. Manual técnico de dispositivos de seguridad y control temporal de tránsito para la ejecución de trabajos en las vías”.
- l. Dispositivos obligatorios de visualización de MOPT.
- m. Manual Centroamericano de Gestión de Riesgo en Puentes, Edición 2010.



- n. Manual Centroamericano de Normas para Diseño Geométrico de carreteras (SIECA, 3ª. Edición – 2011).
- o. Manual Centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito (SIECA, 2000).
- p. Pesos y Dimensiones, Decreto No. 33773-MOPT, publicado en La Gaceta No. 99 de fecha 24 de mayo de 2007 y sus modificaciones
- q. Componentes de seguridad vial, implementación regulada mediante Decreto Ejecutivo No. 33148 y publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 100 del 25 de mayo de 2006.
- r. Normas y diseños para la construcción de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Plan Vial.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 3.
Apéndice A5 de la norma AASHTO LRFD Bridge Design
Specifications Fifth Edition, 2010.



APPENDIX A5—BASIC STEPS FOR CONCRETE BRIDGES

A5.1—GENERAL

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

A5.2—GENERAL CONSIDERATIONS

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

A5.3—BEAM AND GIRDER SUPERSTRUCTURE DESIGN

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



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

A5.4—SLAB BRIDGES

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

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



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

A5.5—SUBSTRUCTURE DESIGN

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



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Apéndice 1.

Listas de verificación de la memoria de cálculo del paso a desnivel en la Intersección de Guadalupe



Tabla A.1. Verificación de calidad del tablero-losa de la superestructura del paso a desnivel de la Intersección de Guadalupe, Ruta Nacional No. 39.

A.5.3 – Diseño de la superestructura - Losa			
Ap. A5	Criterio	Cumplimiento (Si/No/Parcial/Info. Insuficiente)	Comentarios
C. Diseño convencional de una losa de concreto reforzado			
1	¿Se realiza un método aproximado de análisis - Método de franjas [A4.6.2.1]?	Parcial	Se utiliza una edición más antigua de la normativa AASHTO LRFD, que la mínima que se solicita en las especificaciones del cartel de licitación.
1.1	¿Se definen todas las cargas permanentes de diseño [A3.5.1]?	Sí	
6	¿Se verifica la carga viva vehicular aplicable según el caso de estudio [A3.6.1.3.3]?	Parcial	Se utilizan los momentos de carga viva vehicular del Tabla A4-1 para tramos interiores, aunque no se comprueba el cumplimiento de los requisitos para la utilización de los datos de la tabla. No se indica la especificación de diseño de carga viva vehicular utilizado en el diseño del voladizo.



			Se consideran la reducción de las resultantes en la cara del apoyo de las vigas, sin embargo no se justifica el parámetro de distancia a la sección de diseño utilizada en los cálculos [A4.6.2.1.6].
6.1	¿Se determinan los anchos de franjas equivalentes para aplicar la distribución de la carga viva vehicular [A4.6.2.1.5]?	Sí	
7	¿Se calcula el acero de refuerzo de distribución [A9.7.3.2]?	Sí	
8	¿Se aplican los casos de carga necesarios para el diseño de la sección en voladizo con barrera [Apéndice 13.4.2]?	Parcial	No se indica la fuente del parámetro de momento por colisión en la barrera, así como los factores de carga aplicados según el caso de carga analizado para el diseño del voladizo.
8.1	¿Se consideran los criterios para aplicar las cargas vivas de diseño en voladizos [A3.6.1.3.4]?	Sí	
8.3	¿Está definido el tipo de barrera vehicular, las propiedades geométricas y las fuerzas de diseño [Tabla A13.2-1] [A13.7.3]?	Parcial	No se indica el nivel de contención de la barrera vehicular propuesta. Tampoco se presenta el detalle del diseño de la barrera.
8.4	¿Se verifica la resistencia nominal a cargas transversales de la barrera de concreto para momento [Apéndice 13.3.1]?	Parcial	No se indica cómo se obtienen los datos de entrada utilizados en el cálculo de las cargas que se transfieren de la barrera a la losa en voladizo. Los datos de entrada son los definidos en



			las ecuaciones (AA13.13.1-1 y AA13.13.1-2) del apéndice A13 de la norma.
D. Selección de factores de resistencia			
1	¿Se define los factores para el estado límite de resistencia [A5.5.4.2.1] ?	Sí	
E. Selección de modificadores de carga			
1,2,3	¿Se definen modificadores de carga para el estado límite de resistencia [A1.1.3-A1.3.5]?	Sí	
F. Selección de combinaciones y factores de carga			
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límites a considerar y los factores de carga correspondientes a cada caso [A3.4.1]?	Parcial	Cuando se indican los factores de carga a utilizar no se establece a que estado límite corresponden. No se aclara la combinación de carga que se está revisando.
G. Cálculo de los efectos de carga viva			
1	¿Se definen las cargas vivas de diseño que actúan sobre la estructura y el número de carriles de diseño [A3.6.1]?	Parcial	No se establece la consideración del número de carriles de diseño utilizado dentro del cálculo.
1.1	¿Se definen los factores de presencia múltiple en cada caso [A3.6.1.1.2]?	Sí	
3	¿Se definen los factores de amplificación dinámica en cada caso de carga [A3.6.2]?	Sí	



I. Estado Limite de Servicio			
1	Si cuenta el sistema del tablero con elementos presforzados, ¿se definen las pérdidas de presfuerzo [A5.9.5]?	Parcial	No se indica cómo se obtiene el porcentaje de las pérdidas de presfuerzo incluidas en el cálculo, y cuales pérdidas fueron consideradas para este valor.
2	Si cuenta el sistema del tablero con elementos presforzados, ¿se revisan los límites de esfuerzos de los cables de presfuerzo [A5.9.3]?	Parcial	No se indica el tipo de cable y la condición usada para obtener el límite de esfuerzo del acero de presfuerzo.
3	Si cuenta el sistema del tablero con elementos presforzados, ¿se revisan los límites de esfuerzos del concreto antes y después de las pérdidas [A5.9.4]?	Parcial	No se indica la fuente de las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los límites de esfuerzos del concreto antes y después de las perdidas
5	¿Se verifica el espaciamiento del refuerzo de distribución necesario para control de agrietamiento [A5.7.3.4]?	Parcial	La revisión del criterio determina que se debe reducir el espaciamiento del refuerzo, sin embargo esto no se aplica en la configuración final del refuerzo
6	¿Se verifica el elemento por el estado límite de fatiga [A5.5.3]?	Parcial	De manera correcta no se incluye el cálculo en las memorias para el caso de losas sobre vigas múltiples. Aunque no se justifica este criterio en la memoria de cálculo.
J. Estado Limite de Resistencia			
1.a	Para el caso de elementos de concreto presforzado, ¿se calcula el esfuerzo	Parcial	Se incluye el cálculo en las memorias pero se omite la fuente de donde se obtiene el dato.



	promedio en el acero de presfuerzo, según el tipo de cable considerado [A5.7.3.1]?		
1.c	¿Se determina la capacidad de la resistencia nominal a flexión [A5.7.3.2]?	Sí	
1.d	¿Se verifican los límites del acero de refuerzo y/o presfuerzo para la resistencia a flexión [A5.7.3.3]?	Parcial	No se evidencia el cálculo para determinar el acero de refuerzo trasversal inferior de la losa. Solo se presenta el resultado final.
2.b(5)	En el caso de la interface barrera-losa, ¿se revisa la transferencia de cortante a través del plano de contacto [A5.8.4] [Apéndice 13.4.2]?	No	No se evidencia la comprobación de la capacidad nominal a cortante de la interface barrera – losa.
K. Revisión de detalles			
1	¿Se provee el recubrimiento necesario para proteger el acero de refuerzo o presfuerzo de las estructuras [A5.12.3]?	No	No se evidencia la comprobación del criterio en la memoria de cálculo.
2	¿Se realiza el cálculo para el refuerzo adicional superior de la sección de voladizo y el desarrollo de las barras [A5.11.1.2][A5.11.2.1.1]?	Sí	
8	¿Se revisan los límites para el espaciamiento del acero de refuerzo [5.10.3.1] [5.10.3.2]?	No	No se evidencia la comprobación del criterio en la memoria de cálculo.



Tabla A.2. Verificación de calidad de las vigas de la superestructura del paso a desnivel de la Intersección de Guadalupe, Ruta Nacional No. 39.

A.5.3 – Diseño de la superestructura – Vigas principales y viga diafragma			
Ap. A5	Criterio	Cumplimiento (Si/No/Parcial/Info . Insuficiente)	Comentarios
B. Sección típica de vigas prefabricadas presforzadas			
1.a	¿Se realiza una verificación de los espesores mínimos de las secciones del tipo de viga seleccionada [A5.14.1.2.2]?	Sí	
1.e	¿Se revisan los límites del acero de refuerzo y refuerzo de distribución para control de agrietamiento [A5.7.3.3.2][A5.7.3.4]?	Sí	
D. Selección de factores de resistencia			
1	¿Se definen los factores para el estado límite de resistencia [A5.5.4.2.1] ?	No	No se evidencia en la memoria la definición de los factores de resistencia
E. Selección de modificadores de carga			
1,2,3	¿Se definen modificadores de carga para el estado límite de resistencia [A1.1.3-A1.3.5]?	No	No se evidencia en la memoria la definición de los modificadores de carga.



F. Selección de combinaciones y factores de carga			
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límites a considerar y los factores de carga correspondientes a cada caso [A3.4.1]?	No	No se define la combinación del estado límite de carga que se utiliza en la memoria.
G. Cálculo de los efectos de carga viva			
1	¿Se define la carga viva de diseño a considerar [A3.6.1]?	No	No se observa la carga viva vehicular utilizada en el cálculo de los elementos dentro de la zona con tránsito. Para el caso donde se asume que existe una zona sin tránsito vehicular, no se justifica el dato de una carga permanente máxima definida por el diseñador, para este caso.
2	¿Se define en cada caso los factores de presencia múltiple a aplicar [A3.6.1.1.2]?	No	No se observa evidencia de la utilización de estos factores en la memoria, para el caso de la zona del tablero con tránsito vehicular.
3	¿Se define en cada caso los factores de amplificación dinámica a aplicar [A3.6.2]?	No	No se observa evidencia de la utilización de estos factores en la memoria, para el caso de la zona del tablero con tránsito vehicular.
4	¿Se calculan los factores de distribución para momentos por carga viva en cada caso [A4.6.2.2.2]?	No	Para el caso de la zona del tablero con tránsito, la memoria no evidencia la aplicación de factores análisis de distribución de la carga viva en vigas internas o externas.



5	¿Se calculan los factores de distribución de carga viva para cortantes por carga viva en cada caso [A4.6.2.2.3]?	No	Para el caso de la zona del tablero con tránsito, la memoria no evidencia la aplicación de factores análisis de distribución de la carga viva en vigas internas o externas.
H. Cáculo del efecto de otras fuerzas			
1	¿Se considera dentro del cálculo el efecto de otras fuerzas adicionales, según se requiera?	Sí	
I. Estado Limite de Servicio			
1	¿Se definen las pérdidas de presfuerzo consideradas en los cálculos [A5.9.5]?	Parcial	Aunque se detallan las perdidas consideras en la memoria, se omite la fuente para los datos de pérdidas por fricción y anclaje. Tampoco se justifica el uso de ecuaciones de elementos pretensados para el cálculo de perdida por acortamiento elástico en la etapa inicial del presfuerzo [C5.9.5.2.3a-1].
2	¿Se definen, según el tipo de presfuerzo aplicado, los límites de esfuerzos de los cables de presfuerzo [A5.9.3]?	Sí	
3	¿Se definen, según el tipo de presfuerzo aplicado, los límites de esfuerzos del concreto antes y después de las pérdidas [A5.9.4]?	Parcial	Se incluye la revisión del criterio, pero se omite la fuente de las fórmulas usadas para la obtención de los límites de esfuerzos del concreto, inmediatamente antes de la transferencia, inmediatamente después de colocado el



			anclaje y para el estado límite de servicio después de todas las pérdidas.
5	¿Se calcula el espaciamiento del refuerzo de distribución necesario para control de agrietamiento [A5.7.3.4]?	Si	
6	¿Se comprueba si es necesario revisar el estado límite de fatiga [A5.5.3.1]?	Parcial	De manera correcta, no se debe considerar la fatiga para losas de concreto en aplicaciones con vigas múltiples [A9.5.3]. Aunque no se indica la consideración en la memoria de cálculo.
J. Estado Limite de Resistencia			
1.a	¿Se calcula el esfuerzo promedio en el acero de presfuerzo, según el tipo de cable [A5.7.3.1]?	Parcial	Se incluye el dato en la memoria, pero se omite la fórmula y fuente de datos para obtenerlo.
1.c	¿Se revisa la capacidad de la resistencia nominal a flexión [A5.7.3.2]?	Parcial	Se incluye la revisión en las memorias, pero se omite la fuente de la fórmula utilizada en el cálculo y el criterio para escoger el factor de resistencia.
1.d	¿Se verifican los límites del acero de refuerzo y presfuerzo para la comprobación de la resistencia a flexión [A5.7.3.3]?	Parcial	Se incluye la revisión en las memorias, pero se omite la fuente de la fórmula para el cálculo del momento de agrietamiento, M_{cr} . No se indica de donde se obtiene el momento último de diseño para la comprobación del acero de refuerzo



2.a	¿Se definen los parámetros para el cálculo de la resistencia factorada a torsión [A5.8.2]?	Sí	
2.b(1)	¿Se definen los parámetros, del concreto y acero de refuerzo y presfuerzo, para el cálculo de la resistencia nominal a cortante vertical [A5.8.2.9][A5.8.3.3]?	Parcial	Se incluye la fuente de los datos en la memoria. Sin embargo, las ecuaciones utilizadas son para secciones de vigas tipo cajón y no de sección sólida.
2.b(2)	¿Se determinan los parámetros β y θ para el cálculo de la resistencia a cortante de la sección de diseño [A5.8.3.4]?	Sí	
2.b(3)	¿Se verifica que el refuerzo longitudinal por flexión positiva satisface el esfuerzo adicional de tensión por cortante [A5.8.3.5]?	No	No se evidencia la revisión del criterio en las memorias.
2.b(4)	¿Se revisa el espaciamiento máximo permitido del refuerzo transversal [A5.8.2.7]?	Sí	
2.b	¿Se verifica que la cantidad y el espaciamiento del refuerzo transversal es el necesario para la resistencia a cortante requerida, V_s [A5.8.3]?	Parcial	Se realiza la verificación mediante el método simplificado, aunque se omite la verificación del cálculo de la cantidad mínima de refuerzo transversal especificada [A5.8.2.5].

K. Revisión de detalles



1	¿Se establece el recubrimiento necesario para proteger el acero de refuerzo o presfuerzo de las estructuras [A5.12.3]?	Parcial	No se evidencia la comprobación del criterio en las consideraciones de diseño de la memoria.
2	¿Se revisa la longitud de desarrollo necesaria del acero de refuerzo en las secciones críticas de la viga [A5.11.1]?	No	No se evidencia la revisión del cálculo ni las consideraciones para este criterio en la memoria.
4	¿Se definen los traslapes de las barras de acero de refuerzo de la viga [A5.11.5]?	No	No se evidencia la revisión del cálculo ni las consideraciones para este criterio en la memoria.
5.a	¿Se detalla el refuerzo para las zonas de anclaje del postensado en la viga [A5.10.9]?	No	No se evidencia bajo que método de diseño se realiza la comprobación de la zona general y local del anclaje.
6	¿Se indica en los cálculos el tipo ducto, el tamaño y configuración del perfil dentro de la viga [A5.4.6]?	Parcial	No se indica el tipo ni tamaño del ducto en los datos de entrada.
7.b	¿Se calcula el acero de refuerzo de confinamiento de los cables de presforzado [5.10.4.3]?	Sí	
7.c	¿Se verifican los límites de espaciamiento para los ductos de postensado dentro de la viga [A5.10.3.3.2]?	No	No se evidencia la comprobación del criterio en la memoria.
8	¿Se verifican los límites de espaciamiento para el acero de refuerzo dentro de la viga [A5.10.3.1][A5.10.3.2]?	No	No se evidencia la comprobación del criterio en la memoria.



10	¿Se realizan los cálculos y consideraciones para el diseño de elementos específicos (viga diafragma) [A5.13.2]?	No	No se evidencia el diseño de las vigas diafragma en los extremos de las vigas, según lo observado en planos.
----	---	----	--



Tabla A.3. Verificación de calidad de los bastiones de la subestructura del paso a desnivel de la Intersección de Guadalupe, Ruta Nacional No. 39.

A.5.5 – Diseño de la subestructura – Bastiones y fundaciones			
Ap. A5	Criterio	Cumplimiento (Si/No/Parcial/Info. Insuficiente)	Comentarios
A. Ancho mínimo de asiento			
1	¿Se define el ancho mínimo de asiento para el apoyo de las vigas en los bastiones [A4.7.4.4]?	No	No se evidencia la comprobación del cálculo en la memoria.
B. Calculo del compilado del efecto de fuerzas			
1	¿Se analiza el efecto de la carga de viento sobre la estructura [A3.8]?	Sí	
5	¿Se analiza el efecto de la fuerza de sismo y requerimientos mínimos de diseño [A3.10] [A4.7.4]?	Sí	Las zonas de amenazas sísmicas definidas en la norma no aplican a nivel local, además se indica que el análisis sísmico no es requerido para puentes de un solo tramo [A4.7.4.2]
6	¿Se analiza el efecto de las fuerzas impuestas por deformación térmica [A3.12.2]?	Sí	



7	¿Se considera dentro del análisis algún otro efecto de fuerzas por deformaciones impuestas de otros elementos [A3.12.4][A3.12.5][A3.12.7]?	Sí	
9	¿Es considerado el efecto de la fuerza por colisión vehicular en la estructura [A3.6.5]?	No	No se evidencia la comprobación del efecto de la fuerza por colisión contra la subestructura.
10	¿Se incluye la fuerza de frenado en las consideraciones de la carga vehicular [A3.6.4]?	Sí	
12	¿Se establecen las presiones laterales del suelo que actúan sobre los bastiones [A3.11]?	Parcial	Se incluye el cálculo en la memoria, pero se omite la fuente y consideraciones para la obtención de los datos de las presiones del suelo.
12.1	¿Se analiza el efecto de una sobrecarga sobre el material retenido detrás de los bastiones [A3.11]?	No	No se evidencia la comprobación del efecto por sobrecarga en el material de relleno.
C. Análisis de la estructura y combinaciones de carga			
1, 2	¿Se establecen las combinaciones de carga de los estados límites de diseño, así como los factores de carga correspondientes [A3.4.1]?	Parcial	No se evidencia la implementación de la combinación de carga que incluya el efecto de sismo. No se indican las combinaciones de carga consideradas en la memoria.
D. Diseño de elementos a compresión			



7	¿Se verifica la resistencia factorada en la zona de los elementos de apoyos [A5.7.5]?	No	No se evidencia la comprobación del criterio en la memoria
7.1	¿Se realiza el diseño de los apoyos para las cargas y desplazamientos resultantes [A14.4] [A14.7]?	Si	
8	¿Se verifica que el recubrimiento es el necesario para proteger el acero de refuerzo de los elementos [A5.12.3]?	No	No se evidencia la comprobación del criterio en la memoria
E. Diseño de fundaciones (consideraciones estructurales)			
3	¿Se determinan las condiciones de desplazamiento y estabilidad global en el estado límite de servicio [A11.8.3]?	Info. Insuficiente	Se realiza del equilibrio de la subestructura mediante programa computacional de cálculo estructural. Por lo que no es posible dar seguimiento al proceso de diseño de los elementos.
3	¿Se determinan los desplazamientos relativos del muro para alcanzar las condiciones de presiones laterales del suelo [A11.8.3.1]?	Info. Insuficiente	Ídem anterior.
3	¿Se analiza la estabilidad global de la estructura ante deslizamiento para la combinación de carga y factor de resistencia adecuado [A11.8.3]?	Info. Insuficiente	Ídem anterior.



3	¿Se diseña la subestructura contra la falla del suelo en el estado límite de resistencia [A11.8.4]?	Info. Insuficiente	Ídem anterior.
3	¿Se diseñan los elementos verticales de la subestructura contra la falla estructural generada por momentos y cortantes máximos [A11.8.5]?	Info. Insuficiente	Ídem anterior.
3	¿Se diseña la subestructura considerando el efecto de una fuerza de sismo, incluida en la combinación de estado límite de Evento Extremo I [A11.8.6]?	No	La efecto de la fuerza de sismo considerada se realiza utilizando normativa incorrecta, ya que se debió haber utilizado “Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes [CFIA] 2013”
3.1	¿Se revisa la resistencia estructural de los elementos verticales de la subestructura, según el tipo de fundación correspondiente [A10.8.3.9]?	Sí	
K. Revisión de detalles			
10	¿Se realizan los cálculos y consideraciones para el diseño de elementos específicos [A5.13.2]?	No	No se evidencia el diseño de la viga cabezal en la memoria de cálculo.