



Diseño de la losa de continuidad en puentes de varias luces.

Kely Yojanna Tejada Garcia

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Juan Camilo Viviescas, Ingeniero Civil

Julián Londoño, Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2021

Cita	(Tejada García, 2021)
Referencia	Tejada García, K.Y, (2021). Diseño de la losa de continuidad para puentes de varias luces[Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Julio Cesar Saldarriaga molina

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

1	Resumen.....	8
2	Introducción.....	9
3	Objetivos	11
3.1	Objetivo General	11
3.2	Objetivo Especifico.....	11
4	Marco Teórico	12
5	Metodología	13
5.1	Normas Aplicables.....	13
5.2	Software Utilizado	13
6	Especificaciones De Los Materiales	14
6.1	Concreto.....	14
6.2	Acero De Refuerzo	14
7	Descripcion De La Estructura De Analisis	15
8	Análisis De Cargas.....	17
8.1	Carga Muerta	17
8.1.1	Peso propio (DC):.....	17
8.1.2	Sobrecarga (SC):	17
8.1.2.1	Barrera de protección tipo new jersey	17
8.1.2.2	Pavimento	17
8.2	Carga Viva.....	18
8.2.1	Vehículo de diseño:	18
8.2.1.1	Carga de carril vehículo de diseño C36-14	18
8.2.1.2	Tándem de diseño.	19
8.2.1.3	Factor de diseño por presencia múltiple.....	19
8.2.2	Factor de impacto	20
8.3	Solicitaciones Debidas A La Temperatura.....	21
8.4	Solicitaciones debidas a la retracción por fraguado.....	21
9	Combinaciones De Carga	23
10	Diseño De La Losa De Continuidad	23
10.1	Diseño Del Acero De Refuerzo Requerido Para La Losa De Continuidad	23
11	Análisis Estructural.....	25
11.1	Modelo En Elementos Tipo Frame.....	25
11.1.1	Definición de elementos y propiedades.....	25
11.1.2	Modelación.....	26
11.1.3	Aplicación de cargas.	27
11.2	Modelo elementos finitos.....	29
11.2.1	Definición de elementos y propiedades.....	29
11.2.2	Modelación.....	30
11.2.3	Aplicación de cargas	31
12	Presentación y Análisis de Resultados.....	33

12.1	Resultados	33
12.2	Diseño De La Losa De Continuidad	37
12.3	Análisis de distribución de esfuerzos en la losa de continuidad.	40
12.4	Consideraciones en el uso de Losas de Continuidad y Juntas De Expansión	43
13	Conclusiones	44
14	Bibliografía.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema Losa de continuidad.	9
Figura 2 Planta general de la estructura de análisis.	15
Figura 3 Perfil del puente de análisis por el eje de la vía.....	15
Figura 4 Sección transversal típica viga 40,00m.....	16
Figura 5 Vehículo de diseño C36-14. Características del camión de diseño.	18
Figura 6 Consideración de carga viva concentrada tipo L1.	19
Figura 7 Consideración de carga viva concentrada tipo L2.	19
Figura 8 Consideración de carga viva concentrada tipo L3.	19
Figura 9 Consideración de factor de presencia múltiple de vehículos en la carga viva del modelo en SAP 2000.....	20
Figura 10 Esquema losa de continuidad sometida a tracción debido a las deformaciones por temperatura.....	21
Figura 11 Definición de Sección Losa de continuidad	25
Figura 12 Definición de Sección Transversal del puente.....	26
Figura 13 Modelo del puente completo en elementos frame	26
Figura 14 Modelación de la losa de continuidad.....	27
Figura 15 Sobrecarga por carga muerta en la losa de continuidad.....	27
Figura 16 Sobrecarga viva correspondiente al camión con impacto.....	28
Figura 17 Sobrecarga viva correspondiente al tándem con impacto.....	28
Figura 18 Carga de temperatura debido al cambio de temperatura.....	29
Figura 19 Carga de temperatura debido a los efectos de retracción.....	29
Figura 20 Definición sección viga postensada	30
Figura 21 Definición sección losa	30
Figura 22 Modelo del puente completo en elementos finitos.	30
Figura 23 Cargas aplicadas en el modelo tipo Shell.	31
Figura 24 Sobrecarga viva correspondiente al camión con impacto.....	31
Figura 25 Sobrecarga viva correspondiente al tándem con impacto.....	32
Figura 26 Momento generado por DW.	33
Figura 27 Momento generado por DC	33
Figura 28 Momento generado por el Camión con impacto- Máxima envolvente	34
Figura 29 Momento generado por el Tándem con impacto-Máxima envolvente	34
Figura 30 Momento generado por el camión con impacto- Mínima envolvente	35
Figura 31 Momento generado por el Tándem con impacto-Mínima envolvente.....	35
Figura 32 Carga Axial generada por el cambio de temperatura.....	36
Figura 33 Carga axial generada por los efectos de retracción por fraguado	36
Figura 34 Disposición del refuerzo de la losa de continuidad	40

Figura 35 Distribución de esfuerzos debidos a DW	41
Figura 36 Distribución de esfuerzos debidos a DC	41
Figura 37 Distribución de esfuerzos debidos al Camión con impacto-Mínima envolvente	41
Figura 38 Distribución de esfuerzos debidos al tándem con impacto-Mínima envolvente .	42
Figura 39 Distribución de esfuerzos debidos al camión con impacto- Máxima envolvente	42
Figura 40 Distribución de esfuerzos debidos al tándem con impacto- Máxima envolvente	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Sobrecargas consideradas para el diseño	18
Tabla 2.	Tabla 3.6.2.1-1. CCP-14.....	20
Tabla 3.	Resumen de solicitaciones impuestas en la losa de continuidad.	37
Tabla 4.	Diseño de la losa de continuidad	37

1 Resumen

En este trabajo, se analiza el sistema de losas de continuidad de concreto reforzado para sustituir las juntas de expansión estándar en puentes de varias luces simplemente apoyados, con el fin de disminuir los altos costos por mantenimiento de las estructuras y darle continuidad a la superficie de rodamiento.

En la primera etapa se describen de manera general el funcionamiento y la ubicación de las losas de continuidad en los puentes, así como las solicitaciones a las que están sujetas las losas de continuidad y en qué casos son aplicables.

Para ilustrar la modelación de la losa de continuidad se muestra el paso a paso desde la definición de secciones, hasta la aplicación de las cargas y la lectura y análisis de las solicitaciones resultantes. Se hace un análisis de la distribución de las cargas en la losa de continuidad mediante un modelo tipo Shell del puente para complementar así el estudio del funcionamiento de las losas de continuidad.

Finalmente se realiza diseño estructural y se muestra el cálculo del refuerzo necesario considerando los esfuerzos a flexión y a tensión a las cuales estará sometida la losa de continuidad.

Palabras clave: Puentes, Losa de continuidad, junta de expansión, efectos de temperatura.

2 Introducción

Los puentes en su gran mayoría se han estructurado a base de luces múltiples simplemente apoyados, con superestructuras compuestas de vigas de concreto postensado o de vigas de acero y cubiertas de losa de concreto reforzado. (Roman, 2018). Estos puentes cuentan con dispositivos especiales como el uso de juntas de expansión, entre otras razones para permitir las deformaciones de expansión y contracción del puente por los cambios de temperatura y disminuir el efecto de los movimientos provocados por las solicitaciones a las que están sujetas las estructuras de los puentes durante su vida útil.

Las juntas de expansión se colocan en la unión de los tableros de la superestructura y en la unión de la superestructura con los estribos ubicados en los extremos del puente, con el objetivo de darle continuidad a la superficie de rodamiento. (Roman, 2018).

Sin embargo, se ha observado que debido a una serie de factores como falta de mantenimiento cíclico (ya que estas uniones requieren una gran cantidad de costosos proyectos de mantenimiento o reemplazo durante la vida útil del puente), el uso de juntas inadecuadas o de poca durabilidad, han provocado que los puentes con varios años de servicio evidencien deterioros en las juntas de expansión generando afectaciones en los apoyos y en otros componentes de los puentes. (Villalobos Vega Esteban, 2017)

La tendencia actual, en la medida de lo posible, es evitar el uso de componentes con menor vida útil que los componentes estructurales principales del puente y que requieran de mantenimiento, inspección, sustitución periódica, y que podrían comprometer la durabilidad del puente, como es el caso de las juntas de expansión y de los apoyos (Muñoz, 2012).

Como respuesta al problema que presentan las juntas de dilatación en las estructuras de los puentes, se ha propuesto el uso de sistemas de puentes de cubierta continua, en los cuales se eliminan las juntas de dilatación, empleando una losa de continuidad dando lugar a una cubierta ininterrumpida de concreto reforzado sobre claros múltiples simplemente apoyados como se muestra en la siguiente figura: (Roman, 2018) .

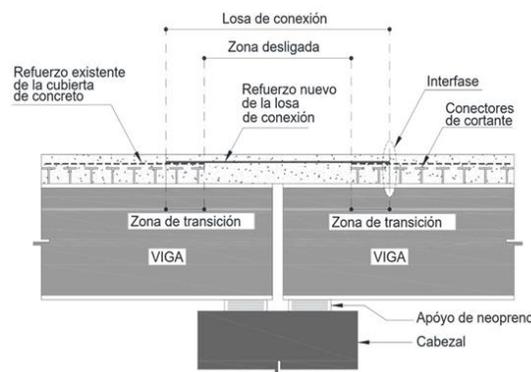


Figura 1 Esquema Losa de continuidad.
Tomada de (Roman, 2018)

Actualmente los conocimientos sobre estos sistemas son limitados. En los Códigos y Normas de Puentes vigentes, no existe aún un procedimiento de diseño bien establecido para el diseño detallado de las losas de continuidad, por lo cual se pretende hacer una investigación donde se analizara el comportamiento de la losa de continuidad con el acompañamiento de profesionales en el área y se optara por utilizar modelos matemáticos en base a los proyectos desarrollados en LyL ingenieros consultores, debido a que estos permiten variar fácilmente los aspectos que pueden influir en el diseño de la losa de continuidad como las solicitaciones estáticas y dinámicas, obteniendo su respuesta en términos de esfuerzos y deformación, logrando un diseño óptimo de todos los elementos del puente.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar un informe donde se estudie el funcionamiento de la losa de continuidad en los puentes y desarrollar el diseño de esta para utilizarse en estructuras de puentes vehiculares de eje recto, de luces simplemente apoyadas, con superestructuras formadas a base de vigas de concreto presforzado o postensado y cubiertas de losa de concreto reforzado.

3.2 Objetivo específico

- Realizar una búsqueda utilizando medios como libros, bases de datos, normatividad vigente (Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14), e internet, sobre las soluciones empíricas que se han utilizado para el diseño de las losas de continuidad para y el análisis estructural necesario para el entendimiento de la funcionalidad de las losas de continuidad.
- Comprender las interacciones de una losa de continuidad dentro de un puente correspondientes a las condiciones reales de campo, así como los efectos de diversas condiciones de carga estructural.
- Comprender las diferentes variables que se deben considerar en la etapa de diseño de las losas de continuidad con la ayuda de modelos matemáticos y hojas de cálculo, para atender el problema.
- Modelar la losa de continuidad en el programa SAP 2000 con el fin de visualizar el comportamiento de la estructura en conjunto con el puente.
- Implementar los resultados obtenidos en el modelo con el fin de calcular el refuerzo requerido para el correcto funcionamiento de la losa de continuidad.

4 Marco teórico

Por lo general, el termino puente se utiliza para describir las estructuras viales, que permiten vencer obstáculos naturales como ríos, quebradas lagos, etc. Los puentes constan fundamentalmente de dos partes, la superestructura y la subestructura. La Superestructura es la parte del puente donde actúa la carga móvil y está constituida por: El tablero, vigas longitudinales y transversales, y las capas de rodadura. Por su parte la subestructura es la parte del puente que se encarga de transmitir las solicitaciones al suelo de cimentación y está constituido por estribos y pilas (A.V, 2016)

En la unión de los tableros de la superestructura son instaladas juntas de expansión o dilatación con el fin de mitigar o de disminuir el efecto de los movimientos provocados por las solicitaciones a las que están sujetas las estructuras de los puentes durante su vida útil. (Roman, 2018).

Sin embargo, las juntas de expansión han presentado evidencia de deterioros de diversas índole y como respuesta al problema que presentan las juntas de dilatación en las estructuras de los puentes, (Roman, 2018) se ha propuesto el uso de las losas de continuidad la cual es el segmento de la cubierta que conecta dos claros adyacentes o los claros extremos con los estribos del puente, en estructuras de puentes de vigas simplemente apoyadas y su espesor es igual que el de la losa de cubierta; al eliminar las juntas de dilatación se logra la continuidad en la superestructura del puente, evitando la formación de escalones y el fuerte impacto por cargas vivas en la superestructura, favoreciendo la seguridad y la comodidad del tránsito. (Villalobos Vega Esteban, 2017).

Las losas de continuidad están unidas a la estructura mediante un enlace tipo body donde todos los nodos restringidos se mueven en forma simultanea como un cuerpo rígido tridimensional. Por defecto todos los grados de libertad en cada nudo conectado participan.

Los cambios en la posición relativa de los elementos estructurales causados por variación de temperatura, fabricación deficiente o deformaciones internas por acción de la carga, pueden causar cambios grandes en las fuerzas que afectan la estructura. Cuando en una estructura de un puente las juntas de dilatación son reemplazadas por una cubierta sin juntas, es decir empleando las losas de conexión, se produce una flexión negativa en la losa de conexión por el tránsito de las cargas vivas y al efecto de la sobrecarga por carga muerta. (Edmond Ho, 2011).

Los momentos flexionantes es lo que se genera al aplicar un par de fuerzas sobre algún elemento y produce una flexión en el mismo elemento, pudiendo ser una flexión negativa o positiva.

Aun así, las cubiertas sin juntas son preferibles a una cubierta con juntas dilatación, debido a que con un diseño adecuado de la losa de conexión y con la utilización de los materiales apropiados se puede evitar o disminuir la fisura miento a niveles permisibles. (Edmond Ho, 2011).

5 Metodología

El presente trabajo es de carácter analítico, el cual se enfoca en estudiar el comportamiento de las losas de continuidad implementadas en puentes de vigas postensadas de varias luces, considerando las solicitaciones impuestas por la carga muerta, carga viva, así como los efectos debido al cambio de temperatura y retracción por fraguado.

5.1 Normas aplicables

En el análisis y diseño de todas las estructuras, deberá cumplir como mínimo, pero sin limitarse a éstos, con los requerimientos pertinentes establecidos en los siguientes documentos:

- Norma Colombiana de diseño de Puentes – 2014. (CCP-14). Adoptada mediante Resolución N° 0000108, del 26 de enero de 2015, emanada del Ministerio de Transporte.
- Standard Specifications for Highway Bridges – AASHTO –American Association of State Highway and Transportation Officials– Edition 2012.
- ICONTEC. (Ministerio de transporte, 2014)

5.2 Software utilizado

- Para la modelación, verificación del comportamiento y cálculo de las solicitudes del puente se utilizó SAP2000.
- Microsoft Excel como herramienta de cálculo en el diseño estructural.
- AutoCAD como herramienta de dibujo y generación de planos estructurales.

6 Especificaciones de los materiales

6.1 Concreto

Se utilizarán concretos para cada elemento estructural analizado con resistencia última a los 28 días como se especifica a continuación:

- Losa del tablero 280 kg/cm² o 4000Psi
- Losa de continuidad 280 kg/cm² o 4000Psi
- Vigas postensadas 490 kg/cm² o 7000Psi

6.2 Acero de refuerzo

Se usará acero de refuerzo con una resistencia de fluencia de 4200 kg/cm², y un módulo de elasticidad de 2.000.000 kg/cm² que cumpla las especificaciones ASTM A706.

7 Descripción de la estructura de análisis

Con el fin de analizar el comportamiento estructural de las losas de continuidad, se utilizó el modelo de un puente diseñado en LyL consultores.

La estructura consta de vigas postensadas apoyadas en el asiento de los estribos y en los apoyos intermedios con una longitud total de 120m aproximadamente. Se tendrá para la estructura una sección transversal típica, que se compone de tres (3) vigas postensadas de 40,00m.

El puente dispondrá de dos (2) carriles de 3,65m, dos (2) bermas de 1,80 m y barrera de protección tipo new jersey en cada costado con ancho de 0,35m; para un ancho total de 11,60m. La losa tendrá un espesor de 0,22 m. Ver las siguientes figuras



Figura 2 Planta general de la estructura de análisis.

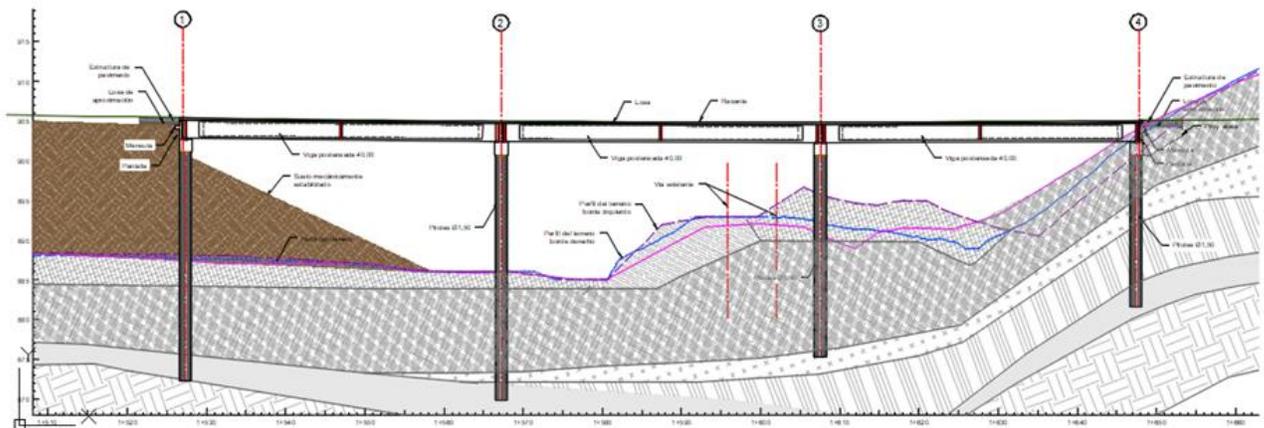


Figura 3 Perfil del puente de análisis por el eje de la vía

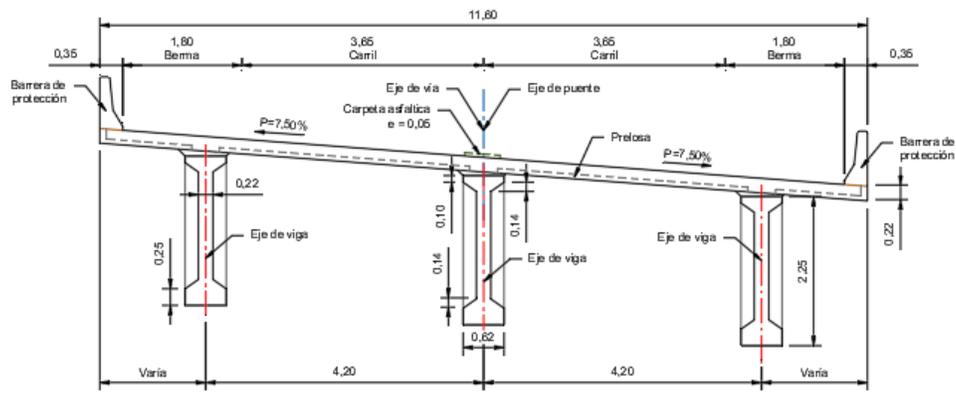


Figura 4 Sección transversal típica viga 40,00m

8 Análisis de cargas

•La carga debida al peso propio de la estructura (vigas y losa) no se considera en el análisis de la losa de continuidad, dado que en el proceso constructivo la losa de continuidad es la última en ser vaciada, por lo cual, para este momento la sección compuesta ya se ha deformado y no transmitirá cargas a la losa de continuidad.

Para el análisis estructural se consideraron las siguientes cargas:

8.1 Carga muerta

8.1.1 *Peso propio (DC):*

Corresponde al peso de los elementos que conforman la estructura, considerando la densidad del material y el volumen de los elementos.

8.1.2 *Sobrecarga (SC):*

Se considera sobrecarga el peso del pavimento, iluminación, instalaciones, barrera de protección vehicular y demás cargas permanentes que no hacen parte del peso propio de la estructura.

8.1.2.1 *Barrera de protección tipo new jersey*

$$SC_{Barrera} = A_B * \gamma_C$$

Ecuación 1. **Sobrecarga impuesta por la barrera de protección**

Donde:

A_B : Área de la sección transversal barrera de protección - New Jersey (m^2)

γ_C : Peso específico concreto reforzado (t/m^3)

$$SC_{Barrera} = 0.20 m^2 * 2.40 ton/m^3 * 2Barreras = 0.96 ton/m$$

8.1.2.2 *Pavimento*

$$SC_{Pavimento} = H_P * A_P * \gamma_A$$

Ecuación 2. **Sobrecarga impuesta por el pavimento**

Donde:

H_P : Altura del pavimento (m)

A_P : Ancho del pavimento (m)

γ_A : Peso específico asfalto (t/m^3)

$$SC_{Pavimento} = 0.10 m * (11.60 - (0.30 * 2)m) * 2.30 ton/m^3 = 2.51 ton/m$$

Tabla 1. Sobrecargas consideradas para el diseño

Sobre Carga por metro lineal de puente.			
Pavimento	2.51	DW	2.91
Iluminación	0.30		
Instalaciones	0.10		
Anden -Barrea de protección	0.96	DC	0.96
Total	3.87		

Nota: En el cálculo efectuado para encontrar la carga por espesor de carpeta asfáltica se tiene en cuenta un espesor adicional de 0,05 m para prever futuras repavimentaciones.

8.2 Carga viva

8.2.1 Vehículo de diseño:

Según la Norma Colombiana de diseño de Puentes de 2014 (CCP-14): El camión usado corresponde al HL-93, un tándem de diseño y a la línea de carga.

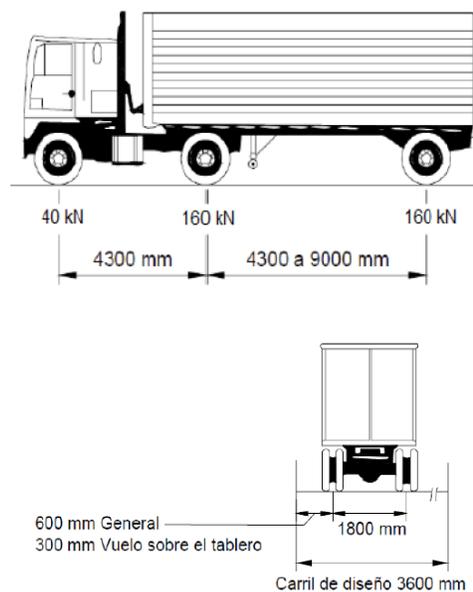


Figura 5 Vehículo de diseño C36-14. Características del camión de diseño.

8.2.1.1 Carga de carril vehículo de diseño C36-14

La carga de carril de diseño consiste en una carga de 1,03ton uniformemente distribuida en el sentido longitudinal del puente, transversalmente la carga de carril se superpone distribuida uniformemente sobre un ancho de carril de 3,00m y estas cargas no se tienen en cuenta en los efectos de amplificación por carga dinámica.

8.2.1.2 *Tándem de diseño.*

El tándem de diseño consiste en un par de ejes de 12,50ton separados 1,20m entre sí, para el espaciamiento transversal de las ruedas se escogió 1,80m, y se considera una amplificación de carga dinámica como se especifica en el artículo 3.6.2 del CCP-14.

8.2.1.3 *Factor de diseño por presencia múltiple.*

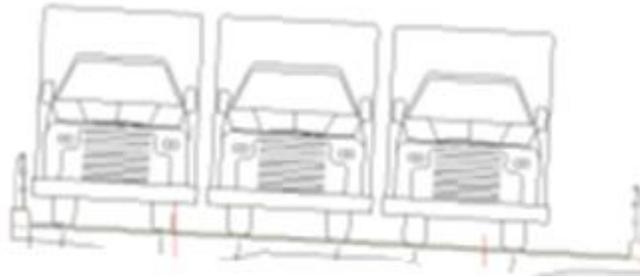


Figura 6 Consideración de carga viva concentrada tipo L1.



Figura 7 Consideración de carga viva concentrada tipo L2.



Figura 8 Consideración de carga viva concentrada tipo L3.

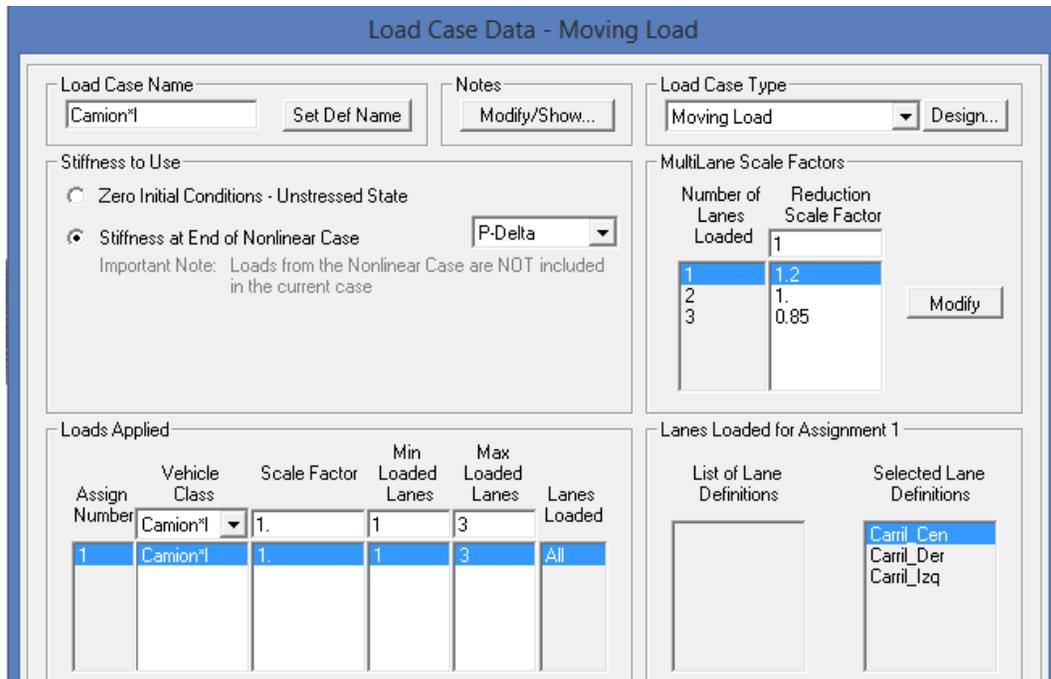


Figura 9 Consideración de factor de presencia múltiple de vehículos en la carga viva del modelo en SAP 2000.

8.2.2 Factor de impacto

El cálculo del impacto se realiza bajo los parámetros del Código Colombiano de Puentes de 2014 (CCP-14), considerando que los efectos de amplificación por carga dinámica IM deben tomarse de acuerdo a la tabla 3.6.2.1-1.

Tabla 2. **Tabla 3.6.2.1-1. CCP-14**

Componentes	IM
Juntas de tablero – Todos los Estados límite	75%
Todos los demás componentes:	
• Estado límite de fatiga y fractura	15%
• Todos los demás Estados límite	33%

Para el caso de análisis se considera un factor de amplificación IM = 33%

8.3 Solicitaciones debidas a la temperatura

Los efectos causados por la temperatura son los que mayor trascendencia tiene en el análisis de la tracción en la losa de continuidad, esto es debido a no solamente a la magnitud de las deformaciones que provoca sino a que los cambios de temperatura causan deformaciones alternadas que se producen durante toda la vida de la estructura. (Roman, 2018). A continuación, se muestra un esquema de la fuerza axial generada por los cambios de temperatura en la losa de continuidad:

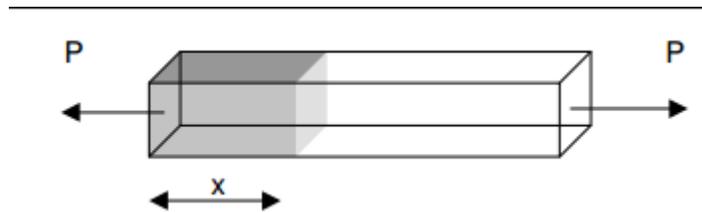


Figura 10 Esquema losa de continuidad sometida a tracción debido a las deformaciones por temperatura

Como muchos otros materiales el concreto se expande con un aumento en la temperatura y se contrae con la disminución de la misma. Los efectos de tales cambios en volumen son similares a aquellos causados por retracción de fraguado, es decir la contracción por temperatura puede llevar a agrietamientos considerables, particularmente cuando se superpone a la retracción de fraguado. (Nilson)

“El coeficiente de expansión y contracción térmica varía relativamente dependiendo de los tipos de agregado u de la riqueza de la mezcla, este está por lo general en el rango de 4×10^{-6} a 7×10^{-6} pul/pul por $^{\circ}\text{F}$. Para efectos de esfuerzos y deformaciones unitarias causadas por cambios de temperatura se acepta generalmente como satisfactorio un valor de 5.5×10^{-6} pul/pul por (...) $^{\circ}\text{F}$ lo cual es igual a 1×10^{-5} .” (Nilson)

A partir de esto se creó un caso de carga en el modelo que simulara los cambios de temperatura en donde está ubicado el puente, basado en esto, se empleó un cambio de temperatura promedio de 15°C y se determinó la fuerza axial correspondiente.

8.4 Solicitaciones debidas a la retracción por fraguado.

La retracción es el acortamiento debido a la pérdida de agua en la mezcla de concreto ya que esta contiene más agua de la requerida para hidratación, la mayor parte de esta agua se evapora en el tiempo dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad de ambiente.

En la medida que el concreto se seca se retrae en volumen probablemente debido a la tensión capilar que se desarrolla en el agua que permanece en el concreto. Por el contrario, si el concreto seco se sumerge en el agua, se expande recuperando la mayor parte del volumen perdido en la retracción. (Nilson) El hormigón se retrae aproximadamente igual según las 3 dimensiones.

La retracción que continúa durante varios meses a tasas cada vez menores, puede ser una propiedad del concreto, perjudicial en varios aspectos, que dependen de la configuración del elemento. Cuando no se controla de manera adecuada, puede causar grietas poco agradables a la vista y usualmente perjudiciales en losas, muros etc. (Nilson)

La ASSTHO especifica en el numeral 8.5.4 “el coeficiente de retracción para concretos normales puede tomarse como 0.0002”. (AASHTO-American association of state highway and transportation officials., 2014)

Las solicitaciones debidas a la retracción por fraguado se traducen a una fuerza axial en términos del cambio de temperatura basados en el cambio de longitud, calculada mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Cambio en la longitud por retraccion} = \text{Coeficiente de retraccion} * \text{Longitud}$$

$$\begin{aligned} \text{Cambio en la longitud temperatura} \\ = \text{Longitud} * \text{coeficiente de dilatacion termica} * \Delta T \end{aligned}$$

Igualando las ecuaciones y despejando el cambio de temperatura obtenemos:

$$\Delta T = \frac{\text{Coeficiente de retraccion}}{\text{Coeficiente de dilatacion termica}}$$

Teniendo en cuenta el coeficiente de retracción especificado por la ASSTHO y el coeficiente de dilatación térmica especificado anteriormente, el cambio de temperatura correspondiente a los efectos de retracción es:

$$\Delta T = \frac{0.0002}{0.00001^{\circ}C} = 20^{\circ}C$$

9 Combinaciones de carga

Para el análisis estructural se diseña con las combinaciones de estado límite de resistencia I siguiendo las recomendaciones de la sección 3 del CCP-14, mostradas a continuación:

- 1.25DC+1.50DW+1.75 Camión (con impacto)
- 1.25DC+1.50DW+1.75 Tándem (con impacto)

10 Diseño de la losa de continuidad

Cuando en una estructura de un puente las juntas de dilatación son reemplazadas por una losa continua, es decir empleando las losas de conexión, se produce una flexión negativa por el tránsito de las cargas vivas y la aplicación de cargas muertas. Debido a esto, se espera cierto nivel de agrietamiento sobre la superficie superior de la misma, sin embargo, con un diseño adecuado de la losa de conexión y empleando los materiales adecuados se puede evitar o disminuir el fisuramiento a niveles permisibles (Edmund Ho)

10.1 Diseño del acero de refuerzo requerido para la losa de continuidad

Basado en el análisis por resistencia de vigas de acuerdo con el código ACI referenciado en el libro de Diseño de concreto reforzado de Jack C. McCORMAC-RUSSELL H. BROWN, se calcula la cuantía necesaria para suplir las solicitaciones por flexión como se muestra a continuación.

$$m = 0.85 * \frac{f'c}{fy}$$

$$k = \frac{Mu}{(\phi * b * d^2)}$$

$$\rho \text{ calculada} = m * \left(1 - \sqrt{\frac{1 - (2 * k)}{0.85 * f'c}}\right)$$

Ecuación 1 Porcentaje de acero requerido

$$\text{Area acero} = \rho \text{ calculada} * d * b$$

Ecuación 2 Área del acero requerida por momento.

Para el cálculo del área del acero requerida por tensión se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Area acero} = \text{Fuerza Axial}/fy$$

Ecuación 3 Acero requerido por tensión

Para el diseño se implementó el coeficiente de reducción especificados en el titulo C-5.5.4.2 de la CCP-14, a continuación, se muestran los coeficientes de reducción a utilizar:

Coeficiente de reduccion de resistencia a flexion = 0.9

Coeficiente de reduccion de resistencia a traccion = 0.9

11 Análisis estructural

El análisis se efectuó considerando además de las solicitaciones impuestas por la carga muerta y la carga viva, las solicitaciones impuestas por los cambios de temperatura y el efecto de la retracción por fraguado. Se realizó el análisis siguiendo las recomendaciones de la sección 3 del CCP-14.

Para modelar la estructura se empleó el programa de análisis estructural SAP2000. Se realizaron dos modelos de análisis, en el primero todos los elementos que conforman la estructura fueron modelados con elementos tipo “frame” con el fin de obtener las solicitaciones de diseño, para el segundo caso los elementos fueron modelados como elementos tipo “Shell” con el fin de analizar la distribución de esfuerzos.

11.1 Modelo en elementos tipo frame

El modelo de elementos tipo frame del puente se realizó con el fin de obtener las solicitaciones generadas por la sobrecarga, la carga viva, el cambio de temperatura y el efecto de la retracción por fraguado en la losa de continuidad.

11.1.1 Definición de elementos y propiedades

Se definen las propiedades geométricas y la resistencia de materiales para los frame correspondientes a la sección de la losa de continuidad y de la sección transversal del puente la cual está compuesta por las vigas longitudinales y la losa.

La losa de continuidad está definida con un ancho de 11.6m y un espesor de 0.22m. El concreto de diseño para la losa de continuidad es de 4000psi, en la siguiente figura se presenta la definición en el programa Sap2000.

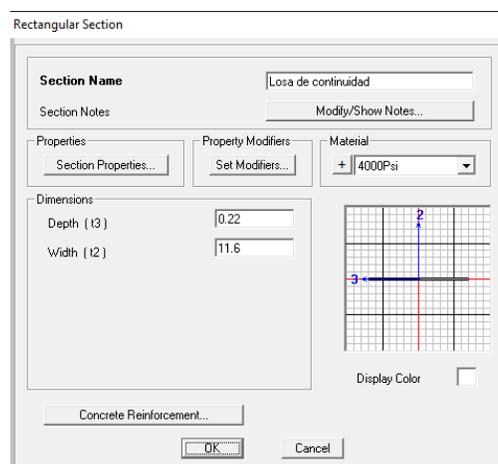


Figura 11 Definición de Sección Losa de continuidad

La sección transversal del puente está definida con tres vigas longitudinales de altura de 2.25m separadas entre ellas a 4.20m y con una losa de espesor de 0.22m.

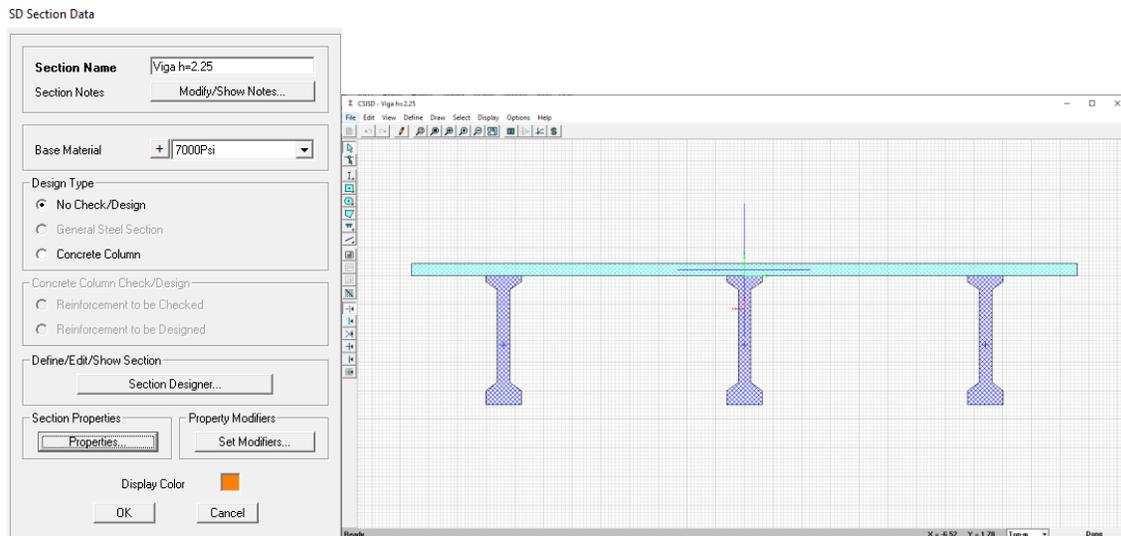


Figura 12 Definición de Sección Transversal del puente

11.1.2 Modelación

Se realizó el modelo de la estructura en elementos tipo frame, en donde los elementos fueron dibujados teniendo en cuenta el centroide geométrico y de gravedad de cada una de las secciones que la componen. La losa de continuidad en los apoyos intermedios no restringe los giros en los apoyos de las vigas de forma tal que se permita que se generen momentos en estas zonas. Sin embargo, en la modelación en SAP2000, se tiene en cuenta la losa de continuidad, para verificar las fuerzas que se transmiten a este elemento.

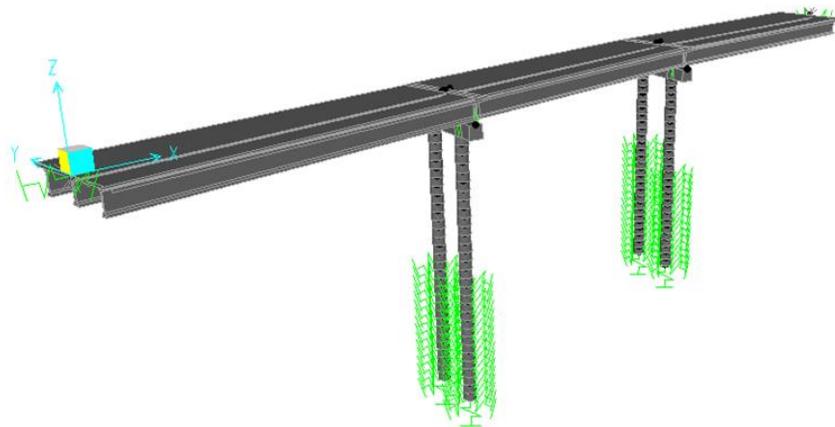


Figura 13 Modelo del puente completo en elementos frame

Las losas de continuidad en los apoyos intermedios tendrán un espesor mínimo de 0.22m, una longitud de 1m y un ancho de 11.6m, estará ligada a la estructura mediante un enlace tipo body, permitiendo que se muevan de forma simultanea como un cuerpo rígido tridimensional simulando la continuidad del puente.

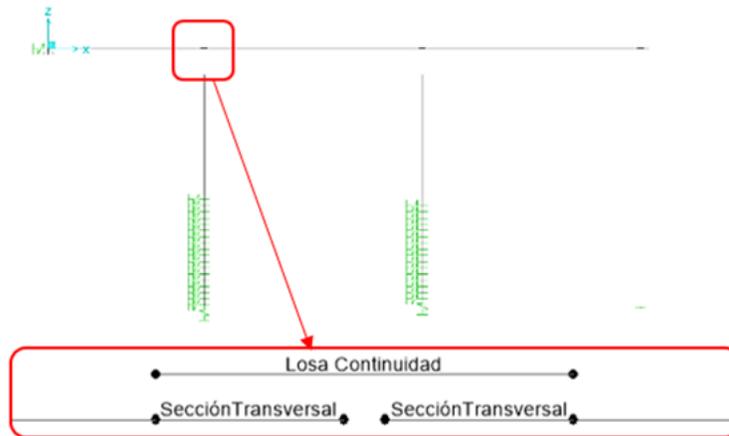


Figura 14 Modelación de la losa de continuidad.

11.1.3 Aplicación de cargas.

Para la modelación de las losas de continuidad se asignaron las cargas debido a la sobrecarga por carga muerta, por carga viva y los cambios de temperatura definidas anteriormente en el numeral 8 ver en la siguiente figura.

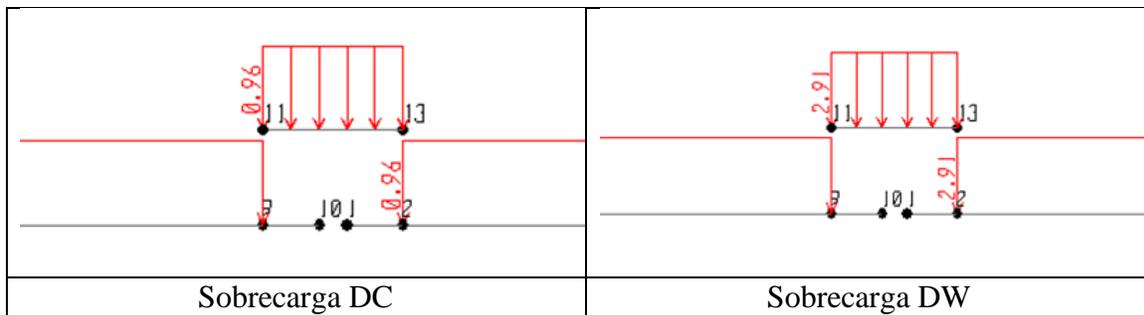


Figura 15 Sobrecarga por carga muerta en la losa de continuidad.

General Vehicle Data

Vehicle name: Camion Impact Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0.	One Point	
For Other Responses	0.	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3
 Lane Interior Edge: 0.6

Length Effects

Axle: None
 Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Trailing Load	Infinite		1.03	Fixed Width	3.			
Leading Load	Infinite		1.03	Fixed Width	3.	5.32	Two Points	1.8
Fixed Length	4.3		1.03	Fixed Width	3.	21.28	Two Points	1.8
Variable Length	4.3	9.	1.03	Fixed Width	3.	21.28	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		1.03	Fixed Width	3.			

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Figura 16 Sobrecarga viva correspondiente al camión con impacto

General Vehicle Data

Vehicle name: Tandem Impac Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0.	One Point	
For Other Responses	0.	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3
 Lane Interior Edge: 0.6

Length Effects

Axle: None
 Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		1.03	Fixed Width	3	16.625	Two Points	1.8
Fixed Length	1.2		1.03	Fixed Width	3.	16.625	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		1.03	Fixed Width	3.	16.625	Two Points	1.8

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Figura 17 Sobrecarga viva correspondiente al tándem con impacto

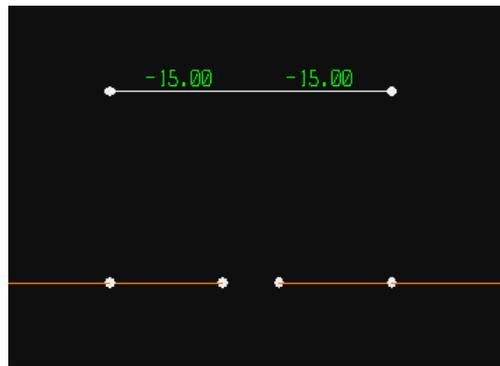


Figura 18 Carga de temperatura debido al cambio de temperatura.



Figura 19 Carga de temperatura debido a los efectos de retracción

11.2 Modelo elementos finitos.

El modelo de elementos finitos del puente se realizó con el fin hacer la verificación de la distribución de las sollicitaciones de momento generadas por la sobrecarga y la carga viva en la losa de continuidad.

11.2.1 Definición de elementos y propiedades.

El modelo se realiza con ayuda del módulo de bridge del programa sap2000, en el cual se definen las propiedades y secciones de manera general y el programa genera el modelo de manera automática.

La losa de continuidad está definida como parte de la losa, sin embargo, como la losa de continuidad no está apoyada directamente en las vigas por el poron que se pone debajo de esta, se eliminan los bodys que unen el tramo de la losa de continuidad con las vigas.

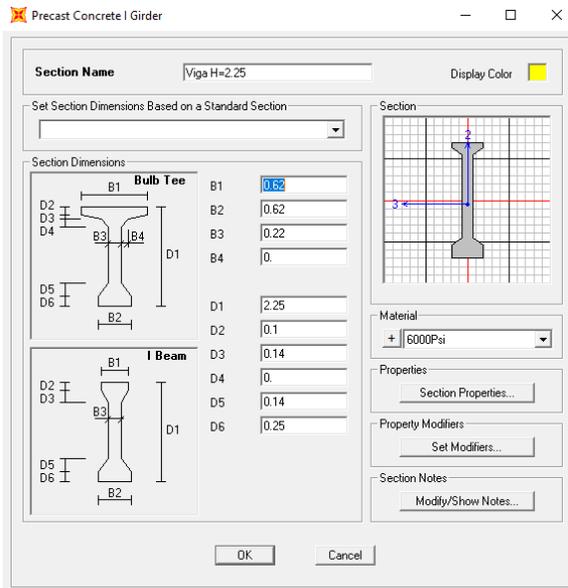


Figura 20 Definición sección viga postensada

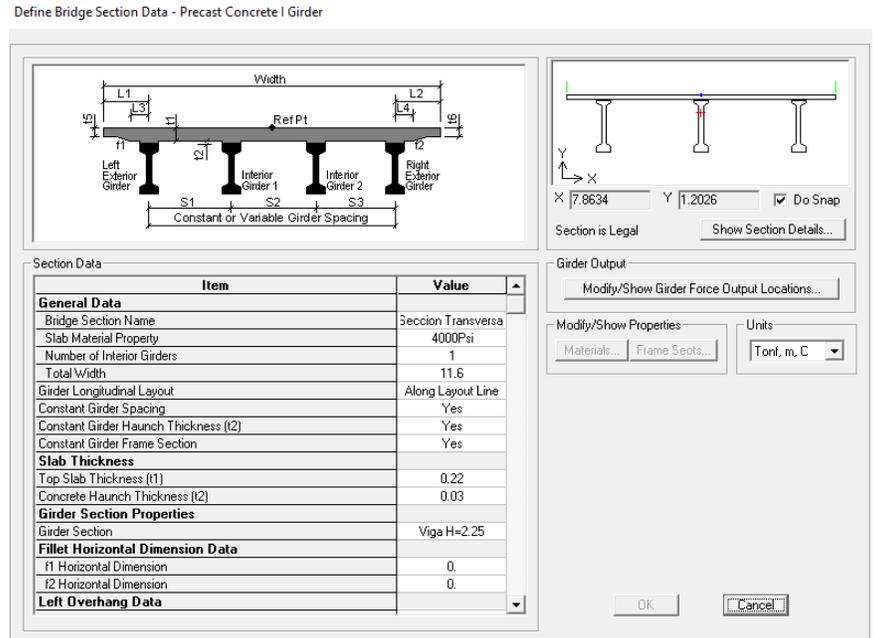


Figura 21 Definición sección losa

11.2.2 Modelación

En el modelo se especifica generar el modelo en elementos tipo área con una dimensión máxima de 0.25m. La losa estará unida a la viga mediante un enlace tipo body definidos automáticamente por el programa. Para simular correctamente el comportamiento de la losa de continuidad se eliminaron los bodys en este tramo.

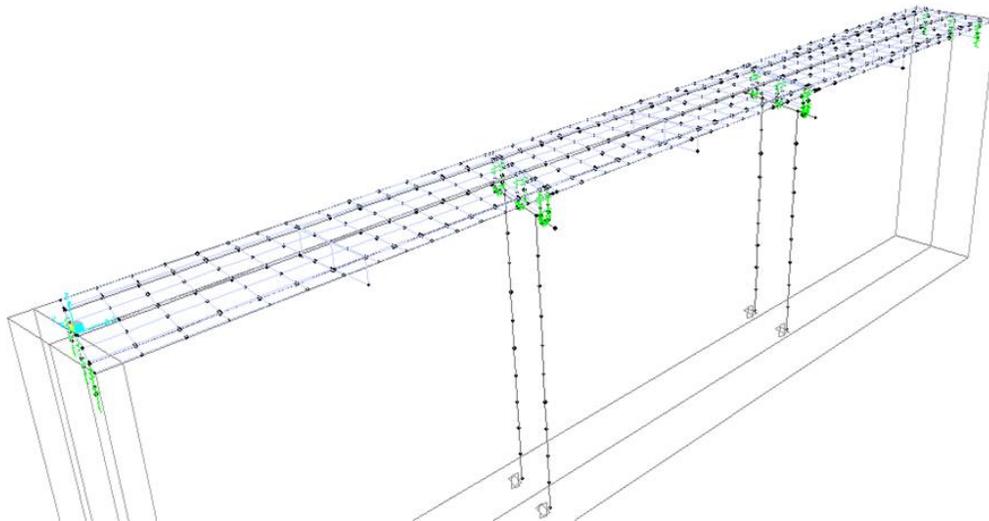


Figura 22 Modelo del puente completo en elementos finitos.

11.2.3 Aplicación de cargas

En el modelo tipo Shell se aplican las cargas por metro lineal, por lo cual se dividen las cargas definidas en el numeral 8 en el ancho de la losa de continuidad correspondiente a 11,6m, obteniendo las cargas mostradas a continuación:

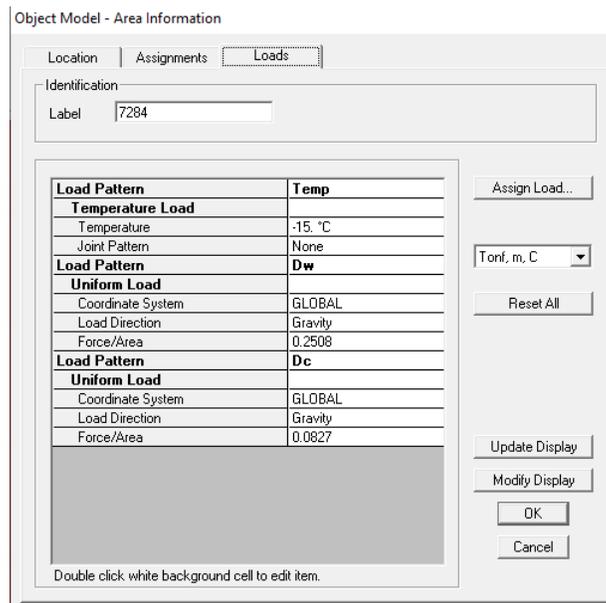


Figura 23 Cargas aplicadas en el modelo tipo Shell.

Para la aplicación de carga viva se definen los tipos de vehículos de camión y tándem con impacto.

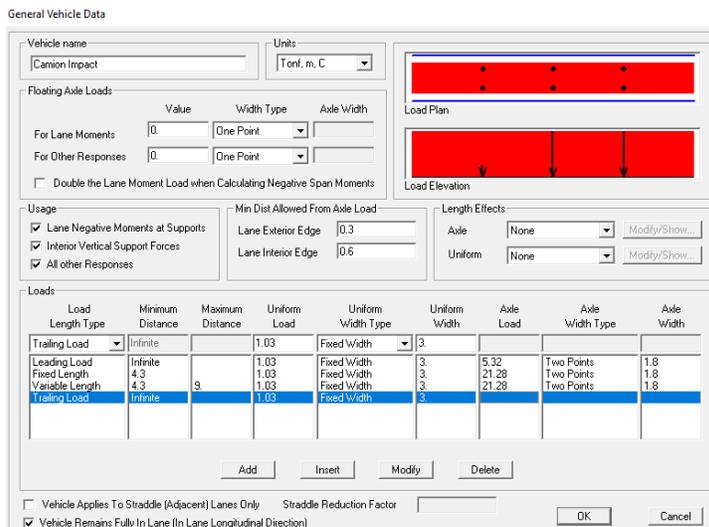


Figura 24 Sobrecarga viva correspondiente al camión con impacto

General Vehicle Data

Vehicle name: Tandem Impac Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads:

For Lane Moments: Value: 0 Width Type: One Point Axle Width: 1.8

For Other Responses: Value: 0 Width Type: One Point Axle Width: 1.8

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

Lane Negative Moments at Supports

Interior Vertical Support Forces

All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3

Lane Interior Edge: 0.6

Length Effects:

Axle: None

Uniform: None

Load Plan

Load Elevation

Load	Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite			1.03	Fixed Width	3	16.625	Two Points	1.8
Leading Load	Infinite			1.03	Fixed Width	3	16.625	Two Points	1.8
Fixed Length	1.2			1.03	Fixed Width	3	16.625	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite			1.03	Fixed Width	3	16.625	Two Points	1.8

Vehicle Applies To Staddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor: 0

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete, OK, Cancel

Figura 25 Sobrecarga viva correspondiente al tándem con impacto

12 Presentación y análisis de resultados

12.1 Resultados

A partir del modelo en elementos frame, se realizó un análisis detallado del comportamiento estructural centrado en los momentos generados por la sobrecarga y la carga viva. Para obtener los resultados del programa SAP2000 se procedió a seleccionar los elementos de interés tipo “frame” los cuales representaban cada una de las losas de continuidad del puente, luego se exportaron a un archivo de Excel donde se ordenaron las solicitaciones para cada una de las cargas impuestas.

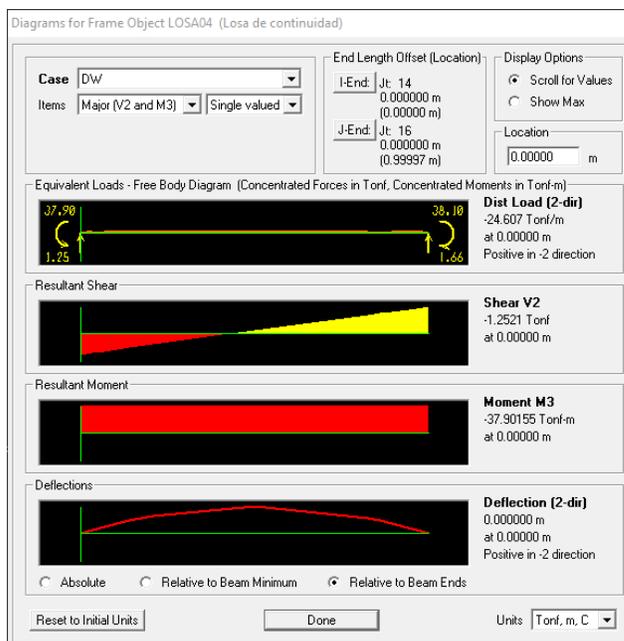


Figura 26 Momento generado por DW.

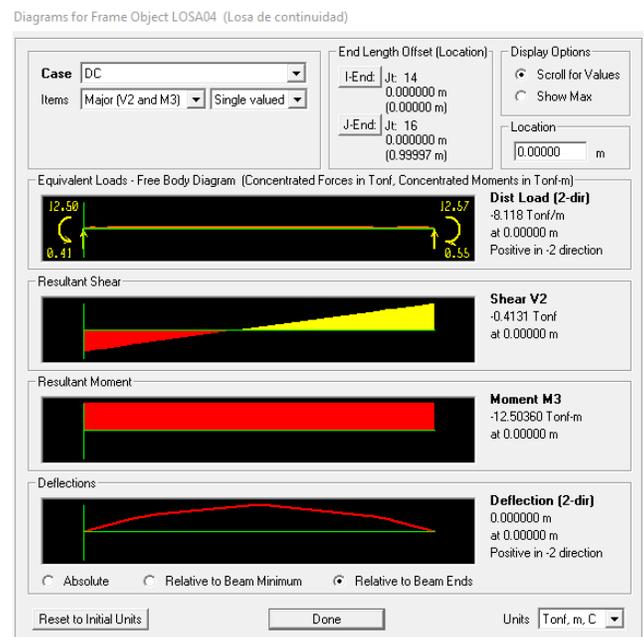


Figura 27 Momento generado por DC

Los momentos generados por la sobrecarga muerta como lo son DC y DW son negativos, dado que esta sobrecarga no solo está aplicada en la losa de continuidad, sino también en la sección compuesta del puente, lo cual produce una deflexión longitudinal en la sección compuesta y con esta una rotación en el extremo de las vigas. Esta rotación esta impuesta en el extremo de la losa de continuidad causando la flexión negativa como respuesta a las tensiones mecánicas impuestas por el sentido de la deflexión de la sección compuesta.

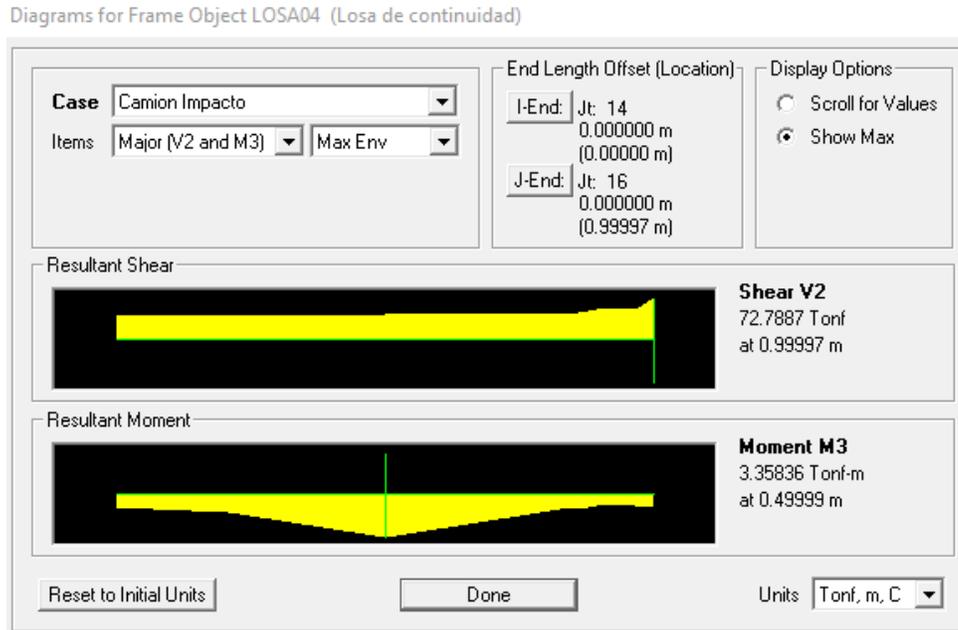


Figura 28 Momento generado por el Camión con impacto- Máxima envolvente

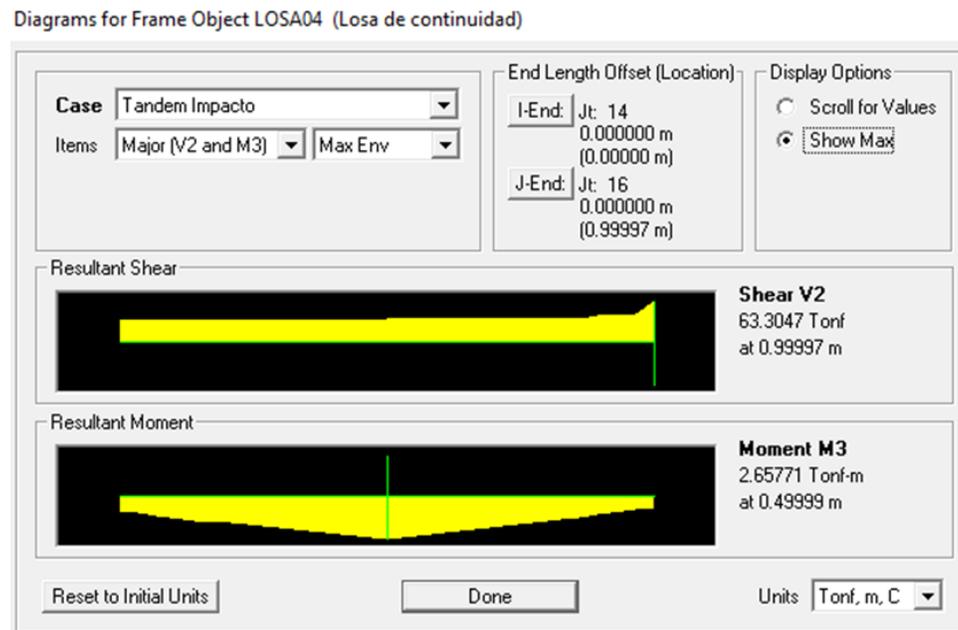


Figura 29 Momento generado por el Tándem con impacto-Máxima envolvente

El momento generado por la carga viva justo cuando esta se encuentra aplicada directamente sobre la losa de continuidad es positivo y de baja magnitud teniendo en cuenta que la luz libre de la losa de continuidad es de 1m.

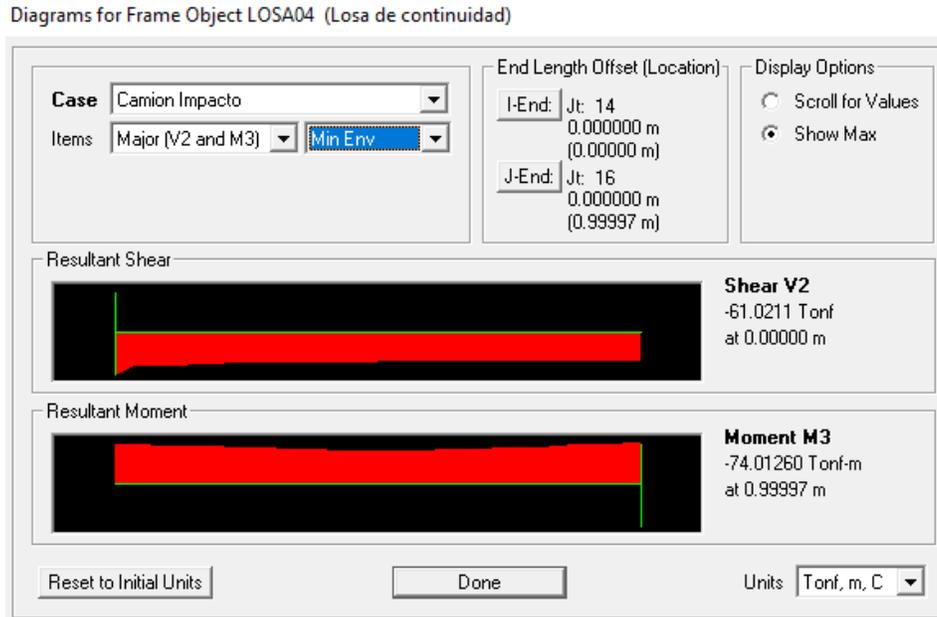


Figura 30 Momento generado por el camión con impacto- Mínima envolvente

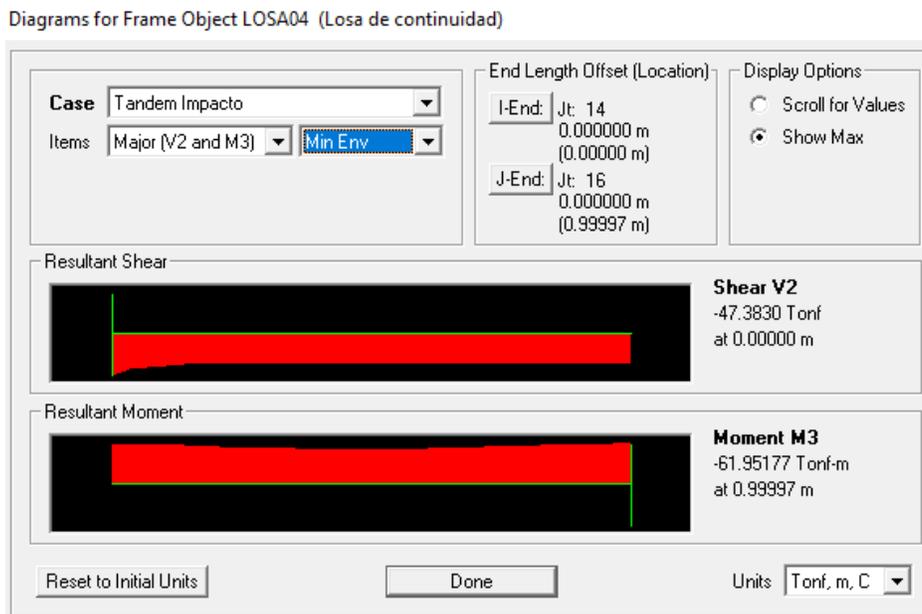


Figura 31 Momento generado por el Tándem con impacto-Mínima envolvente

Debido al tránsito de las cargas vivas se produce una flexión negativa máxima cuando la carga viva se encuentra ubicada en la mitad de la longitud de la sección compuesta del puente, esto debido a que en esta condición se produce la mayor deflexión y por ende la máxima rotación en el extremo de la viga, finalmente el momento resultante a esta rotación será negativo y el que predominara el diseño de la losa de continuidad.

Las solicitaciones debidas al cambio de temperatura y a la retracción por fraguado se ven representadas con una resultante de carga axial como se muestra a continuación:

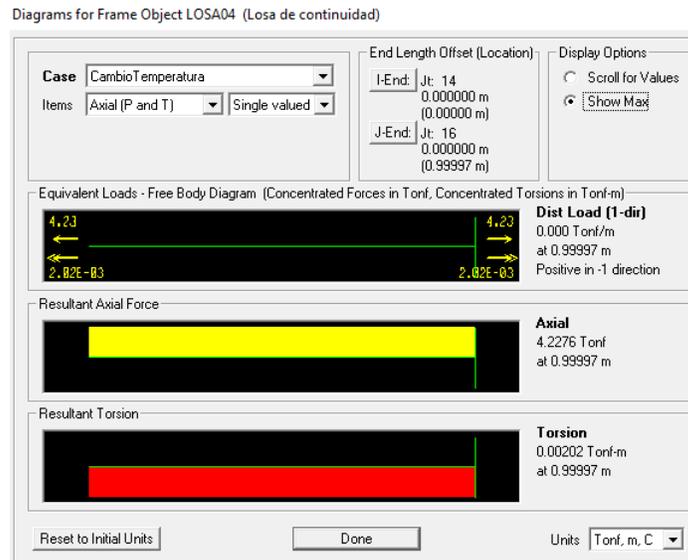
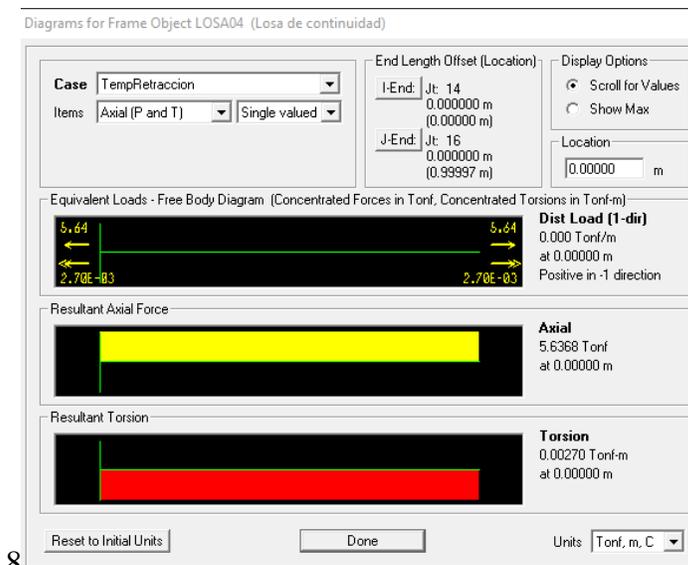


Figura 32 Carga Axial generada por el cambio de temperatura.



8

Figura 33 Carga axial generada por los efectos de retracción por fraguado

Se analiza la carga axial cual esta somete a tracción la losa de continuidad, ya que esta es la situación más crítica para el funcionamiento de la losa de continuidad.

Se presenta el resumen de las solicitaciones impuestas en la losa de continuidad con las cuales se procederá a hacer el diseño de esta.

Tabla 3. Resumen de solicitaciones impuestas en la losa de continuidad.

Solicitaciones				
Carga		M(-) ton-m	M(+) ton-m	Carga Axial (ton)
Dc	-	-12.5	-	-
Dw	-	-37.9	-	-
Camion Impacto	Max	-	3.35	-
	Min	-74.01	-	-
Tandem Impacto	Max	-	2.65	-
	Min	-61.95	-	-
Cambio de Temperatura	-	-	-	4.22
Retraccion por fraguado	-	-	-	5.63

12.2 Diseño de la losa de continuidad

El cálculo del acero de las losas de continuidad, se realiza considerando los momentos y fuerza axial generados por los cambios de temperatura, sobre carga y carga viva.

Tabla 4. Diseño de la losa de continuidad

DISEÑO ESTRUCTURAL				
$f_c =$	490	kg/cm ²	Resistencia del concreto a la compresión	
$F_y =$	4200	kg/cm ²	Resistencia del acero a tracción	
$b =$	11.60	m	Ancho de la losa	
$h =$	0.22	m	Altura de la losa	
R.L (c.e) =	0.040	m	Recubrimiento libre exterior	
R.L (c.i) =	0.040	m	Recubrimiento libre interior	
d	0.180			
Concreto:	In-Situ			
Φ_f	0.90	Coeficiente de reducción de resistencia a flexión		
Φ_v	0.85	Coeficiente de reducción de resistencia carga axial		
Solicitaciones				
Carga		M(-) ton-m	M(+) ton-m	Carga Axial (ton)
Dc	-	-12.5	-	-
Dw	-	-37.9	-	-

Camión Impacto	Max	-	3.35	-
	Min	-74.01	-	-
Tándem Impacto	Max	-	2.65	-
	Min	-61.95	-	-
Cambio de Temperatura	-	-	-	4.22
Retracción por fraguado	-	-	-	5.63

LOSA DE CONTINUIDAD			
DISEÑO MOMENTO POSITIVO			
Mu (+)	5.8625	ton-m	
m	0.10		
k	1.73		
ρ Mínima=	0.0018		Cuantía de diseño mínima
ρ Calculada=	0.00180		Cuantía de diseño calculada
A_s =	37.58	cm ²	Acero de Refuerzo Principal Requerido
DISEÑO CARGA AXIAL			
P=	2.11	ton	Fuerza Axial debido al cambio de temperatura
A_s =	0.56	cm ²	Área del acero correspondiente a la fuerza axial
P=	2.82	ton	Fuerza Axial debido a la retracción
A_s =	0.74	cm ²	Área del acero correspondiente a la fuerza axial
Acero Inferior losa de continuidad			
#=	6		Número de la barra
A_b =	2.84	cm ²	Área de barra
UND=	14		Cantidad de barras calculadas
$S_{Calculado}$ =	84.72	cm	Espaciamiento calculado
$S_{Escogido}$ =	30.00	cm	Espaciamiento escogido
DISEÑO MOMENTO NEGATIVO			
Mu (+)	201.9925	ton-m	
m	0.10		
k	59.72		
ρ Mínima=	0.0018		Cuantía de diseño mínima
ρ Calculada=	0.01542		Cuantía de diseño calculada
A_s =	321.89	cm ²	Acero de Refuerzo Principal Requerido

DISEÑO CARGA AXIAL			
P=	2.11	ton	Fuerza Axial debido al cambio de temperatura
As=	0.56	cm ²	Área del acero correspondiente a la fuerza axial
P=	2.82	ton	Fuerza Axial debido a la retracción
As=	0.74	cm ²	Área del acero correspondiente a la fuerza axial
Acero Superior losa de continuidad			
#=	6		Número de la barra
Ab=	2.84	cm ²	Área de barra
UND=	114		Cantidad de barras calculadas
S _{Calculado} =	10.19	cm	Espaciamiento calculado
S _{Escogido} =	10.00	cm	Espaciamiento escogido

Para la losa de continuidad es necesario disponer un refuerzo con barras número 6 espaciadas cada 0.10m en la parte superior y barras numero 6 cada 0.30m en la parte inferior, con lo cual se suplen las solicitaciones con flexión y tracción.

Como detalle típico y considerando la facilidad constructiva se especifica el refuerzo como se muestra en la siguiente figura.

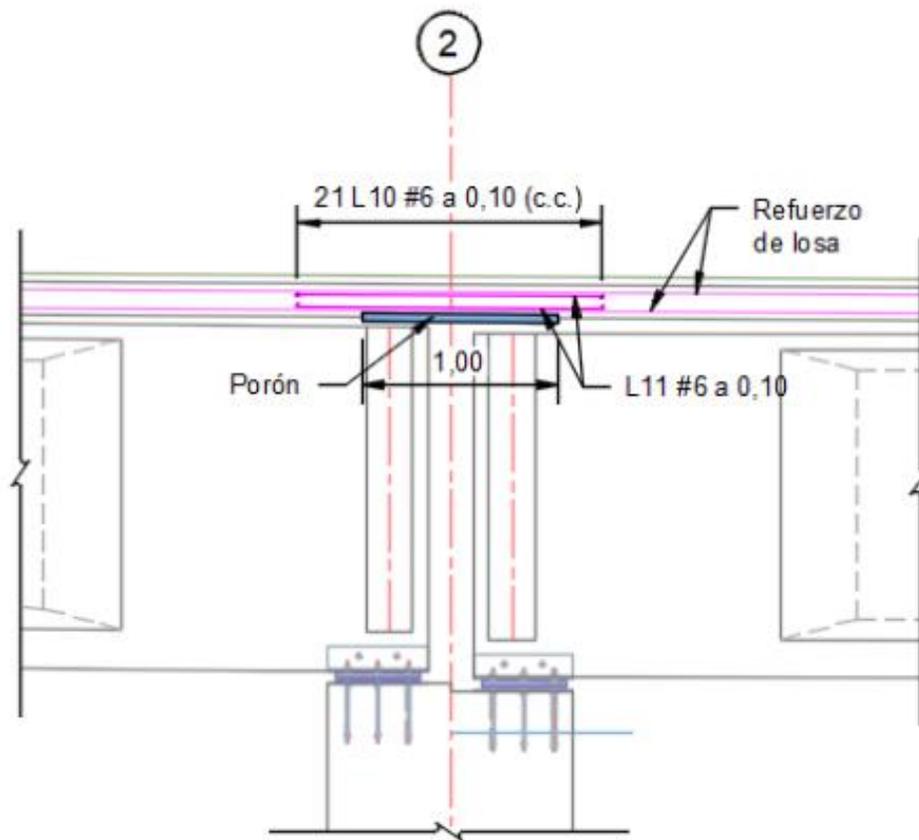


Figura 34 Disposición del refuerzo de la losa de continuidad

12.3 Análisis de distribución de esfuerzos en la losa de continuidad.

Al evaluar las cargas en el modelo tipo Shell este calcula las solicitaciones por metro lineal, lo cual permite analizar de manera más detallada la distribución de las solicitaciones en toda el área de la losa de continuidad. A continuación, se presentan los resultados de los momentos generados al aplicar la carga viva y la carga muerta.

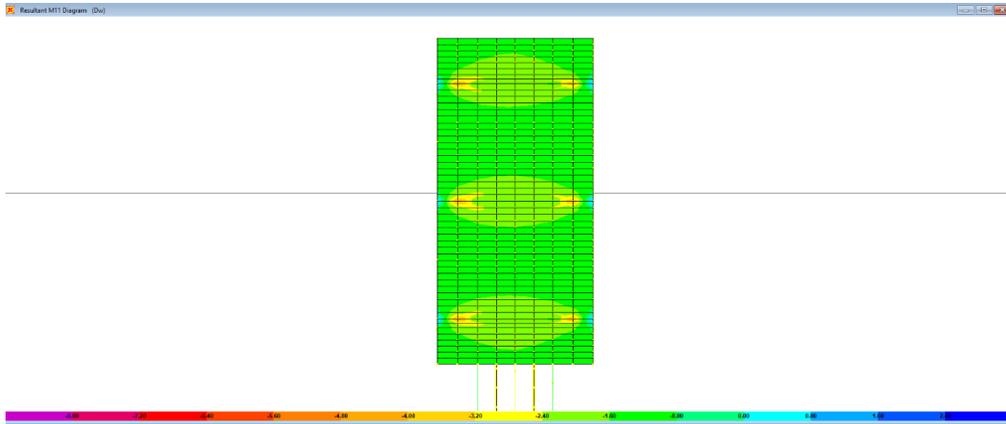


Figura 35 Distribución de esfuerzos debidos a DW

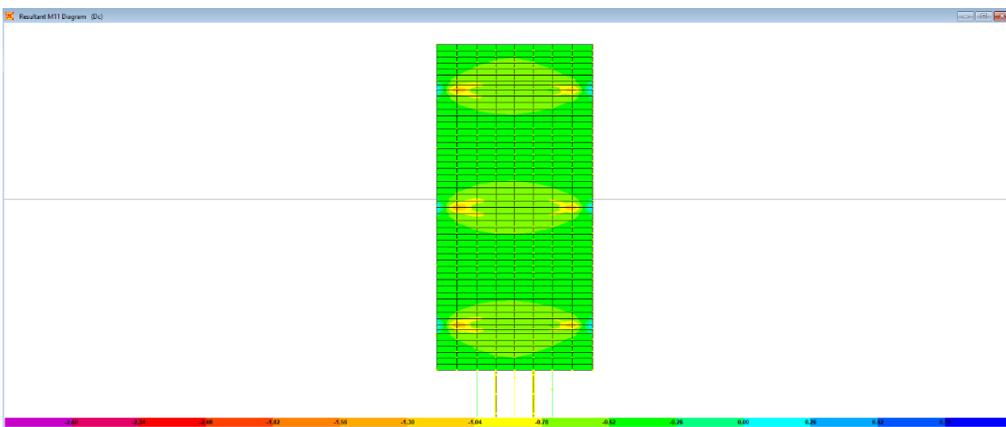


Figura 36 Distribución de esfuerzos debidos a DC

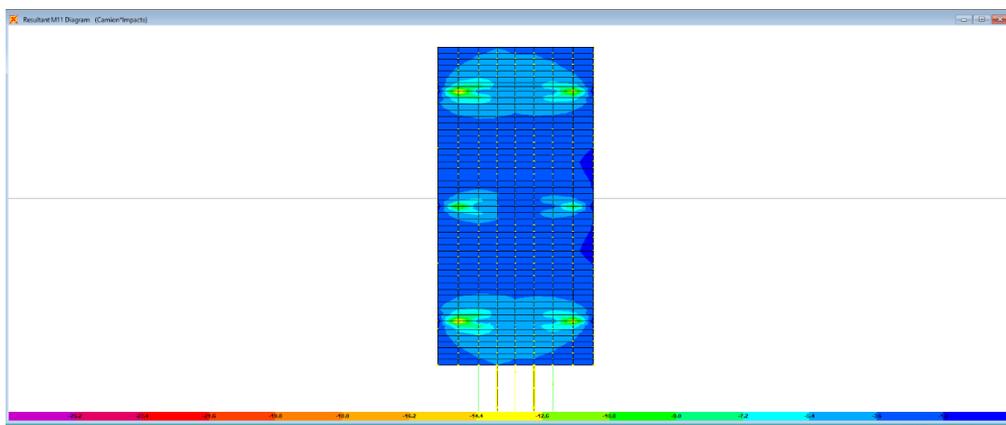


Figura 37 Distribución de esfuerzos debidos al Camión con impacto-Mínima envolvente

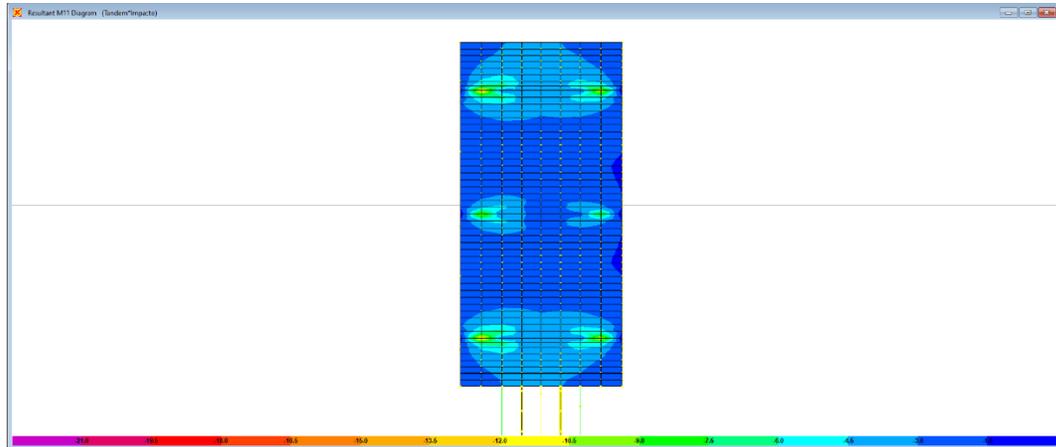


Figura 38 Distribución de esfuerzos debidos al tándem con impacto- Mínima envolvente

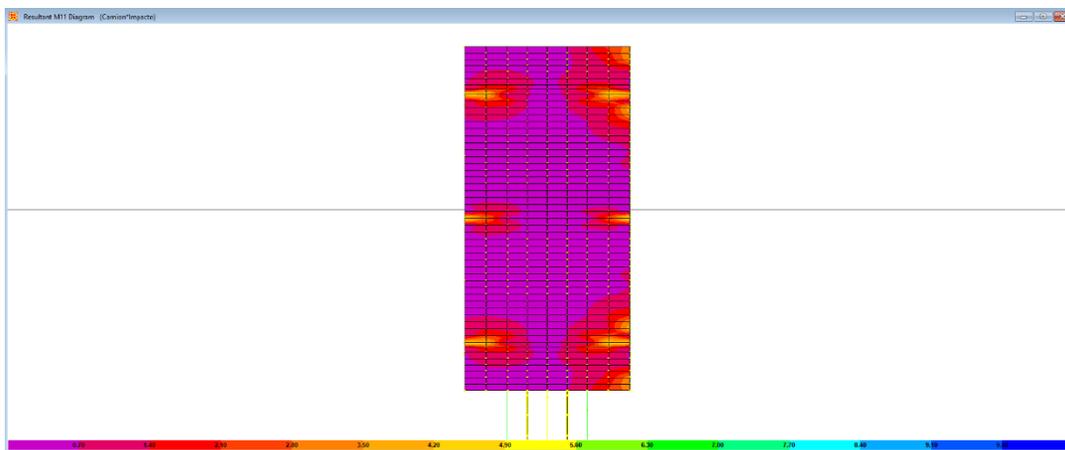


Figura 39 Distribución de esfuerzos debidos al camion con impacto- Máxima envolvente

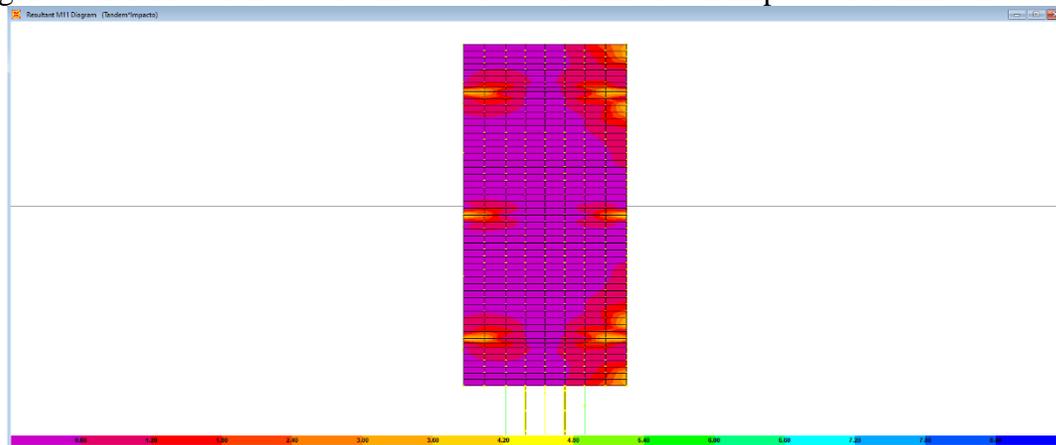


Figura 40 Distribución de esfuerzos debidos al tándem con impacto- Máxima envolvente

La concentración de los esfuerzos para todos los casos de carga, se generan justo donde comienza ser efectiva la unión viga – losa, es decir, después del metro de losa de continuidad. Lo anterior debido a que el apoyo de la losa de continuidad sobre las vigas, se

realiza por medio de un porón, que independiza los elementos. Sin embargo, la tendencia de los esfuerzos representa una disipación adecuada en el área de la losa de continuidad.

12.4 Consideraciones en el uso de Losas de Continuidad y Juntas De Expansión

Como se expuso anteriormente las losas de continuidad se proponen como reemplazo de las juntas de dilatación intermedias en las estructuras de los puentes de varias luces simplemente apoyadas. Finalmente resulta importante conocer las ventajas y desventajas de ambas alternativas frente a aspectos de comportamiento estructural y durabilidad.

Con respecto a la superficie de rodadura por donde transitaran los vehículos, la losa de continuidad ofrece una superficie ininterrumpida, donde la sensación al transitar sobre estas será prácticamente desapercibida, ofreciendo mayor confort para el conductor. Contrariamente las juntas de expansión presentan un cambio de superficie (Pavimento – Junta) que en el corto plazo será cómodo para transitar, aunque no será desapercibido totalmente para el tránsito, sin embargo, a mediano plazo y debido a su deterioro y en muchos casos a falta de un mantenimiento constante, el cambio de superficie tendera a ser brusco afectando la transitabilidad de la vía.

Evaluando económicamente ambas alternativas, la losa de continuidad será más económica en el corto y largo plazo, debido a que los materiales con los cuales se construye son de uso común en la construcción del puente (Concreto y acero), son de gran durabilidad y de poco mantenimiento, en cambio, las juntas de expansión son generalmente costosas ya que son elementos específicos para suplir deformaciones y requieren mantenimientos cíclicos para asegurar su durabilidad y funcionalidad en el tiempo.

En cuanto al comportamiento estructural, las juntas de expansión permiten desplazamientos relativos en apoyos intermedios de la estructura, generados por acciones sísmicas, reológicas y térmicas. Por el contrario, las losas de continuidad no permites desplazamientos relativos en los apoyos, por esto se los desplazamientos de acumulan hasta el final del puente (En los estribos) donde sí se tendrá una junta de expansión específica para suplir estas deformaciones.

13 Conclusiones

- La carga debida al peso propio de la estructura (vigas y losa) no se considera en el análisis de la losa de continuidad, dado que en el proceso constructivo la losa de continuidad es la última en ser vaciada, por lo cual, para este momento la sección compuesta ya se ha deformado y no transmitirá cargas a la losa de continuidad.
- El momento máximo negativo en la losa de continuidad se genera cuando la carga viva se encuentra en la mitad de la longitud de la viga.
- Los efectos de retratación y el cambio de temperatura se manifiestan en la losa de continuidad como una carga axial.
- Las sollicitaciones en la losa de continuidad son una consecuencia de la deflexión a lo largo de la luz en la sección compuesta, debido a esto se genera una rotación en el extremo de las vigas. Esta rotación esta impuesta en el extremo de la losa de continuidad causando una flexión negativa, ya que el elemento intenta contralar los giros en los extremos de las vigas, generados solo por las cargas aplicadas luego del fraguado de la losa de continuidad.
- La concentración de los esfuerzos para todos los casos de carga, se generan justo donde comienza ser efectiva la unión viga – losa, es decir, después del metro de losa de continuidad. Lo anterior debido a que el apoyo de la losa de continuidad sobre las vigas, se realiza por medio de un porón, que independiza los elementos. Sin embargo, la tendencia de los esfuerzos representa una disipación adecuada en el área de la losa de continuidad.

14 Bibliografía

- A.V, O. (2016). *Puentes definiciones y conceptos generales*.
- AASHTO-American association of state highway and transportation officials. (2014). *Standard Specifications for Highway Bridges*.
- Edmond Ho, J. (2011). "Link slab deck joint". *Anual conference of the transportation association of canada, Edmonttn Canada*.
- Ministerio de transporte. (2014). *CCP-14 - Norma colombiana de diseño de puentes* .
- Muñoz, F. (2012). *Estudio sobre la Redundancia Estructural de Puentes Integrales de Hormigon*. Barcelona, España.
- Nilson, A. H. (s.f.). *Diseño de estructuras de concreto*. McGrawHil.
- Roman, A. (2018). *PUENTES SEMI_INTEGRALES APLICACION A PUENTES EXISTENTES*. Puebla.
- Villalobos Vega Esteban, S. (2017). *Eliminando las juntas de expansion: Puentes integrales y semi integrales. Programa de ingenieria Estructural*.