



# Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

EIC-Lanamme-INF-0363-2022

## INFORME DE RESPUESTA

**A LOS OFICIOS POE-09-2021-0663, POE-09-2021-0700 y POE-09-2022-0150 DE LA UNIDAD EJECUTORA EN RELACIÓN CON LAS OBSERVACIONES REALIZADAS AL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PASO A DESNIVEL FRENTE AL ACCESO DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA (UCR), RUTA NACIONAL Nº 39**

**Preparado por:**  
Unidad de Proyectos 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 Capít.7, Art. 68 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT .

San José, Costa Rica  
22 de marzo, 2022



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 2 de 16
---------------------------	----------------------	----------------



<b>Informe:</b>	EIC-Lanamme-INF-0363-2022	
<b>Dirigido a:</b>	Ing. Francisco Fonseca Ch., Unidad de Auditoría Técnica	
<b>CC:</b>	Ing. Fiorella Murillo C. Ing. Wendy Sequeira R. Ing. Rolando Castillo B. Ing. Daniel Johanning C.	
<b>Fecha:</b>	22 de marzo, 2021	
<b>Asunto:</b>	Referirse a cada uno de los puntos remitidos por la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS) a través de los oficios: POE-09-2021-0663, POE-09-2021-0700 y POE-09-2022-0150 de la Unidad Ejecutora a cargo del proyecto.	
<b>Documentos referencia:</b>	LM-EIC-D-0696-2021 "Observaciones diseño estructural viaducto del proyecto Paso a desnivel La Bandera-UCR." EIC-Lanamme-147-2022 "Observaciones del diseño estructural del viaducto frente al acceso a la Universidad De Costa Rica (UCR), del proyecto Paso a desnivel La Bandera-UCR."	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Andrés González L. Programa de Ingeniería Estructural	<b>Revisado por:</b> Ing. Rolando Castillo B., PhD Coordinador Programa de Ingeniería Estructural	

## 1. Objetivo general.

Referirse a cada uno de los puntos remitidos por la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS) a través de los oficios: POE-09-2021-0663, POE-09-2021-0700 y POE-09-2022-0150 de la Unidad Ejecutora a cargo del proyecto.

## 2. Comentarios a los puntos de los oficios

Hay que aclarar que las observaciones realizadas por el Programa de Ingeniería Estructural como parte de la revisión de los diseños estructurales del proyecto no tienen la intención, ni deben sustituir el proceso de verificación y aseguramiento de la calidad que deben realizar los responsables del proyecto de los productos entregados por el Contratista en la etapa de diseño del proyecto.

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 3 de 16
---------------------------	----------------------	----------------



La revisión realizada por el PIE evidenció que la memoria de cálculo no incluye toda la información requerida por la normativa de diseño aplicable por lo que en ocasiones se dificulta el seguimiento del procedimiento por parte de un revisor calificado, y hace que sea imposible verificar muchos de los aspectos requeridos por la normativa en el diseño estructural.

La situación anterior se reafirma en los propios oficios de respuesta enviados por la Unidad Ejecutora del proyecto, donde se adjunta información en apéndices que complementan, aclaran e incluso modifican información suministrada en la memoria de cálculo original proporcionada. La información adjunta en estos apéndices, además de no estar incluida en las memorias suministradas inicialmente, se elaboraron con fecha reciente (mayo y octubre del 2021) ya estando avanzado la ejecución las obras.

La respuesta a cada uno de los puntos específicos se presenta a continuación. Para cada punto se incluye el enunciado original de la observación indicada en los oficios enviados por la Unidad Ejecutora del proyecto, una cita textual de lo que manifestó al respecto la oficina de la UNOPS a cargo del proyecto, y seguidamente se hacen los comentarios correspondientes de nuestra parte.

#### **A. Respuestas a las solicitudes de aclaración oficio LM-EIC-D-0696-2021 (pág 3)**

##### **1. ¿Por qué en el diseño del tablero (sección en voladizo) se utilizaron dimensiones de viga distintas a las dimensiones estándar de una viga AASHTO tipo V?**

**UE-UNOPS:** *Esos parámetros se utilizaron por error. Los valores correctos son “width of beam top flange =42” en vez de 47”, y “width of beam web =8” en vez de 6.7” utilizado”. A pesar del error, el resultado del cálculo correcto está dentro de la envolvente de seguridad del cálculo con errores debido a que la luz efectiva de cálculo correcta es menor que la errada puesto que se mide desde el extremo del voladizo hasta la sección correspondiente al borde del alma de la viga.*

**PIE-LanammeUCR:** Se toma nota de lo manifestado. La corroboración del error por parte del contratista en el dato de entrada de las vigas principales, pone en duda los sistemas de control de calidad que aplica el contratista en sus procesos y le resta fiabilidad al proceso de diseño. Además, se reafirma la necesidad de que la Administración debe realizar el aseguramiento de la calidad de todos los entregables de la etapa de diseño.

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 4 de 16
---------------------------	----------------------	----------------



## 2. La razón de no incorporar dentro del análisis del tablero el peso de la barrera vehicular intermedia.

**UE-UNOPS:** La razón es el ancho total del tablero del puente. El AASHTO requiere que la estimación de las solicitaciones en las vigas se realice para el número máximo de carriles que sea posible habilitar.

Esto implica calcular el número máximo de carriles suponiendo la remoción de la barrera central como condición más crítica de diseño. Según se indica en la página 29 del documento total (memoria de cálculo) el diseño contempla un total de 6 carriles en el tablero, condición que para las vigas de carga es más crítica que la condición que supone el peso de la barrera.

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. Resalta que la memoria de cálculo debería incluir la explicación y justificación correspondiente de no haber considerado la barrera medianera para el análisis del caso crítico de carga del tablero. En la memoria de cálculo proporcionada no se incluyeron datos básicos de la barrera medianera (nivel de contención, capacidad, cargas y dimensiones), que se muestra en los planos constructivos.

La referencia a la página indicada del denominado “documento total (memoria de cálculo)” donde se indican los 6 carriles en el tablero no se encuentra dentro de los documentos proporcionados denominados como “203031-201-PD-BG-TOMO 01-02” y “203031-201-PD-BG-TOMO 03-02”.

## 3. ¿Por qué no se realizó el ajuste en el espaciamiento del acero de refuerzo transversal superior de la losa por agrietamiento tal como se determinó en la memoria de cálculo?

**UE-UNOPS:** Ese ajuste ya se ha hecho en los planos para la construcción de las obras.

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. Se resalta la importancia de la concordancia que debe existir entre la memoria de cálculo y los planos constructivos, siendo la memoria de cálculo el respaldo de lo que se observa en los planos, con el fin de evitar confusión y facilitar el seguimiento por parte de un revisor calificado de la información presentada en los entregables.

La Administración debe solicitar los planos completos “as-built” del proyecto al Contratista una vez finalizadas las obras.

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 5 de 16
---------------------------	----------------------	----------------



**4. ¿Por qué no se incluyó la corrección por sesgo de los factores de distribución para cortante y momento del primer y tercer tramo de superestructura que aparentan tener un cierto ángulo (según se aprecia en planos) aunque no se indica un valor en los mismos?**

**UE-UNOPS:** *Está incluido en la página 1066 de 3902 de la memoria de cálculo.*

**PIE-LanammeUCR:** En la memoria de cálculo (página 1066 de 3902) se toman valores de corrección por sesgo iguales a 0 para los factores de distribución de cortante y momento, sin embargo, no se indican los valores de los ángulos que fueron considerados para tomar esos valores de corrección por sesgo (con los que aparentemente cuentan el primer y tercer tramo según lo observado en planos), conforme a lo que se indica en 4.6.2.2.2e AASHTO LRFD (2010). En este caso se habla de aparente ángulo de sesgo en el primer y tercer tramo de la estructura ya que tampoco se indica el dato en los planos constructivos del proyecto, pero se observa una clara inclinación con respecto a la horizontal de estos tramos en la vista en planta (Paginado del Proyecto: 2985 de 3902).

En el oficio POE-09-2022-0150 enviado por la Administración del proyecto el pasado 15 de marzo del 2022, se indica que el ángulo de sesgo en ambos bastiones es de 7°. Dato que se desconocía hasta la fecha ya que no se incluyó ni en planos constructivos ni en la memoria de cálculo de la estructura, por lo que la se puede decir que la información entregada inicialmente por el Contratista fue insuficiente.

**5. Aclarar por qué se utilizaron ecuaciones de elementos pretensados en el cálculo de pérdidas del presfuerzo por acortamiento elástico en las vigas postensadas.**

**UE-UNOPS:** *La respuesta está en proceso de elaboración por parte del diseñador, se compartirá en cuánto se tenga.*

**PIE-LanammeUCR:** Sin comentarios.

**6. ¿Por qué se utilizan los criterios de elementos de concretos colados in situ para verificar el espaciamiento mínimo del acero de refuerzo de vigas presforzadas prefabricadas?**

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 6 de 16
---------------------------	----------------------	----------------



**UE-UNOPS:** *El criterio de espaciamiento mínimo de aros según AASHTO es una condición para el refuerzo de concreto, independientemente si es concreto reforzado o concreto pretensado.*

**PIE-LanammeUCR:** No se atiende la observación realizada. Esta iba dirigida a la distancia libre entre barras de acero de refuerzo paralelas de una misma capa de refuerzo, según se indica en 5.10.3.1 de AASHTO LRFD (2010). En la página 1088 de 3902 del paginado del proyecto se observó el faltante de la consideración de diseño que indica la normativa.

**7. La razón de no haber considerado en el diseño el efecto de una colisión de un vehículo contra las columnas de las pilas del puente que se encuentran a un lado de los carriles de circulación.**

**UE-UNOPS:** *La razón es que se ha considerado que una colisión por vehículos tiene muy baja probabilidad de ocurrencia y, en el caso de ocurrir, el efecto es prácticamente despreciable. Esto se debe a que la velocidad de diseño en rampas y marginales es muy baja (de 30 km/h, según apartado 2.3.4 del anexo trazado en la memoria). Además, las columnas expuestas a colisión están separadas de la calzada más de 4.00 m (acera con bordillo de por medio).*

**PIE-LanammeUCR:** Conforme al apartado 3.6.5. AASHTO LRFD (2010) se indica:

“Al menos que el Propietario determine que las condiciones del sitio indican lo contrario, bastiones y pilas ubicadas dentro de una distancia de 30 pies (9,15 m) del borde la calzada o dentro de una distancia de 50 pies (15,25 m) de la línea de centro de una vía de ferrocarril serán analizadas por colisión.”

La separación de las columnas de las pilas y bastiones con el borde la calzada no se indica o se detalla en los planos constructivos, por lo que la consideración de que las columnas de la subestructura que pueden sufrir una colisión están separadas de la calzada más de 4.00 m, además de no satisfacer el criterio de la normativa AASHTO LRFD (2010), no se puede corroborar en la documentación proporcionada por el diseñador.

**8. ¿Por qué no se consideró en el diseño de los bastiones de tipo columna múltiple el efecto de la carga de empuje lateral del suelo?**

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 7 de 16
---------------------------	----------------------	----------------



**UE-UNOPS:** El diseño de los bastiones se ha cambiado. En el nuevo diseño, las columnas de los bastiones están fuera del macizo de suelo reforzado. En tal caso, las columnas no reciben empuje del relleno.

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. Se aclara que en la versión de los planos de mayo del 2015 proporcionados a la UAT del LanammeUCR se logra apreciar que las columnas de los bastiones se encuentran dentro del macizo de suelo reforzado (vista en elevación, paginado del proyecto 3036 de 3902 y 3040 de 3902).

Se resalta la importancia de la concordancia que debe existir entre la memoria de cálculo y los planos constructivos, siendo la memoria de cálculo el respaldo de lo que se observa en los planos, con el fin de evitar confusión y facilitar el seguimiento por parte de un revisor especializado de la información presentada en los entregables.

En el Anexo 1 al oficio POE-09-2022-0150 enviado por la Administración del proyecto el pasado 15 de marzo del 2022, se adjuntaron los planos actualizados de los bastiones de la estructura y los cuales ya habían sido ejecutados en sitio.

La Administración debe solicitar los planos completos “as-built” del proyecto al Contratista una vez finalizadas las obras.

## **9. La razón de no haber considerado la revisión de la resistencia factorizada del concreto en la zona de los dispositivos de apoyos.**

**UE-UNOPS:** La zona de concreto bajo los dispositivos de apoyo se revisa para asegurar que no se excedan los esfuerzos permisibles por aplastamiento. En el caso de dispositivos de neopreno, el dispositivo se diseña para no exceder un esfuerzo admisible de 150 kg/cm<sup>2</sup>. El esfuerzo máximo de aplastamiento del concreto es de  $f_c(\text{aplast}) = 0.70 f'c = 0.7 * 300 = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo tanto, al dimensionar el dispositivo de neopreno se asegura que los esfuerzos de aplastamiento del concreto no son excedidos.

**PIE-LanammeUCR:** La memoria de cálculo del diseño estructural debería incluir la explicación y la justificación correspondiente de no haber revisado los esfuerzos permisibles por aplastamiento en el concreto debajo de los dispositivos de apoyo.

La consideración descrita en la respuesta que aporta el contratista no se ajusta al criterio que se indica en 5.7.5 de AASHTO LRFD (2010), donde la resistencia de soporte nominal del concreto

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 8 de 16
---------------------------	----------------------	----------------



se debe tomar como:  $P_n = 0.85 f'_c A_1 m$ , considerando el área debajo del dispositivo de apoyo y un factor de modificación de confinamiento.

**10. ¿Por qué se utilizaron como referencia los lineamientos de la publicación de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE) y no la norma AASHTO LRFD para la verificación del diseño del muro de suelo reforzado colocado delante de los bastiones para contener los rellenos de los accesos del puente?**

*UE-UNOPS: Ver el Apéndice D de este Documento: Es posible verificar que el cálculo del macizo de suelo reforzado (Msr) realizado por el proveedor del sistema que se construirá, se ha hecho utilizando los criterios de AASHTO LRFD.*

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. La información incluida en la memoria de cálculo del proyecto original debía haberse realizado bajo los lineamientos de la normativa AASHTO LRFD como la normativa aplicable indicada en documentos contractuales.

## **B. Respuestas a las solicitudes de información oficio LM-EIC-D-0696-2021 (Pág. 4)**

**1. El nivel de contención considerado en el diseño de las barreras vehiculares intermedia y de los extremos.**

*UE-UNOPS: El nivel de contención considerado a instalar es TL-5.*

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. La memoria de cálculo debería incluir la información completa de todos los elementos que forman parte del proceso de diseño en especial de un elemento crítico de la seguridad vial del puente como lo es la barrera vehicular y que afecta directamente el diseño estructural del tablero. Esto deja en evidencia que el contenido de la memoria de cálculo original no incluía toda la información requerida por la normativa de diseño aplicable.

**2. La revisión de la capacidad a cortante a través del plano de contacto entre el tablero y la barrera vehicular.**

*UE-UNOPS: Ver detalle de cálculo en el apéndice "A" de este documento.*

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 9 de 16
---------------------------	----------------------	----------------



**PIE-LanammeUCR:** Se reitera lo manifestado en el punto 1 de esta sección de observaciones.

### 3. El detalle del cálculo de las deflexiones esperadas en las vigas de concreto presforzado producidas por la carga viva.

**UE-UNOPS:** Ver detalle de cálculo en el apéndice “B” de este documento.

**PIE-LanammeUCR:** En el apéndice suministrado no se evidencia el límite contra el cual se verifican las deflexiones máximas esperadas por carga viva en las vigas de concreto presforzado, según se especifica en 2.5.2.6.2 de AASHTO LRFD (2010).

En el oficio POE-09-2022-0150 enviado por la Administración del proyecto el pasado 15 de marzo del 2022, se indica el límite contra el cual se revisan las deflexiones máximas esperadas en las vigas. Dato que se desconocía hasta la fecha ya que no se incluyó en la memoria de cálculo de la estructura, por lo que la se puede decir que la información entregada inicialmente por el Contratista era insuficiente.

### 4. La revisión de la cantidad mínima del acero de refuerzo transversal colocado en las vigas de concreto presforzado.

**UE-UNOPS:** La cantidad mínima de refuerzo transversal está dada por AASHTO 5.8.2.5-1.

$$A_v \text{ mayor o igual a: } 0.264 \sqrt{f'_c} \frac{(b_v s)}{f_y} =$$

Para las vigas del proyecto, con un espaciamiento máximo de aros de 30 cm (AASHTO 5.8.2.7), se requiere una cuantía de refuerzo transversal mínima de 0.86 cm<sup>2</sup>. Las vigas cuentan con 3.96 cm<sup>2</sup> (aros #5 @ 30cm). La comprobación de cumplimiento con cuantías de refuerzo mínimo se encuentra en las páginas 54 y 55 del documento total (memoria de cálculo).

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. Aunque sí hay evidencia dentro de la memoria de cálculo proporcionada de que se realizaron revisiones de la cantidad mínima de acero de refuerzo transversal, no se incluyó el detalle de los cálculos correspondientes ni se hizo referencia a las secciones de la normativa que fueron utilizadas. La comprobación de cumplimiento con cuantías de refuerzo mínimo, que se encuentra en el paginado del proyecto 1091 de 3902 y 1092 de 3902 de la memoria de cálculo, muestra solamente los valores de cuantías de acero en diferentes puntos a lo largo de la viga y no el respaldo del criterio de refuerzo transversal mínimo contra el cual se revisan según se define en 5.8.2.5 de AASHTO LRFD (2010).

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 10 de 16
---------------------------	----------------------	-----------------



**5. El detalle del cálculo para el diseño de los diafragmas en los extremos de cada tramo de la superestructura, el acero de confinamiento colocado en la zona bajo los apoyos y el acero transversal de los pilotes.**

**UE-UNOPS:** *Ver detalle de cálculo en el apéndice “C” de este documento.*

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. La memoria de cálculo debería incluir la información completa de todos los elementos que forman parte de la superestructura, en este caso de los elementos secundarios (vigas diafragmas) de los extremos de cada tramo del paso a desnivel. Esto deja en evidencia que el contenido de la memoria de cálculo brindada estaba incompleta al no presentar la información de diseño de las vigas diafragmas que se muestran en planos constructivos.

**6. El cálculo detallado de las pérdidas de presfuerzo consideradas en el diseño de las vigas principales y los límites de esfuerzos considerados en el concreto antes y después de las pérdidas.**

**UE-UNOPS:** *La respuesta está en proceso de elaboración por parte del diseñador, se compartirá en cuánto se tenga.*

**PIE-LanammeUCR:** Sin comentarios.

**7. El detalle del cálculo de la resistencia nominal a flexión de las vigas principales, así como el espaciamiento del acero de refuerzo para cumplir con los criterios de control de agrietamiento.**

**UE-UNOPS:** *La respuesta está en proceso de elaboración por parte del diseñador, se compartirá en cuánto se tenga.*

**PIE-LanammeUCR:** Sin comentarios.

**8. La revisión de los límites máximo y mínimo para el acero de refuerzo a cortante de las vigas, así como el diseño del acero de refuerzo transversal en estos elementos.**

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 11 de 16
---------------------------	----------------------	-----------------



**UE-UNOPS:** La respuesta está en proceso de elaboración por parte del diseñador, se compartirá en cuánto se tenga.

**PIE-LanammeUCR:** Sin comentarios.

## 9. La revisión del asentamiento y la estabilidad global del muro de suelo reforzado frente a los bastiones para el estado límite de servicio.

**UE-UNOPS:** Ver el Apéndice D de este Documento: en el punto b.- del apéndice d se presenta el cálculo de asentamiento del MSR. Por otra parte, en el punto c.- del apéndice d se presenta la verificación de la estabilidad global del MSR.

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. Resaltar que de acuerdo a la nueva información presentada en el punto b del Apéndice D, en la sección 2.1 (Hoja 6 de 22), se entiende que las consideraciones para el cálculo de los muros de suelo reforzado realizados para el proyecto original, no se ajustaban a las condiciones reales del paso a desnivel que va a ser construido y por lo tanto la información presentada en este apéndice sustituye la información presentada en la versión de las memorias presentadas originalmente.

## 10. El cálculo detallado de la fuerza de sismo que actúa sobre el muro de suelo reforzado colocado delante de los bastiones y que soportan el empuje lateral del suelo en los accesos del puente

**UE-UNOPS:** Ver el Apéndice D de este Documento: en el punto a.- se presenta el cálculo del macizo de suelo reforzado (MSR) realizado por el proveedor del sistema que se construirá. En él se puede ver el cálculo de la fuerza sísmica que actuará sobre las escamas de concreto reforzado.

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. Se reitera lo indicado en el punto 9 de esta sección de observaciones.

## 11. El detalle del cálculo para el diseño de los muros de suelo reforzado colocado en los bastiones para contener los rellenos de los accesos del puente, utilizando los criterios que se indican en la norma AASHTO LRFD para los muros mecánicamente estabilizados (MSE, por sus siglas en inglés)

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 12 de 16
---------------------------	----------------------	-----------------



**UE-UNOPS:** Ver el Apéndice D de este Documento: en el punto a.- se puede verificar que el cálculo del macizo de suelo reforzado (MSR) realizado por el proveedor del sistema que se construirá se ha hecho utilizando los criterios de AASHTO LRFD.

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. Se reitera lo indicado en el punto 9 de esta sección de observaciones.

**C. Respuestas a las solicitudes de aclaración del oficio LM-EIC-D-0696-2021 (Pág. 3)**

**1. Aclarar por qué se utilizaron ecuaciones de elementos pretensados en el cálculo de pérdidas del presfuerzo por acortamiento elástico en las vigas postensadas.**

**UE-UNOPS:** Se presenta y se adjunta un nuevo cálculo del tablero del puente, para efectos de generar respuestas a las solicitudes de información. El programa utilizado tiene incluido el módulo del cálculo de pérdidas, en el que se calculan todas las pérdidas posibles en las vigas postensadas, de acuerdo con el siguiente cuadro presentado en la página 51 de 115:

**1 FUERZA DE PRETENSADO**

**1.1 Fuerzas de postesado**

Coeficientes de seguridad empleados : unitarios.

**1.1.1 Fuerza de postesado a lo largo de cada cable en cada instante**

- P1 : Fuerza de postesado después de la operación de tesado A
- P2 : Fuerza de postesado después de la operación de tesado B
- P3 : Fuerza de postesado tras el fraguado de la losa
- P4 : Fuerza de postesado después de la operación de tesado C
- P5 : Fuerza de postesado a tiempo infinito.
- Prt3 : Pérdida de postesado por retracción del hormigón entre P3 y P4.
- Pfl3 : Pérdida de postesado por fluencia del hormigón entre P3 y P4.
- Pr13 : Pérdida de postesado por relajación del acero de la armadura activa entre P3 y P4.
- Prt4 : Pérdida de postesado por retracción del hormigón entre P4 y P5.
- Pfl4 : Pérdida de postesado por fluencia del hormigón entre P4 y P5.
- Pr14 : Pérdida de postesado por relajación del acero de la armadura activa entre P4 y P5.
- Pcu1 : Pérdida de postesado por penetración de cuña debido a P1
- Pcu2 : Pérdida de postesado por penetración de cuña debido a P2
- Pcu3 : Pérdida de postesado por penetración de cuña debido a P3
- Prz1 : Pérdida de postesado por rozamiento debido a P1
- Prz2 : Pérdida de postesado por rozamiento debido a P2
- Prz3 : Pérdida de postesado por rozamiento debido a P3

*Se puede comprobar que en las vigas postensadas no se producen pérdidas por acortamiento elástico del concreto, porque este se produce mientras que se va aplicando el postensado.*

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 13 de 16
---------------------------	----------------------	-----------------



**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. En la memoria de cálculo proporcionada a la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR (denominada como “203031-201-PD-BG-TOMO 03-02”), se calculó un valor de pérdida del presfuerzo por acortamiento elástico (Paginado del Proyecto: 1073 de 3902) utilizando como referencia la ecuación C5.9.5.2.3a-1 del inciso 5.9.5.2.3 de la norma AASHTO LRFD (2010), para elementos de concreto presforzado con acero pretensado cuando en realidad se cuentan con vigas de concreto presforzado con acero postensado en el proyecto.

En elementos presforzados con acero postensado, no es necesario considerar la pérdida del presfuerzo debido al acortamiento elástico cuando es realizada el tensado simultáneamente en todos los tendones del elemento. Cuando se cuentan con tendones múltiples y estos son tensados en sucesión, la pérdida de presfuerzo debido al acortamiento elástico del concreto varía en cada tendón (Tung- Yen, 1968) y debe calcularse como se indica en 5.9.5.2.3b AASHTO LRFD (2010) para elementos presforzados con acero postensado.

Ante la respuesta del diseñador y la nueva información suministrada en el Anexo a la nota 96800/211006/ER/276, no queda indicado si la operación de postensado de las tres líneas de tendones de la viga es simultánea y es por lo cual no se consideran las pérdidas de presfuerzo por acortamiento elástico.

#### **D. Respuestas a las solicitudes de información oficio LM-EIC-D-0696-2021 (Pág. 4)**

**1. El cálculo detallado de las pérdidas de presfuerzo consideradas en el diseño de las vigas principales y los límites de esfuerzos considerados en el concreto antes y después de las pérdidas.**

**UE-UNOPS:** Se presenta en las siguientes páginas del documento adjunto a este oficio:

- Página 49 pérdidas de pretensado
- Página 73 límites tensionales para el diseño. La viga más desfavorable es la viga 2.
- Página 78 estado de servicio III para la viga 2, ( $2,40 < 3,54$  MPa).

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. La memoria de cálculo presentada inicialmente debería incluir la información completa de todos los elementos que forman parte del proceso de diseño de la superestructura. Esto deja en evidencia que el contenido de la memoria de cálculo original no incluía toda la información requerida por la normativa de diseño aplicable.

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 14 de 16
---------------------------	----------------------	-----------------



En la nueva memoria de cálculo presentada en el Anexo a la nota 96800/211006/ER/276 y realizada a través de un software informático (Civil eStudio v39-28), no se evidencia de dónde provienen los valores considerados para las pérdidas de presfuerzo, ni la referencia a las secciones de la normativa AASHTO LRFD (2010) que fueron utilizadas para la revisión de los límites de esfuerzos en el concreto, por lo que se dificulta el seguimiento de la nueva memoria. En el oficio POE-09-2022-0150 enviado por la Administración del proyecto el pasado 15 de marzo del 2022, se indican los límites de esfuerzos en el concreto antes y después de las pérdidas utilizados en la nueva memoria de cálculo presentada en el Anexo a la nota 96800/211006/ER/276. Los valores indicados en el oficio POE-09-2022-0150 se referencian a las secciones de la normativa AASHTO LRFD (2017) de donde se obtuvieron los valores indicados, sin embargo, no se aclara cuál de las ecuaciones que se brindan en las tablas de las secciones de la norma fueron utilizadas para el cálculo del valor. Por lo anterior se considera que la información sigue siendo insuficiente para dar trazabilidad a la memoria de cálculo entregada por el Contratista a modo complementario a la memoria original.

**2. El detalle del cálculo de la resistencia nominal a flexión de las vigas principales, así como el espaciamiento del acero de refuerzo para cumplir con los criterios de control de agrietamiento.**

**UE-UNOPS:** Se presenta en las siguientes páginas del documento adjunto a este oficio:

- Página 79 flexión
- Página 78 Fisuración

La viga más desfavorable corresponde a la viga 2.

**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. Se reitera lo indicado en el punto 1 de esta sección de observaciones.

**3. La revisión de los límites máximo y mínimo para el acero de refuerzo a cortante de las vigas, así como el diseño del acero de refuerzo transversal en estos elementos.**

**UE-UNOPS:** Se presenta en las siguientes páginas del documento adjunto a este oficio:

- Páginas 81 y 82 cortante de la viga 2.
- La viga más desfavorable corresponde a la viga 2.

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 15 de 16
---------------------------	----------------------	-----------------



**PIE-LanammeUCR:** Se atiende la observación realizada. Se reitera lo indicado en el punto 1 de esta sección de observaciones. En la nueva memoria de cálculo presentada en el Anexo a la nota 96800/211006/ER/276 y realizada a través de un software informático (Civil eStudio v39-28), no se hace referencia a las secciones de la normativa que fueron utilizadas para verificar el criterio de acero mínimo de refuerzo transversal ni de separación máxima del refuerzo trasversal en las vigas según la sección 5.8.2.5 y 5.8.2.7 respectivamente de la normativa AASHTO LRFD (2010). Lo anterior dificultó el seguimiento del proceso de diseño de la nueva de memoria de cálculo adjunta.

En el oficio POE-09-2022-0150 enviado por la Administración del proyecto el pasado 15 de marzo del 2022, se indican los límites máximo y mínimo contra el cual se revisó el acero de refuerzo a cortante en las vigas. Estos datos no se incluyeron en la nueva memoria de cálculo de la estructura presentada en el Anexo a la nota 96800/211006/ER/276, por lo que la se puede decir que la información entregada por el Contratista de manera complementaria a la memoria de cálculo original, también fue insuficiente.

### 3. 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. Tomo 3, Anexo 08: Estructuras. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del PITRA-LanammeUCR.

Euroestudios S.L. (2015). Proyecto de las intersecciones de la Bandera y Guadalupe, San José, Costa Rica. Proyecto de diseño de detalle. Tomo 6, B) Planos. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del PITRA-LanammeUCR.

EIC-Lanamme-INF-0135-2022	8 de febrero de 2022	Página 16 de 16
---------------------------	----------------------	-----------------