



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“EFECTO DE LA FUERZA DE FRENADO EN LOSAS DE ENLACE EN PUENTES PRESFORZADOS”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

11341088 ÓSCAR DAVID MARADIAGA ALVARENGA

ASESOR METODOLÓGICO: ING. JUAN CARLOS REYES ZÚNIGA

ASESOR TEMÁTICO: DR. MARCO TULIO CANALES

CAMPUS TEGUCIGALPA; JULIO, 2020

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente informe se analizó el desempeño de losas de enlace para determinar si tales elementos son una alternativa óptima a sistemas constructivos convencionales tales como las juntas de expansión. Se utilizaron los criterios establecidos en el estudio "Performance Study of Link Slab Continuity in Prestressed Concrete Bridges" como punto de referencia para la parte metodológica y comparar los datos obtenidos con los del estudio mencionado. La investigación tiene como objetivo determinar cómo se desempeñan puentes con losas de enlace al ser sometidos a la fuerza de frenado ejercida por cargas móviles. La metodología llevada a cabo para analizar el desarrollo de losas de enlace fue similar a la del estudio antecedente, se construyeron modelos en el programa estructural STAAD.Pro mediante la construcción de archivos de texto provenientes de una hoja de cálculo en Excel. Una vez realizados los modelos se procedió a extraer los datos de todos los modelos correspondientes a los resultados de los apoyos y las vigas. Estos datos fueron transferidos a una hoja de Excel con el propósito de crear gráficos en los que se puedan comparar diversos parámetros para determinar la incidencia entre ellos. Luego de realizar el análisis se descubrió que la incidencia de la fuerza de frenado es inversamente proporcional a la rigidez de los apoyos, por lo tanto, se concluyó que la fuerza de frenado no es un parámetro crítico en las losas de enlace. Esto es congruente con la conclusión del estudio antecedente donde se estableció que la carga viva y el gradiente de temperatura son las cargas más críticas presentes en el sistema. Esto no significa que la carga de frenado pueda ser omitida al momento de realizar un diseño. Por lo tanto, las losas de enlace se desempeñan de manera óptima al ser sometidas a cargas de frenado.

Palabras Clave: Losa, Enlace, Continuidad, Parcial, Frenado

ABSTRACT

In this investigation the performance of link slabs was analyzed to determine if such elements are an optimal alternative to more conventional constructive systems such as expansion joints. Criteria established in the study "Performance Study of Link Slab Continuity in Prestressed Concrete Bridges" was used as a starting point for the methodological and comparing the obtained data with the data of the mentioned study. This investigation's objective is to determine the performance of link slab bridges subject to braking force exercised by moving loads. The methodology conducted to analyze the links slab's performance was like the used in the previous study, line models were constructed in the structural program STAAD.Pro through the construction of text files utilizing Excel. Once the models were constructed the data extraction process started, corresponding to the reaction and beam results. These data were transferred to an Excel data sheet to create graphics in which various parameters can be compared to determine the incidence between them. After the analysis was done it was discovered that the incidence of the braking force was inversely proportional to the supports' stiffness, therefore, it was concluded that the braking force is not a critical parameter in link slabs. This is congruent with the conclusion established in the previous study where it was determined that the live load and the temperature gradient are the most critical loads present. This doesn't mean the braking force must be omitted during design. Therefore, links slabs perform optimally when subjected to braking force.

Key words: Link, Slab, Continuity, Partial, Braking

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema	2
2.1	Precedentes del problema	2
2.2	Definición del problema.....	2
2.3	Justificación.....	2
2.4	Preguntas de investigación.....	3
2.5	Objetivos	3
2.5.1	Objetivo general	3
2.5.2	Objetivos específicos.....	3
III.	Marco Teórico.....	4
3.1	Continuidad en la superestructura.....	4
3.1.1	Discontinuidad.....	4
3.1.2	Continuidad Total.....	5
3.1.3	Continuidad Parcial.....	6
3.1.4	Soluciones analíticas previas a la continuidad parcial.....	7
3.1.5	Ventajas y desventajas de las losas de enlace.....	12
3.2	Cargas externas consideradas en el estudio previo	13
3.2.1	Gradiente de temperatura.....	13
3.2.2	Carga Viva	14
3.2.3	Fuerza de frenado	15
3.3	Apoyos de cojinetes de neopreno	16
3.4	Sección transversal de las vigas	18
3.5	Momento Positivo	18
3.6	Modelos de línea	19

IV.	Metodología.....	20
4.1	Enfoque	20
4.2	Variables de investigación.....	20
4.2.1	Variables independientes	20
4.2.2	Variables dependientes.....	21
4.2.3	Variables controladas.....	21
4.3	Técnicas e instrumentos aplicados	21
4.4	Población y Muestra.....	22
4.5	Metodología de estudio.....	22
4.5.1	Trabajo en Excel	22
4.5.1	Modelos de línea	23
4.5.2	Resultados del análisis.....	23
4.6	Metodología de validación	24
4.7	Cronograma de actividades.....	24
V.	Resultados y Análisis.....	26
5.1	Trabajo en Excel	26
5.1.1	Proceso de modelación en STAAD.Pro	29
5.2	Modelo de Rigidez Equivalente	32
5.3	Importancia del KEQ.....	34
5.4	Resultados de modelos de Línea.....	35
5.4.1	Resultados de 2span	35
5.4.2	Análisis de temperatura vs tensión.....	40
5.4.3	Resultados de 3span	41
5.5	Análisis de resultados.....	43
VI.	Conclusiones	46

VII.	Recomendaciones.....	46
VIII.	Aplicabilidad/Implementación	47
IX.	Evolución del trabajo actual/Trabajo futuro	47
	Bibliografía.....	48
	Anexos.....	52

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Representación de discontinuidad en un puente	5
Ilustración 2	Continuidad total en un puente	6
Ilustración 3	Esquema de continuidad parcial en un puente.....	7
Ilustración 4	Líneas de influencia del momento de continuidad de un puente de dos tramos	9
Ilustración 5	Líneas de influencia del momento positivo de un puente de dos tramos.....	10
Ilustración 6	Configuración de apoyos RHHR.....	11
Ilustración 7	Configuración de apoyos HRRH.....	11
Ilustración 8	Esquema de gradiente de temperatura.....	14
Ilustración 9	Carga viva HI 93.....	15
Ilustración 10	Representación de un apoyo de neopreno en un modelo de STAAD Pro.....	17
Ilustración 11	Condición de apoyo fijo.....	17
Ilustración 12	Condición de apoyo flotante.....	18
Ilustración 13	Diagrama de Gantt de las actividades del proyecto	25
Ilustración 14	Tablas de datos para cada caso.	26
Ilustración 15	Parámetros seleccionados.....	26
Ilustración 16	Datos de entrada para modelo de línea de dos tramos.....	27
Ilustración 17	Contenido de Excel transferido al Bloc de Notas	27
Ilustración 18	Modificación de los archivos de texto en Notepad++	28

Ilustración 19 Formato final de archivo de texto modificado en Notepad++	28
Ilustración 20 Modelo de elementos finitos de un segmento de losa de enlace con dos tramos	29
Ilustración 21 Modificación de extensiones de archivos de texto.....	29
Ilustración 22 Asignación de propiedades faltantes a elementos.....	30
Ilustración 23 Selección de cargas de frenado durante el análisis.....	30
Ilustración 24 Selección de los datos de reacciones de soportes	31
Ilustración 25 Transferencia de datos de STAAD a Excel	31
Ilustración 26 Transferencia de línea de datos	32
Ilustración 27 Modelo de rigidez equivalente.....	32
Ilustración 28 Relación entre el K2L y el KEQ.....	35
Ilustración 29 Fuerza de frenado 1.....	36
Ilustración 30 Fuerza de frenado 2.....	36
Ilustración 31 Fuerza de frenado 3.....	36
Ilustración 32 Rigidez del cojinete vs fuerza de tensión en la losa de enlace	37
Ilustración 33 Resultados obtenidos en el estudio antecedente de K2L vs Fuerza en la losa de enlace.....	38
Ilustración 34 Rigidez en los cojinetes de neopreno vs Tensión en la losa de enlace – Floating	39
Ilustración 35 Rigidez en los cojinetes de neopreno vs Tensión en la losa de enlace – Fixed	39
Ilustración 36 Excentricidad vs tensión en la losa de enlace	40
Ilustración 37 Temperatura vs tensión en la losa de enlace	40
Ilustración 38 Braking force 4.....	41
Ilustración 39 Braking force 3.....	41
Ilustración 40 Braking force 6.....	42
Ilustración 41 Braking force 7.....	42

Ilustración 42 Rigidez del cojinete vs fuerza de tensión en la losa de enlace	43
Ilustración 43 Modelación de elementos como resortes equivalentes	44
Ilustración 44 Representación de los valores de fuerza de frenado, fuerza de tensión en la losa y rigidez en los apoyos	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de juntas de expansión	4
Tabla 2 Descripción de actividades realizadas.....	24
Tabla 3 Descripción de actividades realizadas.....	25
Tabla 5 Resultados de modelos de dos tramos	43
Tabla 6 Resultados de modelos de tres tramos	44

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Fuerza de frenado	15
Ecuación 2 Fuerza en el centroide de la losa de enlace	33
Ecuación 3 Fuerza en el centroide de la sección compuesta	33
Ecuación 4 Fuerza en el cojinete de neopreno	33
Ecuación 5 Momento en la losa de enlace.....	33
Ecuación 6 Sumatoria de momentos en la losa de enlace.....	33
Ecuación 7 Sumatoria de fuerzas horizontales	33
Ecuación 8 Desplazamiento unitario en la zona evaluada	33
Ecuación 9 Rotación en los extremos de las vigas en términos de las rigideces.....	34
Ecuación 10 Rigidez equivalente del sistema.....	34
Ecuación 11 Combinación en serie de las variables K1 y Kg.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 - Braking Force 1 Rigidez del Cojinete vrs Fuerza de Tensión	52
--	----

Anexo 2 - Braking Force 2 Rigidez del Cojinete vrs. Fuerza de Tensión	52
Anexo 3 Fuerza de frenado 1 - 3span	53
Anexo 4 Fuerza de frenado 2 - 3span	53
Anexo 5 Fuerza de frenado 5 - 3span	53
Anexo 6 Propiedades de las secciones transversales de las vigas	54
Anexo 7 Propiedades de las secciones transversal de las vigas.....	54
Anexo 8 Resultados breaking force 3 2span	55
Anexo 9 Resultados breaking force 3 2span	56
Anexo 10 Resultados breaking force 3 2span.....	57
Anexo 11 Resultados breaking force 3 2span.....	58
Anexo 12 Resultados breaking force 3 2span.....	59
Anexo 13 Resultados breaking force 4 3span.....	60
Anexo 14 Resultados breaking force 4 3span.....	61
Anexo 15 Resultados breaking force 4 3span.....	62
Anexo 16 Resultados breaking force 4 3span.....	63
Anexo 17 Resultados breaking force 4 3span.....	64
Anexo 18 Acta de asesoramiento técnico 1.....	64
Anexo 19 Acta de asesoramiento 2.....	65
Anexo 20 Acta de asesoramiento 3.....	66
Anexo 21 Acta de asesoramiento 4.....	67
Anexo 22 Acta de asesoramiento 5.....	68
Anexo 23 Acta de asesoramiento 6.....	69
Anexo 24 Acta de asesoramiento 7.....	70

LISTA DE SIGLAS

A	Área de la sección compuesta.
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
E	Módulo de elasticidad del concreto.
F1	Fuerza en el apoyo.
F2	Fuerza en la sección compuesta.
F3	Fuerza en el centroide de la losa de enlace.
h	Distancia vertical desde la parte inferior de la viga hasta el centroide de la losa.
ht	Distancia entre el centroide de la losa de enlace hasta el centroide de la sección compuesta.
I	Inercia de la sección compuesta.
K _{cita}	Rigidez rotacional de la sección compuesta
K _{eg}	Resorte equivalente resultante de la combinación en serie de los resortes K1 y Kg.
K _{eq}	Rigidez equivalente del sistema.
K _g	Rigidez axial de la sección compuesta.
K1	Rigidez horizontal del apoyo en el extremo opuesto.
K2L	Rigidez en los apoyos debajo de la losa de enlace.
K _θ	Rigidez rotacional de la sección compuesta.
LFRD	Load Factor Resistance Design.

(+)MTG	Momento positivo al centro del claro
(-)MTG	Momento negativo en la junta
STAAD.Pro	Structural Analysis and Designing Program.
T1BF	Tensión en la losa de enlace 1 ocasionada por la fuerza de frenado.
T2BF	Tensión en la losa de enlace 2 ocasionada por la fuerza de frenado.
2span	Referente a un puente con dos tramos.
3span	Referente a un puente de tres tramos.
θ	Rotación en el extremo de la viga.
δ	Elongación de la viga debido a fuerzas axiales.

GLOSARIO

Apoyo Articulado: Los apoyos articulados pueden resistir ambas fuerzas verticales y horizontales, pero no pueden resistir el momento. Esto significa que el apoyo articulado está restringido contra traslaciones. La rotación en un apoyo articulado es permitida únicamente en una dirección y es resistida en la otra dirección (Anupoju, 2017).

Apoyo Fijo: Los apoyos fijos son capaces de resistir fuerzas horizontales y verticales al igual que momentos (Luebkehan & Peting, 1995).

Carga Viva: : Una carga producida por el uso y ocupación del edificio u otra estructura que no incluyen la construcción o las cargas ambientales, tales como carga de viento, carga de nieve, carga de lluvia, carga sísmica, flood carga, o carga muerta (ASCE, 2010).

Cojinetes de neopreno: Elementos elastoméricos hechos de materiales fuertes y flexibles como el neopreno que se colocan entre las superestructuras como vigas de puentes. Su función principal es distribuir cargas de la superestructura hacia la subestructura y permitir que la

superestructura se someta a movimientos en condiciones climatológicas irregulares (Krzysztofik, 2019).

Fuerza de tensión: Es un par de acción-reacción de fuerzas actuando en cada extremo de un elemento (Vedantu, Tension Force, 2020).

Fuerza de compresión: Fuerza exterior que causa una reducción en el volumen de un objeto (Vedantu, 2020).

Gradiente de temperatura: Cambio en la temperatura en función de distancia (especialmente altura) (Definitions, 2020).

Junta de expansión: Las juntas de expansión son aquellas que se forman en obra dejando una luz en toda su sección de la estructura entre elementos contiguos; para ello se emplean rellenos que permiten la expansión de esos elementos (Construmática, 2020).

Puente: es una estructura que se construye sobre vías ferroviarias, ríos o carreteras para que personas o vehículos puedan cruzar de un lado a otro (Collins, 2020).

Sección compuesta: secciones que incluyen más de una forma o compuestos de más de un material (Liang, 2020).

Tramos Flotantes (Floating Spans): Segmentos de un puente en el cual las vigas no están ancladas comparte la resistencia de fuerzas longitudinales (Canales, 2019).

Tramo simplemente apoyado: Tramo soportada por apoyos simples en los extremos y que permiten el libre movimiento de sus extremos. (Construcción, 2020)

Rigidez: Capacidad de resistencia de un cuerpo a doblarse o torcerse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie (Lexico, 2020).

I. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de las juntas de expansión en los puentes es un problema costoso debido a la acumulación de escombros que pueden restringir las expansiones de la losa, causando fuerzas indeseables en la losa y daños a la estructura. Otro factor clave en el deterioro de la estructura es la infiltración de agua la cual causa deterioro en los cojinetes de neopreno en los cuales se apoyan las vigas y demás elementos de apoyo (Caner & Paul, 1998). La infiltración de agua contaminada con cloruro a través de las juntas de expansión procede a corrosión prematura en los extremos de las vigas y deterioro de estructuras de apoyo (Au, Lam, Au, & Tharmabala, 2013). Por lo tanto, la sustitución de juntas de expansión en puentes de múltiples tramos reduciría los costos de construcción y mantenimiento (Caner & Paul, 1998).

La mayoría de los problemas asociados a las juntas de expansión pueden ser solucionados con la implementación de sistemas de losas continuas mientras se le provee a las vigas del sistema un grado de continuidad (Sevgili & Caner, 2009). Las juntas de expansión no tienen algún grado de continuidad ya que hay un espaciado entre la losa y vigas del siguiente tramo. Es posible darle un grado total de continuidad a ambos, losa y vigas del puente a lo largo de todos los tramos que conforman el puente.

En la continuidad total, los extremos de las vigas son conectados de manera en la que se transfieren completamente las fuerzas sobre los soportes entre vigas en tramos consecutivos (Claudiu, 2005). Otro tipo de continuidad es la parcialmente continua, la cual se refiere a continuidad únicamente en la losa del puente. El elemento que provee la continuidad de un sistema de continuidad parcial es conocido como losa de enlace. Las losas de enlace se definen como porciones continuas de losa que unen dos vigas simplemente apoyadas, el enlace creado por estas losas tienen una rigidez menor a la de las vigas que cubren los tramos, pero poseen algunos de los beneficios asociados con la continuidad (El-Safty & M. Okeil, 2008).

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

La presente propuesta tiene como antecedente la investigación "PERFORMANCE STUDY OF LINK SLAB CONTINUITY IN PRESTRESSED CONCRETE BRIDGES" en la cual se realizó un estudio para comprobar el desempeño de losas de enlace en puentes con vigas presforzadas. Para los modelos de STAAD.Pro realizados se consideraron condiciones de carga tales como carga viva, temperatura uniforme y gradiente de temperatura. También se realizó un monitoreo de campo de un puente que cuenta con losas de enlace, los parámetros medidos en campo fueron desplazamiento del extremo de las vigas, agrietamiento de las losas de enlace, fuerza de tensión en la losa de enlace y el ángulo relativo de las rotaciones de los extremos de las vigas. En el apartado de recomendaciones e investigación futura se sugiere que la fuerza de frenado se considere para saber cómo la continuidad parcial afecta el diseño de los cojinetes de neopreno.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para realizar el análisis de una losa de enlace se deben de considerar todos los factores que produzcan esfuerzos en dicho elemento. El factor analizado en la presente investigación es el efecto que produce la fuerza de frenado ocasionada por los vehículos con la finalidad de determinar el desempeño de la losa de enlace y las demás partes conformantes del sistema estructural frente a este esfuerzo. Para realizar el cálculo de esfuerzos en la losa de enlace se utilizará el programa estructural STAAD.Pro para calcular los esfuerzos y deformaciones de la losa de enlace al aplicar la carga de frenado. Se hará múltiples simulaciones en STAAD.Pro para representar puentes de varios tramos.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La ingeniería civil no es un área que desconoce la palabra "innovación" ya que a lo largo de los años los ingenieros a civiles se les ha asignado la ardua tarea de innovar constantemente con la finalidad de diseñar elementos estructurales y técnicas constructivas que sean más eficientes que sus precedentes. En la presente investigación, se estudió el elemento conocido como losas de enlace, el cual pretende reemplazar las juntas de construcción que se emplean en los puentes. Esta tarea representa un reto ya que el elemento precedente ha sido utilizado

en diversas estructuras y hasta el día de hoy se continúa empleando. Esta continuidad en su uso no garantiza que sea un elemento constructivo óptimo ya que varios estudios han demostrado problemas a lo largo de la vida útil de estos elementos que resultan en costos adicionales y abarca tiempo para realizar el mantenimiento debido.

Las losas de enlace pretenden solucionar el problema de mantenimiento de las juntas de expansión, no obstante, para poder determinar si las losas de enlace son una alternativa óptima a las juntas de construcción es necesario determinar cómo se desarrollan en condiciones de trabajo y cuáles son las fuerzas presentes tanto internas como externas. La fuerza de frenado es una fuerza externa cuyo análisis es crucial para determinar el desempeño de las losas de enlace y concluir si son una alternativa viable.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Qué fuerzas se producen en la losa de enlace producto de cargas de frenado?

¿Cómo se comporta la losa de enlace al aplicarle carga de frenado y cómo se diferencia entre las cargas aplicadas en el estudio antecedente?

¿Qué apoyos deben de estar presentes en el puente que le brinden un mayor desempeño a la losa de enlace?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar cómo se desempeñan puentes con losas de enlace al ser sometidos a la fuerza de frenado ejercida por vehículos.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular la fuerza de tensión ejercida en la losa de enlace debido a la carga de frenado.
- Establecer cómo se vio afectada la losa de enlace con la carga de frenado agregada en contraste a cómo se comporta ante efectos de carga viva y carga de gradiente de temperatura.
- Establecer qué condiciones de apoyo pueden ser más benefactoras para la losa de enlace.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 CONTINUIDAD EN LA SUPERESTRUCTURA

3.1.1 DISCONTINUIDAD

Las juntas de expansión funcionan como “placas de conducción” para que las cargas de tráfico impuestas puedan ser transportadas y también puedan acomodar las expansiones térmicas, el acortamiento, la fluencia previa a la tensión y la rotación de la losa. La implementación de juntas en los puentes es uno de los procesos constructivos que se ha tratado de reemplazar por opciones que ofrezcan mayor duración y menor mantenimiento (El-Safty & M. Okeil, 2008). La siguiente tabla describe cuales son las ventajas y desventajas de los tipos de juntas.

Tabla 1 Tipos de juntas de expansión

Tipos de juntas	Ventajas	Desventajas
Junta de compresión	Bajo costo Mantenimiento mínimo requerido Vida útil razonable Fácil de reemplazar	Susceptible a daño por quitanieves, escombros y tráfico Pérdida de adherencia en los lados de la junta
Junta asfáltica	Fácil de instalar y reparar Transición fluida Residuos indeseados no se acumulan en la parte superior Evita daño por quita nieves	No es efectivo para juntas verticales o torcidas Asfalto modificado con polímeros puede ablandarse o deformarse en altas temperaturas y agrietarse en bajas temperaturas
Sellador vertido	Alta durabilidad Auto-nivelable Desempeño elástico fuerte para un amplio rango de temperaturas Resistente a rayos ultravioleta y degradación por ozono Curado rápido que limita la interrupción del tráfico durante la instalación del sellado	Pérdida de unión en la interfase del sellante-sustrato Acumulación de escombros encima del sellador puede resultar en agrietamiento y separación del material
Junta a tope	Las placas utilizadas pueden proteger el concreto del deterioro debido a la exposición continua al tráfico	No evita que ingrese el agua y los escombros por las aberturas de la unión Solo se puede utilizar en ciertas áreas geográficas donde materiales anticongelantes no se utilizan La armadura de la unión se puede despegar del concreto

Fuente: (Malla et al. 2006, Purvis 2003, Washington State DOT 2005, Chen and Duan 2000)

La ilustración 1 muestra la discontinuidad en un puente.

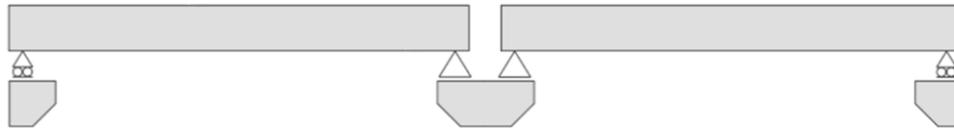


Ilustración 1 Representación de discontinuidad en un puente

Fuente: (Canales, 2019)

3.1.2 CONTINUIDAD TOTAL

En los puentes integrales tanto la losa como las vigas son totalmente continuas en tramos simples o múltiples sin una sola junta. El autor Burke establece que la construcción integral de puentes posee numerosas ventajas con pocas limitaciones. Entre las ventajas que posee dicho sistema constructivo está la simplicidad en el diseño, resistencia a la presión, construcción rápida, facilita la construcción de terraplenes, puede evitar alterar el flujo del cauce de un río durante su construcción, excavaciones de menor tamaño, arreglo horizontal de estribos continuos, posee formas de elementos sencillas, estribos sencillos, elimina las barras de anclaje, mayores distancias entre tramos, resistente ante sismos, ensanchamiento y reemplazo simplificados y mejor distribución de la carga viva.

Las limitaciones que el autor menciona son mayores esfuerzos en los estribos, el tener tramos continuos los puentes integrales son propensos a levantarse cuando se sumergen y se deben realizar procedimientos adicionales para resistir la flotabilidad, además, la colocación de tramos con extremos cortos en puentes integrales debe de eliminar el levantamiento de las vigas durante la fundición de la losa.

La construcción de puentes integrales sobre cuerpos de agua es posible, pero se debe de considerar la posibilidad de que el nivel del agua pueda llegar a inundar la losa de la estructura, debido a eso se debe considerar agregar elementos que resistan fuerzas de levantamiento lo cual aumenta el costo de la estructura. Debido a este factor, la construcción de puentes integrales sobre vías de comunicación tales como carretas o vías ferroviarias tiene un menor

costo. En la ilustración 2 se puede apreciar un esquema de continuidad total en un puente (Canales, 2019).

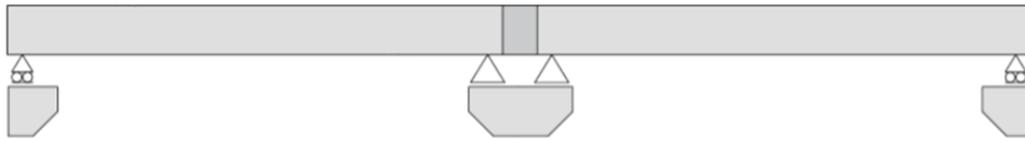


Ilustración 2 Continuidad total en un puente

Fuente: (Canales, 2019)

3.1.3 CONTINUIDAD PARCIAL

La continuidad de un tramo se considera parcial cuando únicamente la losa es continua en el siguiente tramo y las vigas son discontinuas tal y como se muestra en la ilustración 3. Al elemento que permite la conexión entre las losas en los extremos opuestos se le conoce como losa de enlace (Okeil & ElSafty, 2005). En una losa con un diafragma de continuidad ampliado, las fuerzas de tensión que resultan de un momento positivo solo se transmiten a través del refuerzo para momento positivo que conecta los patines inferiores de la viga con el diafragma de continuidad.

Considerando el hecho de que el concreto no sería lo suficiente para soportar estos esfuerzos de tensión debajo del momento positivo que puedan surgir solo por la continuidad y el hecho que las condiciones de los apoyos en los extremos de las vigas pueden encargarse de los esfuerzos compresivos que se pueden desarrollar en estas juntas, se convierte razonable en revisar una opción detallada que examine proveer una integración solo de la losa (Canales, 2019). Pero introducir continuidad en una estructura larga como un puente puede tener percances potenciales (como movimientos térmicos) (Okeil, Hossain, & Cai, 2013).

La efectividad de la losa de enlace en proveer continuidad a mostrado ser altamente dependiente en las condiciones de los extremos de las vigas, específicamente en la posibilidad de desplazamientos horizontales en la ubicación del apoyo cerca de la junta (El-Safty & M. Okeil, 2008).

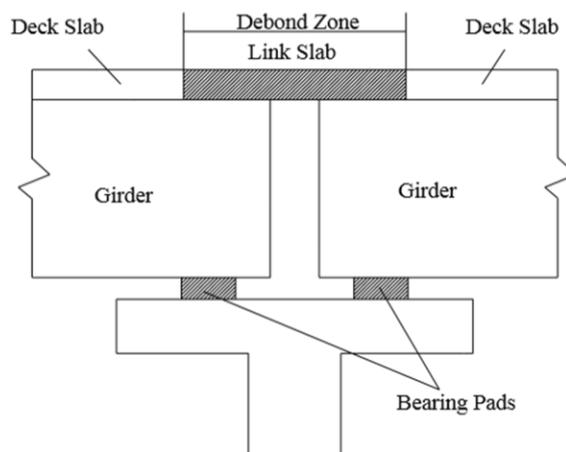


Ilustración 3 Esquema de continuidad parcial en un puente

Fuente: (Mothe, 2006)

3.1.4 SOLUCIONES ANALÍTICAS PREVIAS A LA CONTINUIDAD PARCIAL

A pesar de que la cantidad de investigaciones realizadas para las losas de enlace es muy amplia, la falta de un diseño de metodología simplificada ha afectado sus amplias aplicaciones. A continuación, se especificarán criterios de diseño para las losas de enlace que han sido desarrollados.

3.1.4.1 *Enfoque de flexión*

Una de las primeras técnicas presentadas deriva la posibilidad de diseño de losa considerando un enfoque de flexión comprensible (Caner & Paul, 1998). Este método separa el proceso de diseño de la losa de enlace en dos tramos en cuatro pasos.

El primer paso considera el diseño de cada tramo como simplemente apoyado. Esto se toma en consideración debido a la racionalización que la rigidez de la losa de enlace es lo suficientemente pequeña para que se pueda considerar nula en el punto de unión entre ambos tramos. Al ignorar la rigidez a la flexión de la losa de enlace, se considera que ambos tramos pueden rotar libremente en la junta (Caner et al. 2002).

El segundo paso considera determinar una longitud separada de la losa de enlace como un valor de 5% como una estimación generosa de la longitud óptima generada utilizada en el proceso de diseño (ElSafty 1994) (Gastal & Zia 1989). A través de este análisis se concluyó que

la longitud óptima oscila entre 2%-6% de la longitud total del tramo dependiendo en las condiciones de apoyos y cargas.

El tercer paso involucra la determinación de la rotación en el extremo de la viga asumiendo que está simplemente apoyada. Esta consideración puede ser llamada como algo conservativa, especialmente cuando se toma en cuenta que el objetivo principal de la losa de enlace es proveer continuidad. Ignorar la continuidad parcial y calcular las rotaciones como si los extremos pivoteen libremente, sin duda alguna dejará que ocurran rotaciones mayores que se esperan (Canales, 2019).

El cuarto y último paso involucra la determinación de un momento de continuidad utilizando las rotaciones estimadas. Este momento puede ser utilizado en determinar el refuerzo requerido por la losa de enlace (Canales, 2019).

3.1.4.2 Enfoque de flexión revisado

Un punto que es descartado en el enfoque anterior es la compatibilidad entre desplazamientos que pueden surgir entre la losa y la viga en la longitud. Este punto surge que la flexión de la losa será interferida por la de la viga en la parte del tramo en la que se separan. Estas concesiones se hacen para mantener una solución simple y segura. Estudios posteriores reevaluarían el enfoque de flexión para poder permitir una consideración más realista de los desplazamientos que ocurrirían debido a la compatibilidad entre la viga y la losa (Canales, 2019). Los resultados que se proveen debido al uso de esta revisión fueron evaluados por modelos a escala, consideraciones analíticas y observaciones de campo (Au et al. 2013).

3.1.4.3 Ecuación de tres momentos modificada

Aunque los procedimientos mencionados representan una manera simple y directa de estimar el momento de continuidad con el que la losa de enlace trabajará, puede ser observado como muy conservador y contradictorio el hecho que determinan los esfuerzos que surgen en la continuidad sin tomar en cuenta la existencia de la losa de enlace. La manera de justificar esta omisión del elemento es la idea que la rigidez a flexión de la losa es mucho menor que la de la viga y no podría evitar que la viga rote libremente. La rigidez de flexión no debería ser comparada directamente entre ambos miembros en términos de restricción rotacional en la junta dado el hecho que la losa de enlace no tiene su centroide a la misma altura de la viga.

Dada esta excentricidad, en realidad la restricción rotacional surge del producto de las distancias entre los centroides y la rigidez axial de la losa (Canales, 2019).

La fuerza de tensión que se desarrolla en la fuerza de enlace está directamente relacionada con las condiciones de soporte de la viga (Ghadir, Ramirez, Jahanshahi, Villamizar, & Abdelaleim, 2019). Para analizar los efectos que las configuraciones de los apoyos de las vigas puedan tener, se consideraron dos tramos de vigas continuas con losas de enlace proveyendo continuidad parcial. Las condiciones de tramos que se consideraron más relevantes fueron RHHR y HRRH, estas condiciones representan tramos estáticamente estables y pueden ser vistas como los límites superior e inferior de las posibilidades de desplazamiento del soporte lateral (Canales, 2019).

Utilizando una versión modificada de la clásica ecuación de tres momentos se desarrolló un análisis de líneas de influencia, al alterar los valores de rigidez que influyen el momento de continuidad para incluir la restricción rotacional producida por la rigidez axial de la losa de enlace y su excentricidad, fue posible obtener fórmulas para estimar el momento en la continuidad. Estas fórmulas permiten que un análisis de líneas de influencia pueda ser desarrollado para los momentos positivos en la mitad de los tramos y para los momentos negativos en la junta (Canales, 2019).

En las ilustraciones 4 y 5 se puede observar que por la yuxtaposición de las líneas de influencia de los diagramas de línea para las condiciones mencionadas (HRRH y RHHR), junto con los valores de una viga completamente continua, claramente es posible asociar el impacto de las condiciones de apoyos.

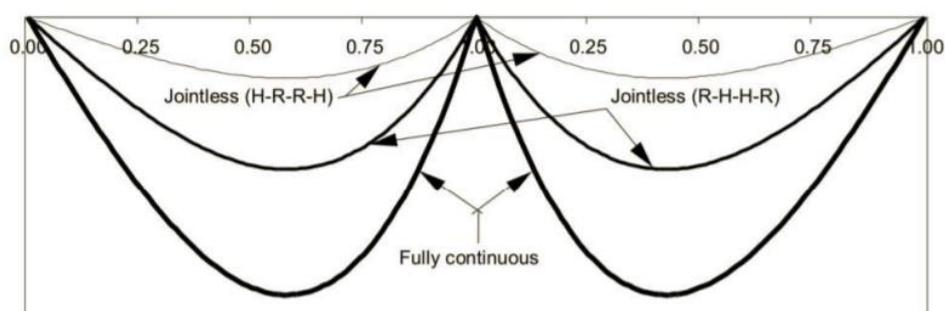


Ilustración 4 Líneas de influencia del momento de continuidad de un puente de dos tramos

Fuente: (Okeil & ElSafty, 2005)

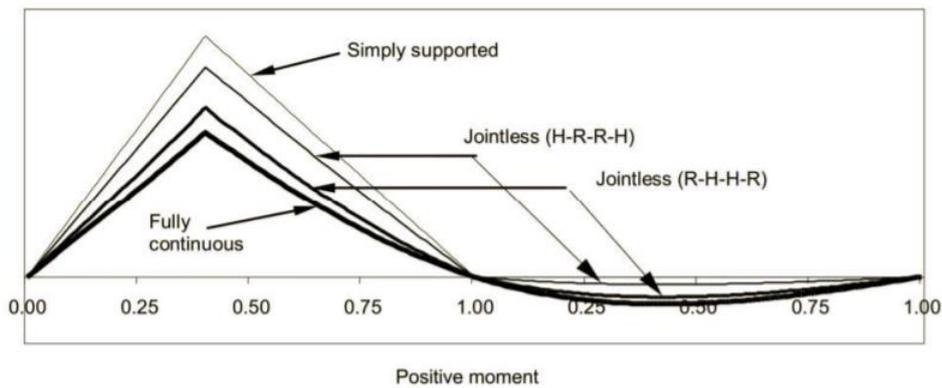


Ilustración 5 Líneas de influencia del momento positivo de un puente de dos tramos

Fuente: (Okeil & ElSafty, 2005)

Considerando el momento de continuidad producido en la junta, es posible obtener una fuerza de tensión que puede ser utilizada para diseñar el refuerzo de la losa de enlace.

3.1.4.4 Solución analítica de forma cerrada

Para cuantificar los efectos de la continuidad parcial, una versión modificada de la ecuación de tres momentos fue utilizada. Este método considera que la compatibilidad de la rotación del extremo de la viga para determinar el momento de continuidad en la junta. La losa de enlace es utilizada como la condición de compatibilidad en el caso de continuidad parcial. En este estudio, configuraciones de puentes de dos y tres tramos con ratios de longitudes de tramos variantes fueron usadas considerando condiciones de apoyos ideales y condiciones de apoyos de neopreno para estudiar cómo es afectada la continuidad parcial. El momento positivo a la mitad del tramo fue calculado utilizando la carga HL-93 (Canales, 2019). La ilustración 3 muestra los elementos intervinientes en la unión de losa de enlace.

Las dos condiciones extremas de apoyos ideales son:

- RHHR: Vigas parcialmente continuas con apoyos articulados en la junta
- HRRH: Vigas parcialmente continuas con apoyos de rodillo en la junta

La tercera posibilidad para apoyos idealizados que la junta tendrá un apoyo articulado y un apoyo de rodillo (RHRH - HRHR) representa un intermediario que tendrá su valor entre los resultados de las condiciones extremas.

La combinación RHHR es el caso donde los apoyos debajo de la junta no tienen posibilidad de una traslación horizontal, la tensión en la losa de enlace es considerable. Al no haber posibilidad de desplazamiento, cuando la viga reciba acciones que causen flexión las partes superiores de la viga rotan hacia adentro de la viga y hacia afuera de la losa de enlace produciendo una fuerte fuerza de tensión, ver ilustración 6 (Canales, 2019).

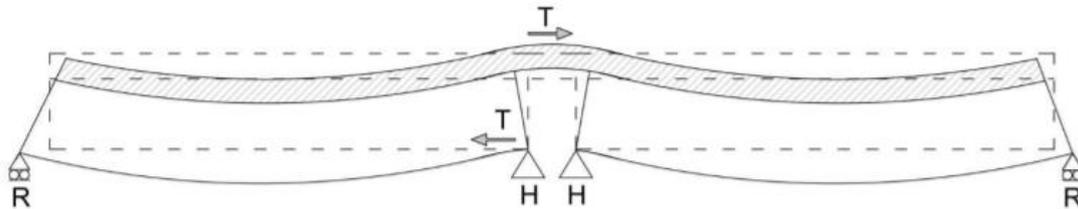


Ilustración 6 Configuración de apoyos RHHR

Esta interacción representa el valor tope para los esfuerzos en la losa de enlace dado que la fuerza de tensión que se origina de la rotación está directamente balanceada entre los apoyos articulados y la losa de enlace sin interacción axial de la viga. La combinación HRRH se tienen traslación horizontal en ambos extremos de las vigas debajo de la losa de enlace, la fuerza de tensión que se desarrolla en la losa de enlace requiere que la reacción horizontal sea transmitida del extremo opuesto y por medio de la viga, ver ilustración 7 (Canales, 2019).

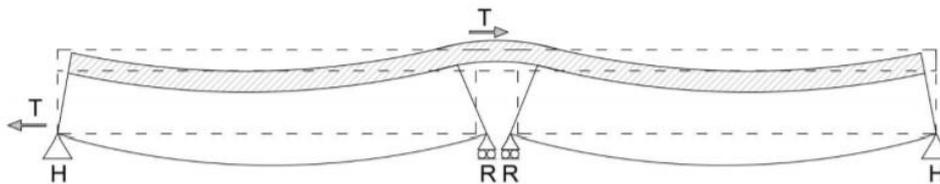


Ilustración 7 Configuración de apoyos HRRH

Esta configuración de apoyos representa los menores valores de tensión en la losa de enlace de una viga simplemente apoyada dado que la fuerza de tensión ahora también debe interactuar con la rigidez axial de la viga. Esto reduce la cantidad de esfuerzo que la losa de enlace debe soportar. Valores de tensión menores en la losa de enlace significan menor índice de continuidad, dado que la rigidez de la junta es menor debido a la posibilidad de movimientos en el apoyo con la única restricción longitudinal proveniente del apoyo lejano (Canales, 2019).

Cojinetes de neopreno

Ambos casos discutidos previamente representan casos extremos. Las técnicas constructivas que se utilizarán no tendrán cero rigidez longitudinal de los apoyos de rodillo o la rigidez longitudinal infinita de los apoyos articulados una vez implementados. En el presente estudio igualmente en el estudio antecedente, se realizaron consideraciones especiales para los cojinetes de neopreno. Los cojinetes tendrán una rigidez longitudinal finita generado ambos, un desplazamiento y una reacción en el apoyo (Canales, 2019).

3.1.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LOSAS DE ENLACE

. Las losas de enlace proveen numerosos beneficios como la reducción de los costos asociados con la construcción y el mantenimiento de juntas de expansión, eliminación del daño estructural ocasionado por mantenimiento inapropiado de juntas de expansión, daño por corrosión ocasionado a cojinetes de neopreno y el daño a otros elementos estructurales debido a fugas de agua a través de juntas de expansión y se reducen las vibraciones y ruidos ocasionados por los vehículos al momento de pasar sobre las juntas de expansión, por ende, mejorando la sensación de manejo (Billing 1983).

Gracias a la naturaleza continua de losa de enlace, la estética y de la losa total del puente es mejorada. Debido a la continuidad de los tramos, el momento de carga viva de las vigas en la mitad del tramo es reducido, por ende, incrementando la capacidad de las vigas de sostener mayor carga (Mothe, 2006).

Las desventajas asociadas a las losas de enlace son: la continuidad lograda por la eliminación de juntas de expansión inducen esfuerzos secundarios (esfuerzos térmicos, fluencia, acortamiento) que podrían causar daños. Los daños causados por infiltración de agua y acumulación de escombros son reducidos casi por completo al implementar losas de enlace ya que la única infiltración es a través de grietas que se formen, y es mucho menor que la que permite una junta de expansión. Con respecto al fallo de neopreno, se pueden reproducir problemas de contacto más adelante entre la viga y el apoyo, lo que implica una restricción diferente a la modelada. Esto puede producir daños locales a los extremos de la viga, o puede llevar a fallos más graves dependiendo de cómo se efectue el deterioro del neopreno. Altos esfuerzos ocasionados por cargas cíclicas conllevarán a agrietamiento estructural y fracturas (Martin P. Burke, 2004) si el puente es diseñado inapropiadamente.

Diseño y prácticas de construcción apropiadas deben de seguirse si las juntas de la losa se hacen continuas una vez removidas las juntas de expansión existentes, de lo contrario, debido al presforzado la junta continua puede ceder (Mothe, 2006). Esto implica que se deben de tomar en consideración los efectos de los elementos presforzados ya que a diferencia de las juntas de expansión, las losas de enlace ejercen restricciones que no estuvieron presentes en el sistema previo. De no tomar en cuenta este hecho, la losa de enlace puede ser dañada por los demás elementos. Sin importar todas las ventajas que ofrezcan las losas de enlace, la falta de metodologías con respecto a la simplificación de los diseños impide que se empleen de una manera a más amplia (HanYong et al. 2014).

3.2 **CARGAS EXTERNAS CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO PREVIO**

En el estudio antecedente se consideraron dos cargas las cuales fueron denominadas críticas para los casos analizados.

3.2.1 GRADIENTE DE TEMPERATURA

Sin importar que la superestructura de un puente sea continúa o simplemente apoyada sufrirá contracciones y elongaciones uniformes cuando sea sometida a una temperatura uniforme. Aunque este escenario sucede rara vez en un puente en el cual es más común que sus diferentes partes se calienten o enfríen diferentemente. Por lo tanto, la superestructura de un puente será sometida a un gradiente de temperatura. En el caso de puentes simplemente apoyados, el gradiente de temperatura induce esfuerzos primarios como resultado de la sección transversal manteniendo su geometría plana mientras se somete a diferentes temperaturas.

En las estructuras continuas se pueden desarrollar esfuerzos secundarios debido a las acciones del gradiente de temperatura, estos esfuerzos secundarios cuando son combinados con otros esfuerzos pueden tener efectos perjudiciales en la estructura. Por lo tanto, el gradiente de temperatura se debe de considerar al realizar el diseño de la superestructura de un puente, en especial en puentes con super estructuras continuas (Hossain, 2012). El gradiente de temperatura produce esfuerzos tensores en las partes superiores e inferiores de todos los sistemas. Esto es un problema significativo en puentes sin juntas porque agrega a los esfuerzos tensores causados por otras cargas e incrementa el potencial para agrietarse (Thippeswam, Franco, & GangaRao, 2002).

Se toman temperaturas máximas y mínimas las cuales son registradas en estaciones meteorológicas a lo largo de los años para poder predecir las temperaturas extremas que la losa del puente pueda experimentar a lo largo de su vida útil. (Childs, 2020)

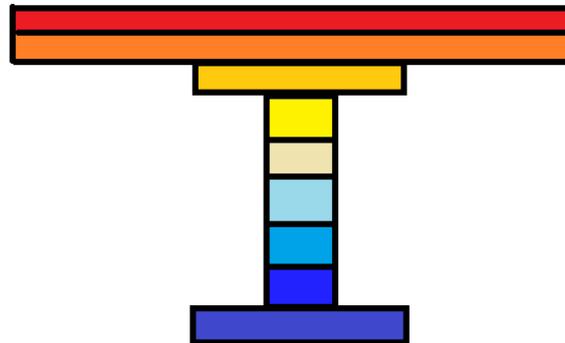


Ilustración 8 Esquema de gradiente de temperatura

Como se muestra en la ilustración 8 las temperaturas mayores se encuentran en la parte superior de la sección, esto se debe al calor transmitido por el sol a diferencia de la parte inferior que está fría ya que está en la sombra.

3.2.2 CARGA VIVA

La carga viva considerada en la investigación antecedente fue la del tren de diseño HL-93, tal y como se puede apreciar en la ilustración 9, obtenida de la sección 3.6.1.2 de la norma AASHTO LRFD Especificaciones para Diseño de Puentes y la carga de vía de diseño fueron posicionadas para causar máximo efecto.

La carga muerta fue considerada durante el proceso de diseño fue removida del resto del análisis de continuidad. La razón por la cual se consideró innecesaria es porque la mayoría de los efectos de la carga muerta (como el peso propio de las vigas) en la estructura ya estarían en lugar para el momento en que la losa de enlace fue construida. Por ende, las cargas muertas no afectan el comportamiento de la losa de enlace una vez que esté en etapa de servicio. La única excepción sería si se considera el efecto de fluencia el cual no se tomará en cuenta en esta investigación (Canales, 2019).

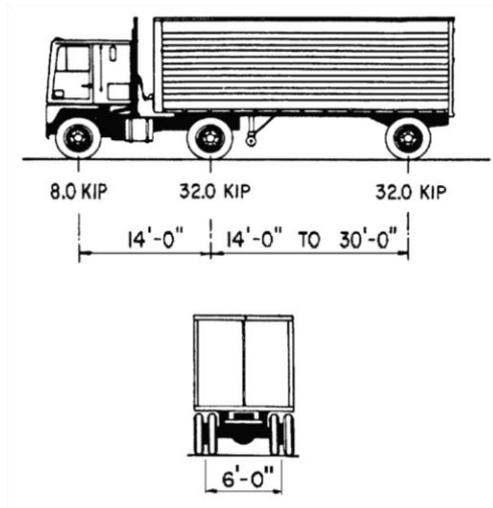


Ilustración 9 Carga viva HI 93

Fuente: (Canales, 2019)

3.2.3 FUERZA DE FRENADO

La fuerza de frenado es un factor ocasionado por los vehículos que pasan sobre la losa del puente, para el presente informe solo son de interés las fuerzas de frenado que pasan sobre la losa de enlace. La norma utilizada para calcular la fuerza de frenado fue obtenida de la sección 3.6.4-Breaking Force: BR de la norma AASHTO LRFD Especificaciones para Diseño de Puentes la cual estipula que la fuerza de frenado debe de ser la mayor entre:

- 25 por ciento del peso de los ejes del camión de diseño o tándem de diseño.
- 5 por ciento del camión de diseño más carga de carril o 5 por ciento del tándem de diseño más la carga del carril.

Para calcular la fuerza de frenado se debe de basar en principios de energía, y asumir uniforme la desaceleración, la fuerza de frenado determinada como una fracción del peso del vehículo es:

$$b = \frac{v^2}{2ga}$$

Ecuación 1 Fuerza de frenado

Fuente: (AASHTO, 2012)

Donde la variable a es la medida de desaceleración uniforme y b es la fracción del peso del vehículo. Cálculos realizados utilizan una distancia de frenado de 400 pies y una velocidad de 55 millas por hora producen una fuerza de frenado "b" de 0.25 para una fuerza horizontal que

actúa en un periodo de aproximadamente 10 segundos. Este factor b aplica para todos los carriles en una dirección porque todos los vehículos pudiesen haber reaccionado en este rango de tiempo.

Para puentes de tramos cortos y medianos, la fuerza de frenado especificada puede ser significativamente mayor de las que se requieren en las especificaciones estándar, las cuales datan de comienzos de 1940 sin algún cambio significativo para abordar la capacidad de frenado mejorada de los camiones modernos (AASHTO, 2012).

Se utilizó un porción de la carga viva para realizar el cálculo de la carga de frenado tal y como se especifica en la norma establecida por el manual AASHTO LRFD. Dicha carga fue posicionada al centro de los claros dentro de los modelos de STAAD.Pro, la razón de esto es porque el programa STAAD.Pro no puede realizar un análisis de cargas móviles para cargas que no sean gravitacionales, sin embargo, considerando que el brazo de momento que produce un carga de frenado es la misma respecto a los apoyos en cualquier posición del puente, se puede asumir que generalmente afectará de manera similar a la estructura sin importar su ubicación horizontal dentro de un tramo en particular.

3.3 APOYOS DE COJINETES DE NEOPRENO

Los apoyos de neopreno para cada caso requirieron de un procedimiento de diseño individual basado en las provisiones de la sección 14 del manual AASHTO LRFD. Fueron diseñados como apoyos elastoméricos reforzados con hacer. Las dos categorías principales de apoyos de neopreno que se utilizaron durante el proceso de diseño son, una con EEB diseñado para acomodar la traslación y rotación en el soporte y una con FEB en la cual los apoyos de neopreno tuvieron el ancho suficiente para restringir la traslación en una curva de un segmento.

El procedimiento de diseño seguido en le presente estudio al igual que en el estudio antecedente cumple con los requerimientos el método B de la sección 14.7.5 del manual AASHOT LRFD Bridge Design Specifications, lo cual resultón en apoyos de diferentes tamaños para acomodar las variaciones consideradas en cada caso. Una vez diseñados los apoyos de neopreno, su rigidez cortante fue calculada y modelada como un resorte horizontal en los extremos de las vigas, como se muestra en la ilustración 10. Después de considerar algunos

casos, se decidió que apoyos FEB que restringían la traslación tuvieron una rigidez cortante de 6 veces mayor a la de los apoyos EEB (Canales, 2019).

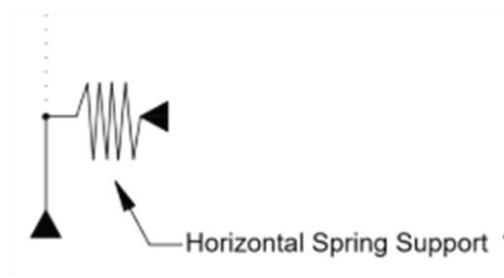


Ilustración 10 Representación de un apoyo de neopreno en un modelo de STAAD Pro.

Fuente: (Canales, 2019)

3.3.1.1 Fijo

De los primeros dos casos considerados con rigidez realista de los cojinetes de neopreno emplea ambos, apoyos de neopreno elastoméricos (FEB) fijos y Apoyos de neopreno elastoméricos expansivos (EEB) en el mismo segmento (ver ilustración 11). En esta condición una de las juntas en el sistema que se consideró con un valor de rigidez mayor (FEB), mientras los demás apoyos en el sistema consideran apoyos de neopreno con menor rigidez (EEB). Mientras sea mayor la rigidez de los apoyos FEB restringirán más el desplazamiento longitudinal que los apoyos EEB que permiten traslaciones longitudinales mayores y expansiones como se necesiten acomodar los movimientos termale que los tramos del puente puedan experimentar.

Por lo tanto, los apoyos FEB se diseñan típicamente para resistir la mayoría de las fuerzas longitudinales que se desarrollan en el sistema. La distribución de las reacciones horizontales afectará las fuerzas totales que se desarrollan en la conexión de la losa de enlace. La configuración de rigidez es única para cada apoyo de neopreno diseñado individualmente y esto requiere de un mejor entendimiento de la relación entre la rigidez de los apoyos y la continuidad (Canales, 2019).



Ilustración 11 Condición de apoyo fijo

Fuente: (Canales, 2019)

3.3.1.2 Flotante

La siguiente consideración de apoyo que se realizó, fue la de tramo flotante. Se refiere a un tramo en que todos los apoyos de neopreno son apoyos tipo EEB. Esta condición provee menor restricción traslacional sin una curvatura dominante en cualquier segmento. Se espera que los tramos flotantes puedan disminuir severamente cualquier restricción rotacional suministrada por la losa de enlace. Esta condición es la más cercana al caso de apoyos simplemente apoyado. Aunque se formen restricciones laterales en cada apoyo, debido a la baja restricción traslacional, causarán que el momento de continuidad sea significativamente menor que en las otras condiciones (Canales, 2019). En la ilustración 12 se puede observar un esquema de la condición de apoyo flotante.



Ilustración 12 Condición de apoyo flotante

Fuente: (Canales, 2019)

3.4 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS VIGAS

En el presente estudio trata con puentes de losa sobre viga con la misma configuración utilizada en el estudio antecedente, con la única diferencia siendo la fuerza de frenado al centro del calro. La sección compuesta asumida está formada entre una losa de 7.5 pulgadas de espesor y anchos de 6, 7 y 8 pies sobre vigas de concreto presforzado tipo AASHTO. Las fuerzas del concreto asumidas fueron de 4 ksi 7 8 ksi respectivamente para la losa y las vigas. El ancho del puente fue escogido para acomodar los espaciamientos de las vigas escogidos para realizar este estudio. La viga tipo AASHTO fue escogida basada en la longitud máxima de tramo para cada caso. Esto fue logrado utilizando tablas de diseño del manual de diseño de puentes LADOTD (Canales, 2019). Ilustraciones de las secciones transversales de las vigas utilizadas (II, III, IV y bulb T) se pueden observar en el anexo 6 y anexo 7.

3.5 MOMENTO POSITIVO

En cada caso, era posible determinar el momento positivo en cualquier parte de la viga al estudiar el equilibrio básico en el momento de continuidad. El momento positivo de los casos simplemente apoyados sirvió como una base para realizar comparaciones con los demás casos y la disminución en su valor correspondiente por caso puede ser asociado en el grado de

continuidad que las condiciones de apoyos que ese modelo en específico tiene (Canales, 2019).

Las condiciones de apoyos que brinden mayores restricciones para los desplazamientos en las juntas también tienen un momento de continuidad mayor. Ya que el sistema tiene un equilibrio que se debe de respetar, esto implica que un caso en el cual se tenga un momento de continuidad mayor debería de representar igualmente un momento positivo menor. Para facilitar la comparación entre casos independientes del grado de continuidad que cada caso puede proveer, los momentos positivos fueron obtenidos a la mitad de cada viga, correspondiendo a las condiciones de equilibrio para el momento de continuidad resultante en la junta (Canales, 2019).

3.6 MODELOS DE LÍNEA

Los modelos que se utilizaron en la presente investigación fueron generados utilizando varias hojas de datos con el programa Excel con el fin de facilitar la construcción de tales modelos y eliminar cualquier error manual que pueda ocurrir (Canales, 2019). Se estableció un número de modelos de línea en casos en cual se incluyó la losa de enlace en casos en los cuales el modelo está simplemente apoyado.

IV. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo ya que para probar el desempeño de las losas de enlace se requiere realizar cálculos y modelos en programas estructurales para analizar los resultados obtenidos y concluir si la hipótesis propuesta es cierta. Los datos para los diseños de las losas de enlace fueron obtenidos del estudio antecedente. El programa estructural utilizado es STAAD.Pro con el fin de modelar losas de enlace y obtener datos para luego analizarlos. Los datos analizados serán comparados con los resultados de la investigación desarrollada por Canales 2018.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Es importante definir las variables que influyen en la investigación para saber los factores que afectarán los resultados. Las variables de investigación se dividen en tres tipos Independientes, dependientes y controladas. Las siguientes variables fueron identificadas en el contenido de la investigación antecedente ya que estas coinciden con el presente informe.

4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

- Longitud del tramo: Los tramos que constituyan los puentes que serán creados en STAAD.Pro tendrán longitudes distintas para analizar los efectos en la losa de enlace
- Cantidad de tramos: Los puentes modelados tendrán cantidades de tramos a partir de dos para analizar cómo se comportan los puentes con losas de enlace mediante aumentan las cantidades de tramos.
- Apoyos: En el estudio antecedente se consideraron dos configuraciones para los apoyos. Las configuraciones de apoyos consideradas fueron Rodillo-Articulado-Articulado-Rodillo y Articulado-Rodillo-Rodillo-Articulado.
- Fuerza de frenado: Fuerza con un componente direccional horizontal ocasionada por los vehículos y es la carga que será analizada en la presente investigación.
- Carga viva: Para esta variable se utilizará el vehículo de diseño considerado en el estudio antecedente, HL-93.
- Gradiente de temperatura: Una de las cargas consideradas en el estudio antecedente, por ende, es relevante para la presente investigación.

- Temperatura ambiente: Variable que puede variar diariamente en la zona de análisis.
- Propiedades de la losa de enlace y sus materiales: Las propiedades de este elemento deben de ser establecidas para analizar su desempeño al momento de obtener resultados de los modelos virtuales.
- Propiedades de las vigas y sus materiales: Las vigas en los puentes tendrán efectos en las losas de enlace, por lo tanto, definir las propiedades de estas es importante.

4.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES

- Esfuerzos en la losa de enlace: Los esfuerzos que se producen en la losa de enlace debido a las carga internas y externas y su desempeño depende de las mismas.
- Fuerza en los apoyos (principalmente elastomericos): Es importante analizar el comportamiento de los apoyos ya que las restricciones que estos ejercen afectarán la losa de enlace.

4.2.3 VARIABLES CONTROLADAS

- Momento negativo en la continuidad: Es la medida de qué tanto afecta la losa de enlace en la unión a tramos adyacentes. Dicho momento se utiliza para determinar la fuerza de tensión en la losa de enlace y en torno a las reacciones de los apoyos.
- Momento positivo al centro del claro: Se utiliza con el fin de comparar los momentos en modelos con losa de enlace con modelos simplemente apoyados

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

- El programa estructural STAAD.Pro fue utilizado con el fin de modelar puentes que contengan losas de enlace para obtener los datos requeridos y poder analizarlos.
- El programa Excel, se utilizó para crear hojas de cálculo con el fin de generar modelos en STAAD.Pro para facilitar y agilizar este proceso y para crear el diagrama de Gantt que le corresponde al cronograma de actividades.
- El programa Notepad++ fue utilizado para reemplazar caracteres en archivos .txt que perjudicaban los modelos de STAAD.Pro.
- El Bloc de Notas fue utilizado para trasladar los contenidos de la viñeta "STAAD Input_2span" con el fin de generar un archivo de texto que contuvo los parámetros de los modelos de línea

4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Para la investigación, se acordó con el asesor temático en realizar un mínimo de 324 modelos en STAAD.Pro que representen condiciones de trabajo de una losa de enlace. La razón por la cual se estableció esta cantidad de modelos fue porque los modelos se separan en dos categorías iniciales, Fixed y Floating, las cuales corresponde a los apoyos. Dentro de ambas categorías se crean 9 carpetas con los siguientes caracteres F_0_6 donde "F" representa el tipo de apoyo siendo el mencionado correspondiéndola al apoyo Fixed y "FL" al apoyo tipo Floating; el segundo carácter "0" representa una de tres temperaturas (0, 36, 73) en grados Fahrenheit escogidas para el estudio y el tercer carácter representa el espaciamiento entre las vigas de los modelos de línea (6, 7, 8) en pies.

Dentro de cada una de estas 9 carpetas se realizaron dos carpetas que representan la cantidad de tramos para los modelos de línea siendo 2span para dos tramos y 3span para tres tramos. Dentro de cada una de estas dos carpetas se hicieron 9 carpetas con el siguiente formato F_0_6_01 en las cuales solo el cuarto carácter fue alterado hasta la carpeta F_0_6_09. En las carpetas de 3span el cuarto carácter comienza en 10 y termina en 18.

Dentro de cada una de las carpetas finales se coloca un archivo en formato .std el cual representa un modelo de línea único en total siendo 324 modelos. De realizar un trabajo consistente es posible realizar un total de 648 modelos en STAAD.Pro lo cual significaría mejor control experimental. En los nuevos modelos, se evaluarían los efectos de la fuerza de frenado en los mismos modelos, pero sin tomar en cuenta la losa de enlace.

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Primeramente, se hizo una lectura del material antecedente Performance "Study of Link Slab Continuity in Prestressed Concrete Bridges" para obtener datos generales que serán utilizados para este estudio y obtener un conocimiento general del tema.

4.5.1 TRABAJO EN EXCEL

Para realizar los modelos de línea fue necesario utilizar el documento de Excel "Input file template_Braking_Force" para generar archivos de texto. Estos archivos fueron generados empezando por los apoyos fijos ("F" como son representados en el documento). Primeramente, se crearon 324 carpetas las cuales contendrán cada uno de los archivos de

texto. Luego dentro de la hoja de cálculo de Excel se creó un archivo de texto único que representa un modelo de línea. Este archivo de texto se debe de convertir a un archivo de STAAD para poder extraer los datos necesarios.

4.5.1 MODELOS DE LÍNEA

Para realizar los cálculos correspondientes se generaron modelos en el programa estructural STAAD.Pro, para generar dichos modelos se utilizaron varias hojas de Excel para facilitar este proceso. Los modelos de línea consisten en 6 nodos y 5 elementos para los modelos de 2 tramos, ver ilustración 17, y 9 nodos y 8 elementos para los modelos de 3 tramos. Para los casos con 2 tramos, cuatro de los elementos representaron la viga compuesta con un desplazamiento vertical desde el nivel del apoyo igual a la ubicación de su centroide. El elemento que representó la losa de enlace fue igualmente desplazado verticalmente desde el centroide de las vigas. La resistencia el momento fue liberada en ambos extremos de elemento de losa de enlace (solo resiste fuerzas axiales). Esta suposición es aceptable ya que la contribución de la losa de enlace al sistema es principalmente el resultado del desplazamiento en lugar de su rigidez a la flexión, la cual es mucho menor en comparación a las vigas conectadas. Los nodos sobre cojinetes de neopreno fueron restringidos de movimientos verticales. Sin embargo, rigidez de resorte equivalente fue agregada entre los extremos de la viga y el punto de apoyo de referencia para representar los apoyos de neopreno (Canales, 2019).

4.5.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Basándose en iteraciones preliminares, se seleccionó la siguiente información para el postprocesamiento, análisis e interpretación:

- Tensión en la losa de enlace.
- Reacciones horizontales y verticales en todos los apoyos.
- Momentos en los extremos de las vigas y a la mitad de los tramos.

4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Se espera que los resultados que se obtendrán serán similares a los de la investigación antecedente, por lo tanto, esa consistencia garantiza que los datos obtenidos sean factibles para poder concluir la investigación.

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El siguiente cronograma se refiere a las actividades realizadas a lo largo del desarrollo de la investigación, su fecha de inicio, su duración y su fecha de culminación. Esto le servirá como una guía al lector de cuánto tiempo duró la investigación y las actividades que la componen. Las tablas 2 y 3 muestran una lista de actividades y sus descripciones y la ilustración 13 muestra un diagrama de Gantt del tiempo que tomó en completar las actividades.

Tabla 2 Descripción de actividades realizadas

Actividad	Descripción
Avance 1 (50% del Marco teórico)	Para poder realizar la entrega del primer avance, se requirió trabajar en el informe hasta lograr completar un 50% del marco teórico
Avance 2 (100% del Marco teórico y avance de la Metodología)	Completar al 100% el contenido del marco teórico, realizar un avance mínimo del 50% del inciso de metodología y realizar las correcciones instruidas por el asesor metodológico
Trabajo en hojas de Excel para generar modelos de línea en STAAD.Pro	Construcción de hojas de Excel para realizar modelos en STAAD.Pro. Se deben de tener todas las carpetas que contengan dichas hojas con su hoja de cálculo correspondiente
Avance 2 (100% del Marco teórico y 100% de la Metodología)	Se realizaron las correcciones instruidas por el asesor metodológico y se completó el inciso de metodología al 100%
Avance 3 (50% del inciso Desarrollo)	Se trabajó en los modelos de línea hasta llegar a un 50% de los modelos y analizar los datos obtenidos para comprender el comportamiento de estos
Preparación de los modelos en STAAD	Con las hojas de Excel realizadas convertidas en archivos de texto se generaron los modelos de líneas hasta un 50% de la cantidad mínima

Tabla 3 Descripción de actividades realizadas

Actividad	Descripción
Avance 3 (Completo)	Se realizó un 100% de los modelos de línea
Análisis de resultados	Se concluyó sobre los datos obtenidos de los modelos de línea
Redactar procesos y resultados en el informe	Se redactó en el informe procesos relevantes pertenecientes a los cálculos y el análisis de tales datos
Avance 4 (50% del avance)	Se realizó un 50% del inciso de conclusiones y posteriores
Avance 4 (Completo)	Se realizó un 100% del inciso de conclusiones y posteriores

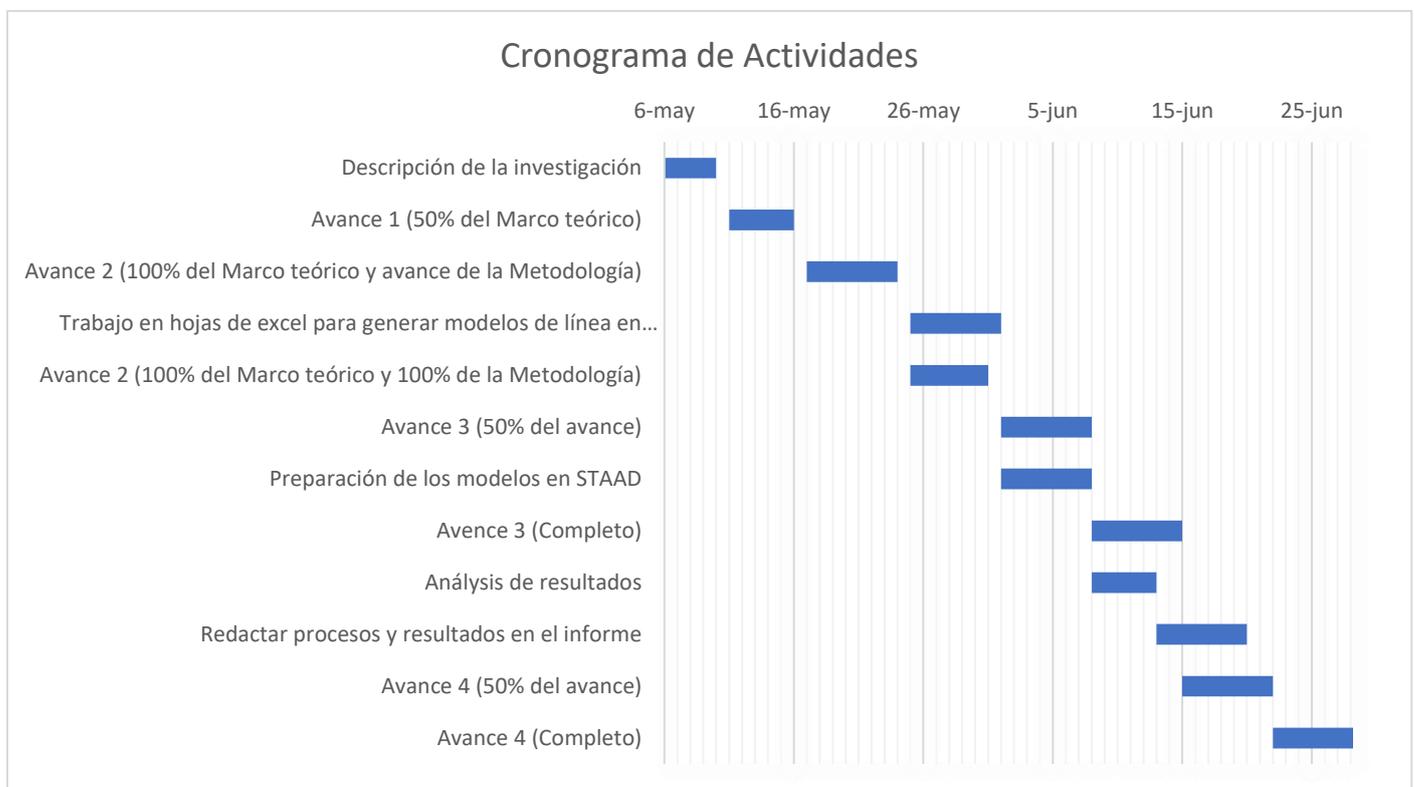


Ilustración 13 Diagrama de Gantt de las actividades del proyecto

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 TRABAJO EN EXCEL

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		span 1	span 2	span 3	total	girder	spacing	min sep	tren de ca	full load	cl ML	K1	K2L	K2R	K3L	K3R	K4	Yb	hg
2	F_0_6_1	55	55	0	110 II	5.91	50	106	218	-268.847	179.2	1075.2	1142.4	190.4	179.2	179.2	2.350195	3	
3	F_0_6_2	70	70	0	140 III	5.91	50	106	248	-386.416	210	1260	1260	210	210	210	2.66614	3.75	
4	F_0_6_3	95	95	0	190 IV	5.91	54	110	302	-510.893	252	1512	1512	252	252	252	2.971952	4.5	
5	F_0_6_4	47	62	0	109 II	5.91	50	106	217	-268.847	179.2	1075.2	1142.4	190.4	179.2	179.2	2.350195	3	
6	F_0_6_5	66	88	0	154 III	5.91	50	106	262	-386.416	210	1260	1344	224	210	210	2.66614	3.75	
7	F_0_6_6	81	108	0	189 IV	5.91	54	110	301	-510.893	235.2	1411.2	1612.8	268.8	235.2	235.2	2.971952	4.5	
8	F_0_6_7	36	72	0	108 III	5.91	50	106	216	-386.416	168	1008	1260	210	168	168	2.66614	3.75	
9	F_0_6_8	50	100	0	150 IV	5.91	50	106	258	-510.893	201.6	1209.6	1512	252	201.6	201.6	2.971952	4.5	
10	F_0_6_9	55	110	0	165 IV	5.91	50	106	273	-510.893	201.6	1209.6	1713.6	285.6	201.6	201.6	2.971952	4.5	
11	F_0_6_10	55	55	55	165 II	5.91	50	106	273	-268.847	179.2	1075.2	1142.4	190.4	179.2	179.2	2.350195	3	
12	F_0_6_11	70	70	70	210 III	5.91	50	106	318	-386.416	210	1260	1260	210	210	210	2.66614	3.75	
13	F_0_6_12	95	95	95	285 IV	5.91	54	110	397	-510.893	252	1512	1512	252	252	252	2.971952	4.5	
14	F_0_6_13	47	70	47	164 III	5.91	50	106	272	-386.416	182	1092	1260	210	182	182	2.66614	3.75	
15	F_0_6_14	62	93	62	217 IV	5.91	50	106	325	-510.893	218.4	1310.4	1512	252	218.4	218.4	2.971952	4.5	
16	F_0_6_15	80	120	80	280 V	5.91	58	114	396	-609.406	236.6	1419.6	1856.4	309.4	236.6	236.6	3.478739	5.25	
17	F_0_6_16	40	80	40	160 III	5.91	50	106	268	-386.416	182	1092	1344	224	182	182	2.66614	3.75	
18	F_0_6_17	50	100	50	200 IV	5.91	50	106	308	-510.893	201.6	1209.6	1612.8	268.8	201.6	201.6	2.971952	4.5	
19	F_0_6_18	60	120	60	240 V	5.91	50	106	348	-609.406	236.6	1419.6	1856.4	309.4	236.6	236.6	3.478739	5.25	

Ilustración 14 Tablas de datos para cada caso.

Fuente: (Canales, 2019)

La ilustración 14 muestra el primer paso, el cual consiste en identificar la tabla por utilizar correspondiente a su carpeta destino en la cual se generó un archivo de texto. Para demostrar este proceso, se seleccionó el archivo F_0_6_01. Dicha tabla se copió y se pegó en la hoja de parámetros sobre las casillas correspondientes a los parámetros pertenecientes a los modelos de línea que fueron generados posteriormente.

Case	span 1	span 2	span 3	total	girder spacing	min sep	tren de ca	full load	c ML	K1	K2L	K2R	K3L	K3R	K4	Yb	hg
F_0_6_1	55	55	0	110 II	5.91	50	106	218	-268.85	179.2	1075.2	1142.4	190.4	179.2	179.2	2.35019	3
F_0_6_1	55	55	0	110 II	5.91	50	106	218	-268.85	179.2	1075.2	1142.4	190.4	179.2	179.2	2.35019	3
F_0_6_2	70	70	0	140 III	5.91	50	106	248	-386.42	210	1260	1260	210	210	210	2.66614	3.75
F_0_6_3	95	95	0	190 IV	5.91	54	110	302	-510.89	252	1512	1512	252	252	252	2.97195	4.5
F_0_6_4	47	62	0	109 II	5.91	50	106	217	-268.85	179.2	1075.2	1142.4	190.4	179.2	179.2	2.35019	3
F_0_6_5	66	88	0	154 III	5.91	50	106	262	-386.42	210	1260	1344	224	210	210	2.66614	3.75
F_0_6_6	81	108	0	189 IV	5.91	54	110	301	-510.89	235.2	1411.2	1612.8	268.8	235.2	235.2	2.97195	4.5

Ilustración 15 Parámetros seleccionados.

Fuente: (Canales, 2019)

La ilustración 15 muestra cómo luego se seleccionó la línea de parámetros que representa el modelo de línea por generar y se copió dicha línea en el espacio de entrada.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	STAAD	PLANE											
2	SET	SHEAR											
3	START	JOB	INFORMATION										
4	ENGINEER	DATE	14-jul-17										
5	END	JOB	INFORMATION										
6	INPUT	WIDTH	79										
7	UNIT	FEET	KIP										
8	JOINT	COORDINATES											
9	1		0	0	0 ;		2	55	0	0 ;		3	55.5
10	MEMBER	INCIDENCES											
11	1		1	5 ;		2	2	3 ;		3	3	6 ;	
12	START	GROUP	DEFINITION										
13	MEMBER												
14	_LS1		2										
15	END	GROUP	DEFINITION										
16	START	USER	TABLE										
17	TABLE		1 C:\PROPERTIES\GENERAL\II6FTGEN.UPT										
18	TABLE		2 C:\PROPERTIES\GENERAL\II7FTGEN.UPT										
19	TABLE		3 C:\PROPERTIES\GENERAL\II8FTGEN.UPT										
20	TABLE		4 C:\PROPERTIES\GENERAL\III6FTGEN.UPT										
21	TABLE		5 C:\PROPERTIES\GENERAL\III7FTGEN.UPT										
22	TABLE		6 C:\PROPERTIES\GENERAL\III8FTGEN.UPT										
23	TABLE		7 C:\PROPERTIES\GENERAL\IV6FTGEN.UPT										
24	TABLE		8 C:\PROPERTIES\GENERAL\IV7FTGEN.UPT										
25	TABLE		9 C:\PROPERTIES\GENERAL\IV8FTGEN.UPT										
26	TABLE		10 C:\PROPERTIES\GENERAL\V6FTGEN.UPT										
27	TABLE		11 C:\PROPERTIES\GENERAL\V7FTGEN.UPT										
28	TABLE		12 C:\PROPERTIES\GENERAL\V8FTGEN.UPT										
29	END												

Ilustración 16 Datos de entrada para modelo de línea de dos tramos.

Fuente: (Canales, 2019)

Luego, se seleccionó todo el contenido de la viñeta "STAAD Input_2span", como se aprecia en la ilustración 16, y se transfirió al Bloc de Notas y se guardó en su carpeta correspondiente, ver ilustración 17. En este caso es la carpeta F_0_6_01.

```

F_0_6_01: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
STAAD PLANE
SET SHEAR
START JOB INFORMATION
ENGINEER DATE 14-jul-17
END JOB INFORMATION
INPUT WIDTH 79
UNIT FEET KIP
JOINT COORDINATES
1 0 0 0 ; 2 55 0 0 ; 3 55.5 0 0 ; 4 110.5 0 0 ; 5
MEMBER INCIDENCES
1 1 5 ; 2 2 3 ; 3 3 6 ; 4 5 2 ; 5 6 4 ;
START GROUP DEFINITION
MEMBER
_LS1 2
END GROUP DEFINITION
START USER TABLE
TABLE 1 C:\PROPERTIES\GENERAL\II6FTGEN.UPT
TABLE 2 C:\PROPERTIES\GENERAL\II7FTGEN.UPT
TABLE 3 C:\PROPERTIES\GENERAL\II8FTGEN.UPT
TABLE 4 C:\PROPERTIES\GENERAL\III6FTGEN.UPT
TABLE 5 C:\PROPERTIES\GENERAL\III7FTGEN.UPT
TABLE 6 C:\PROPERTIES\GENERAL\III8FTGEN.UPT
TABLE 7 C:\PROPERTIES\GENERAL\IV6FTGEN.UPT

```

Ilustración 17 Contenido de Excel transferido al Bloc de Notas

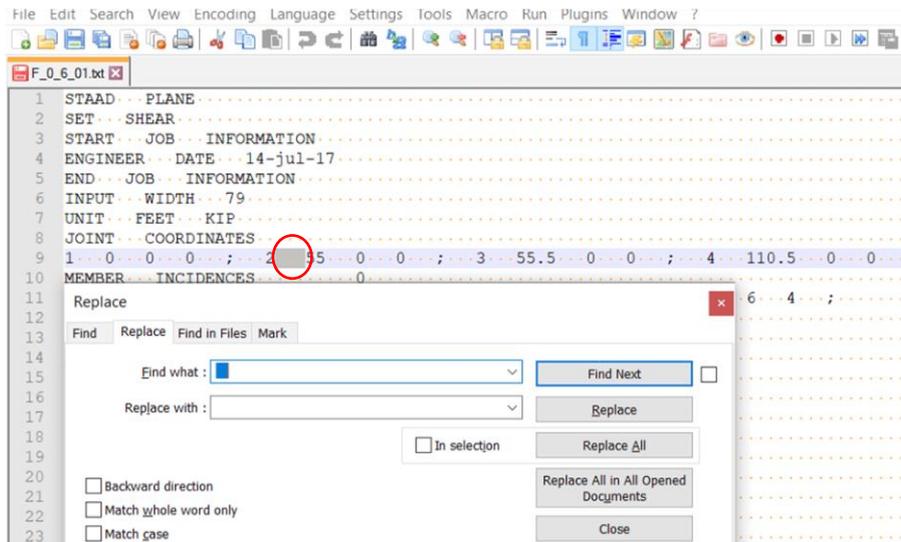


Ilustración 18 Modificación de los archivos de texto en Notepad++

Se puede observar en la ilustración 18 cómo se utilizó el programa Notepad++ para modificar espacios excesivos entre caracteres que alterarían los modelos de línea. Estos espacios consisten en tres espacios consecutivos (representados por tres puntos dentro del programa) los cuales fueron reemplazados por un espacio único utilizando la función "Replace" dentro de la viñeta "Search".

```

F_0_6_01: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
STAAD PLANE
SET SHEAR
START JOB INFORMATION
ENGINEER DATE 14-jul-17
END JOB INFORMATION
INPUT WIDTH 79
UNIT FEET KIP
JOINT COORDINATES
1 0 0 0 ; 2 5 0 0 ; 3 55.5 0 0 ; 4 110.5 0 0 ; 5 27.5 0 0 ; 6 83 0 0 ;
MEMBER INCIDENCES 0
1 1 5 ; 2 2 3 ; 3 3 6 ; 4 5 2 ; 5 6 4 ;
START GROUP DEFINITION
MEMBER
_LS1 2
END GROUP DEFINITION
START USER TABLE
TABLE 1 C:\PROPERTIES\GENERAL\II6FTGEN.UPT
TABLE 2 C:\PROPERTIES\GENERAL\II7FTGEN.UPT
TABLE 3 C:\PROPERTIES\GENERAL\II8FTGEN.UPT
TABLE 4 C:\PROPERTIES\GENERAL\III6FTGEN.UPT
TABLE 5 C:\PROPERTIES\GENERAL\III7FTGEN.UPT
TABLE 6 C:\PROPERTIES\GENERAL\III8FTGEN.UPT
TABLE 7 C:\PROPERTIES\GENERAL\II6FTGEN.UPT

```

Ilustración 19 Formato final de archivo de texto modificado en Notepad++

Finalmente, la ilustración 19 muestra cómo se convirtieron los archivos de texto en archivos ".std" para que sean compatibles con STAAD.Pro y se puedan generarse modelos de línea.

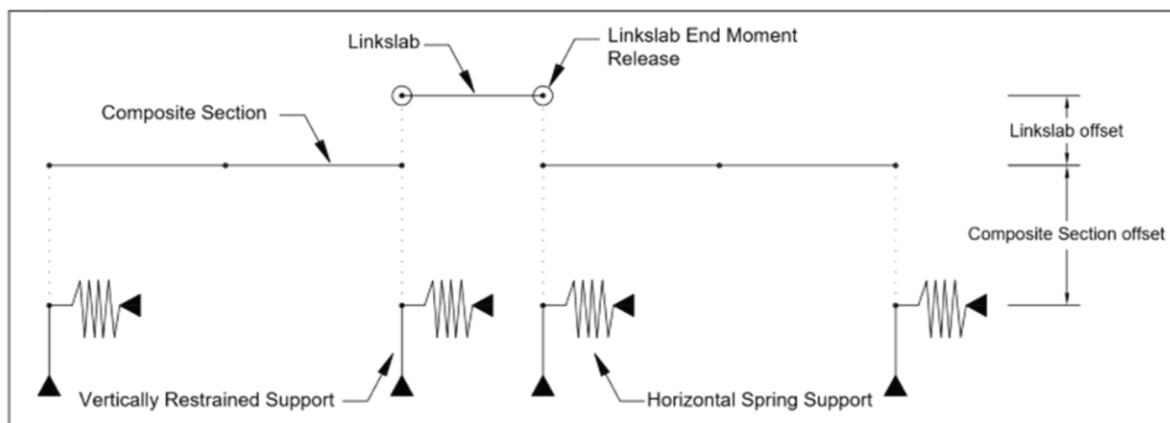


Ilustración 20 Modelo de elementos finitos de un segmento de losa de enlace con dos tramos

Fuente: (Canales, 2019)

La ilustración 20 muestra un modelo de línea, este modelo tiene las mismas características para ambos, la condición de apoyo fija y flotante excepto por el hecho de que la configuración tenía dos cojinetes FEB de neopreno en los apoyos debajo de la losa de enlace y dos EEB en los extremos, mientras que en la configuración flotante todos los apoyos eran EEB. En el caso de discontinuidad, la diferencia principal era la ausencia del elemento de losa de enlace (Canales, 2019).

5.1.1 PROCESO DE MODELACIÓN EN STAAD.PRO

Una vez realizadas todos los archivos de texto, se debe de cambiar la extensión de las archivos de .txt a .std para obtener un modelo de STAAD con las características especificadas durante el trabajo en Excel, como se muestra en la imagen 21.



Ilustración 21 Modificación de extensiones de archivos de texto.

Luego se debe de abrir el archivo de STAAD con el fin de obtener los datos del modelo. Primero se realizó la asignación manual de las propiedades faltantes a elementos de los modelos, ver imagen 22. Por razones desconocidas esta acción fue necesaria para todos los modelos.

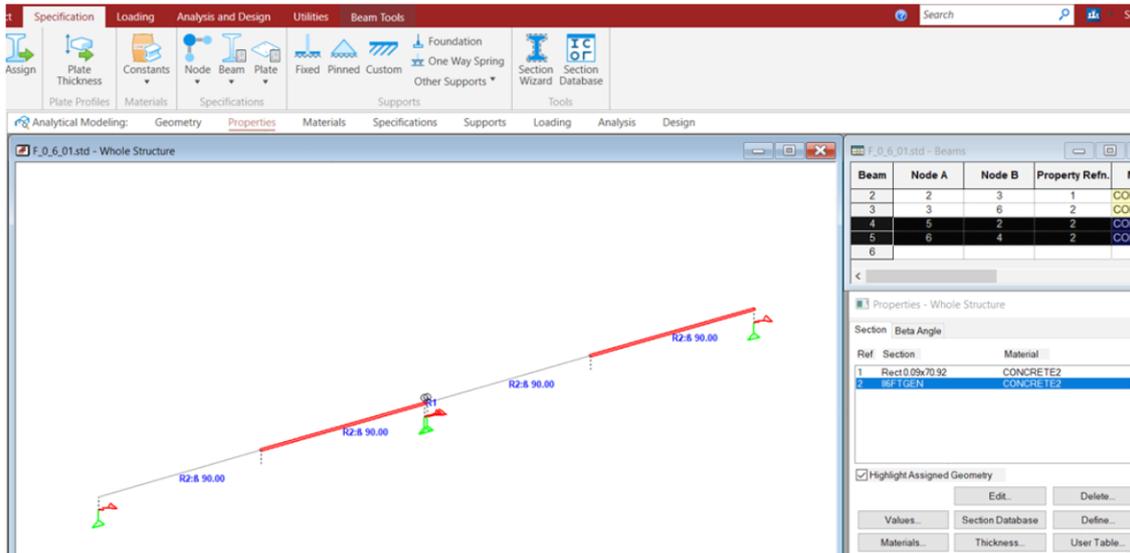


Ilustración 22 Asignación de propiedades faltantes a elementos

Se corrió un análisis del modelo y se seleccionaron únicamente las cargas de fuerza de frenado como se muestra en la ilustración 23. Esto se realizó para todos los modelos.

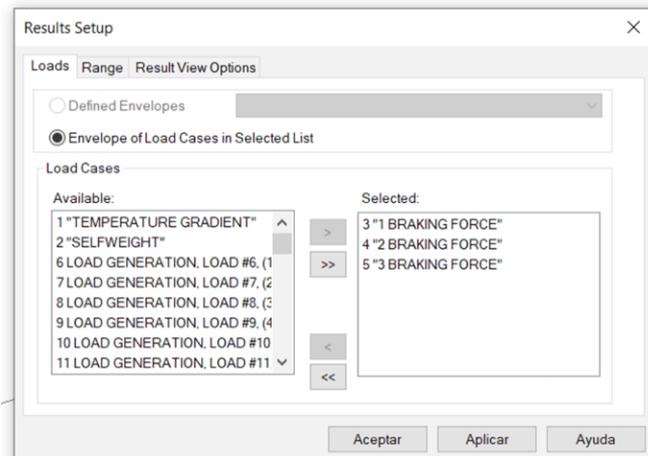


Ilustración 23 Selección de cargas de frenado durante el análisis

Luego en la viñeta "Reactions" se copiar todos los datos de la ventanilla "Support Reactions" ubicada en la parte derecha del programa como se muestra en la ilustración 24.

Node	L/C	Horizontal Fx kg	Vertical Fy kg	Horizontal Fz kg	Moment Mx kg-m	Moment My kg-m
1	3 "1 BRAKING	-1157.286	-1065.578	0.000	0.000	0
	4 "2 BRAKING	-592.813				
	5 "3 BRAKING	-564.472				
2	3 "1 BRAKING	-6768.949				
	4 "2 BRAKING	-3478.172				
	5 "3 BRAKING	-3290.777				
3	3 "1 BRAKING	-7174.335				
	4 "2 BRAKING	-3493.393				
	5 "3 BRAKING	-3680.942				
4	3 "1 BRAKING	-1228.756				
	4 "2 BRAKING	-600.284				
	5 "3 BRAKING	-628.472				

Ilustración 24 Selección de los datos de reacciones de soportes

Luego en el archivo "DataCollect_BrakingForce_1" se transfirieron los datos obtenidos del modelo dentro de la hoja correspondiente a la cantidad de tramos del modelo. Se realizó la transferencia sobre el cuadro azul marcado en la ilustración 25. La hoja de Excel fue programada con el fin de que cuando estos datos fueran transferidos sobre este cuadro, se recolectaran automáticamente todos los datos necesarios que fueron utilizados en el modelo de rigidez equivalente.

Case	span 1	span 2	span 3	No. spans	total	girder	spacing	Temp	Support	min sep	tren de car full load	cli ML	K1	K2L	K2R	K
F_0_6_1	1	55	55	0	2	110 II	5.91		0 Fixed	50	106	113.91	-268.847	179.2	179.2	190.4
reactions																
beam results																
Node	L/C	Horizontal Fx kg	Vertical Fy kg	Horizontal Fz kg	Moment Mx kg-m	Moment My kg-m	Moment Mz kg-m	L/C	Node	Fx kg	Fy kg	Fz kg	Mx kg-m	My kg-m	Mz kg-m	
1	3 "1 BRAKI	-1157.29	-1065.58	0	0	0	0	1	3 "1 BRAKI	1	-4619.03	0	901.462	0	-5.16E+03	0
8	4 "2 BRAKI	-592.813	-833.386	0	0	0	0	5	4619.026	0	-901.462	0	-5.97E+03	0	0	
9	5 "3 BRAKI	-564.472	-232.191	0	0	0	0	1	-2319.01	0	585.736	0	-2.59E+03	0	0	
10	2 3 "1 BRAKI	-6768.95	1065.578	0	0	0	0	5	2319.013	0	-585.736	0	-4.64E+03	0	0	
11	4 "2 BRAKI	-3478.17	833.386	0	0	0	0	1	-2300.01	0	315.727	0	-2.57E+03	0	0	
12	5 "3 BRAKI	-3290.78	232.191	0	0	0	0	5	2300.013	0	-315.727	0	-1329.77	0	0	
13	3 3 "1 BRAKI	-7174.34	-1094.3	0	0	0	0	2	-1072.81	0	0	0	0	0	0	
14	4 "2 BRAKI	-3493.39	-246.551	0	0	0	0	3	1072.812	0	0	0	0	0	0	
15	5 "3 BRAKI	-3680.94	-847.746	0	0	0	0	2	3524.738	0	0	0	0	0	0	
16	4 3 "1 BRAKI	-1228.76	1094.297	0	0	0	0	3	-3524.74	0	0	0	0	0	0	
17	4 "2 BRAKI	-600.284	246.551	0	0	0	0	2	-4597.55	0	0	0	0	0	0	
18	5 "3 BRAKI	-628.472	847.746	0	0	0	0	3	4597.55	0	0	0	0	0	0	
19								3	4619.03	0	565.587	0	-3.34E+03	0	0	
20								6	4619.033	0	-565.587	0	-5.97E+03	0	0	
21								3	1763.339	0	181.54	0	-4.01E+03	0	0	
22								6	-1763.34	0	-181.54	0	1019.449	0	0	
23								3	-6382.37	0	384.047	0	669.752	0	0	
24								6	6382.372	0	-384.047	0	-6.99E+03	0	0	
25								5	3545.637	0	901.462	0	-5.35E+03	0	0	
26								2	-3545.64	0	-901.462	0	-5.78E+03	0	0	
27								5	5845.65	0	585.736	0	-6.68E+03	0	0	
28								2	-5845.65	0	-585.736	0	-549.959	0	0	
29								5	-2300.01	0	315.727	0	1329.766	0	0	

Ilustración 25 Transferencia de datos de STAAD a Excel

Este proceso se realizó igualmente para los datos dentro de la ventanilla de "Beam Reactions" en la ventanilla de "Beam Ende Forces" y se transfirieron a Excel sobre el cuadro color naranja.

Case	span 1	span 2	span 3	No. spans	total	girder	spacing	Temp	Support	min sep	tren de car full load cl
F_0_6_1	1	55	55	0	2	110 II	5.91	0	Fixed	50	106 113.91

Node	L/C	Horizontal Fx kg	Vertical Fy kg	Horizontal Fz kg	Moment Mx kg-m	My	Mz kg-m	L/C	Node	Fx kg	Fy kg
1	3 "1 BRAKI	-1157.29	-1065.58	0	0		0	1 3 "1 BRAKI	1	-4619.03	0
4	"2 BRAKI	-592.813	-833.386	0	0		0	4 "2 BRAKI	1	-2319.01	0

Case	span 1	span 2	span 3	No. spans	total	girder	spacing	Temp	Support	min sep	tren de car full load cl
F_0_6_1	1	55	55	0	2	110 II	5.91	0	Fixed	50	106 113.91
F_0_6_2	2	70	70	0	2	140 III	5.91	0	Fixed	50	106 248
F_0_6_3	3	95	95	0	2	190 IV	5.91	0	Fixed	54	110 302
F_0_6_4	4	47	62	0	2	109 II	5.91	0	Fixed	50	106 217
F_0_6_5	5	66	88	0	2	154 III	5.91	0	Fixed	50	106 262
F_0_6_6	6	81	108	0	2	189 IV	5.91	0	Fixed	54	110 301
F_0_6_7	7	36	72	0	2	108 III	5.91	0	Fixed	50	106 216
F_0_6_8	8	50	100	0	2	150 IV	5.91	0	Fixed	50	106 258

Ilustración 26 Transferencia de línea de datos

Luego se transfirió la línea de datos hacia su ubicación correspondiente en la hoja "DATOS" como se muestra en la ilustración 26.

Este proceso se realizó para todos los modelos de STAAD dentro de las carpetas Fixed y Floating. Los datos obtenidos de cada modelo fueron utilizados para calcular la rigidez equivalente y realizar gráficos que muestren el desempeño de las losas de enlace.

5.2 MODELO DE RIGIDEZ EQUIVALENTE

La ilustración 27 refleja cómo se modelan los componentes analizados (sección compuesta, losa de enlace y cojinetes de neopreno) como resortes equivalentes.

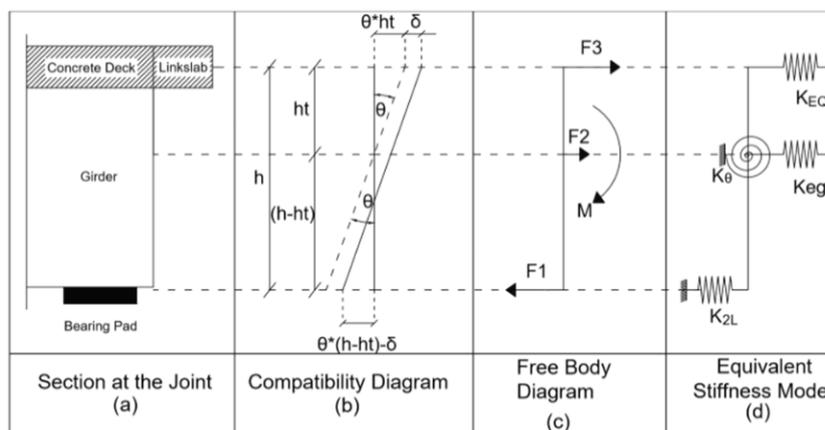


Ilustración 27 Modelo de rigidez equivalente

Fuente: (Canales, 2019)

Al determinar los diagramas de compatibilidad y cuerpo libre es posible determinar el modelo de rigidez equivalente (Canales, 2019). Las fuerzas actuantes en el sistema son:

$$F3 = K_{E Q} * (\theta * ht + \delta)$$

Ecuación 2 Fuerza en el centroide de la losa de enlace

Fuente: (Canales, 2019)

$$F2 = K_{e g} * \delta$$

Ecuación 3 Fuerza en el centroide de la sección compuesta

Fuente: (Canales, 2019)

$$F1 = K_{2L} * (\theta * (h - ht) - \delta)$$

Ecuación 4 Fuerza en el cojinete de neopreno

Fuente: (Canales, 2019)

$$M = K_{\theta} * \theta$$

Ecuación 5 Momento en la losa de enlace

Fuente: (Canales, 2019)

Donde θ es la rotación en el extremo de la viga, δ es la elongación de la viga debido a la fuerza axial, h es la distancia vertical desde la parte inferior de la sección compuesta hasta el centroide de la losa de enlace ht es la distancia vertical entre el centroide de la sección compuesta y el centroide de la losa de enlace, $K_{e g}$ es la combinación entre rigidez de resorte equivalente de la rigidez axial de la sección compuesta y la rigidez horizontal del cojinete de neopreno lejano a la losa de enlace, K_{2L} es la rigidez horizontal del cojinete de neopreno que está debajo de la losa de enlace, K_{θ} es la rigidez rotacional de la sección compuesta y $K_{E Q}$ es la rigidez equivalente del sistema a la altura de la losa de enlace. Las dos ecuaciones de equilibrio relevantes son:

$$\sum M = F2 * ht - F1 * h$$

Ecuación 6 Sumatoria de momentos en la losa de enlace

Fuente: (Canales, 2019)

$$F2 + F3 - F1 = 0$$

Ecuación 7 Sumatoria de fuerzas horizontales

Fuente: (Canales, 2019)

La rigidez global corresponde a una fuerza capaz de causar un desplazamiento unitario en la ubicación analizada, del diagrama de compatibilidad se obtuvo:

$$\theta + \delta * ht = 1$$

Ecuación 8 Desplazamiento unitario en la zona evaluada

Fuente: (Canales, 2019)

Al resolver la ecuación 8 por la variable δ y sustituirla con las ecuaciones 3 y 5 dentro de la ecuación 6 y resolviendo para θ , se logra determinar la siguiente definición para la rotación de los extremos en términos de las rigideces intervinientes.

$$\theta = \frac{K_{e.g} * ht + K_{2L} * h}{K_{\theta} + K_{e.g} * ht^2 + K_{2L} * h^2}$$

Ecuación 9 Rotación en los extremos de las vigas en términos de las rigideces

Fuente: (Canales, 2019)

Finalmente, sustituyendo por θ , la variable δ obtenida anteriormente y las ecuaciones 2 y 4 dentro de la ecuación 7. Es posible obtener la rigidez equivalente del sistema en términos de valores conocidos y dependientes de variables para cada caso.

$$K_{EQ} = \frac{K_{2L}^2 * h^2 + 2 * K_{2L} * K_{e.g} * h * ht + K_{e.g}^2 * ht^2}{K_{2L} * h^2 + K_{e.g} * ht^2 + K_{\theta}} - K_{e.g} - K_{2L}$$

Ecuación 10 Rigidez equivalente del sistema

Fuente: (Canales, 2019)

La variable $K_{e.g}$ es la combinación entre el resorte equivalente a la rigidez axial de la sección compuesta y la rigidez horizontal del cojinete de neopreno lejano

$$K_{e.g} = \frac{K1 * K_g}{K1 + K_g}$$

Ecuación 11 Combinación en serie de las variables K1 y Kg

Fuente: (Canales, 2019)

Donde $K1$ es la rigidez horizontal del cojinete de neopreno lejano y K_g es la rigidez axial de la viga

5.3 IMPORTANCIA DEL KEQ

La razón por la cual se realiza la comparación entre el K_{2L} y la tensión en la losa de enlace es porque en el estudio antecedente se determinó que existe una relación fuerte entre el K_{2L} y el KEQ. KEQ representa todo el sistema convertido en un resorte equivalente (Rigidez equivalente del sistema). Por lo tanto, el KEQ es proporcional a cuanta tensión se genera en la losa de enlace. EL KEQ depende de las propiedades de la sección como se demostró en la ecuación 10, este estudio utiliza exactamente las mismas secciones que el estudio antecedente. Por lo tanto, la relación entre el KEQ y el K_{2L} en el estudio se mantiene. La ilustración 28 muestra esta relación entre las variables.

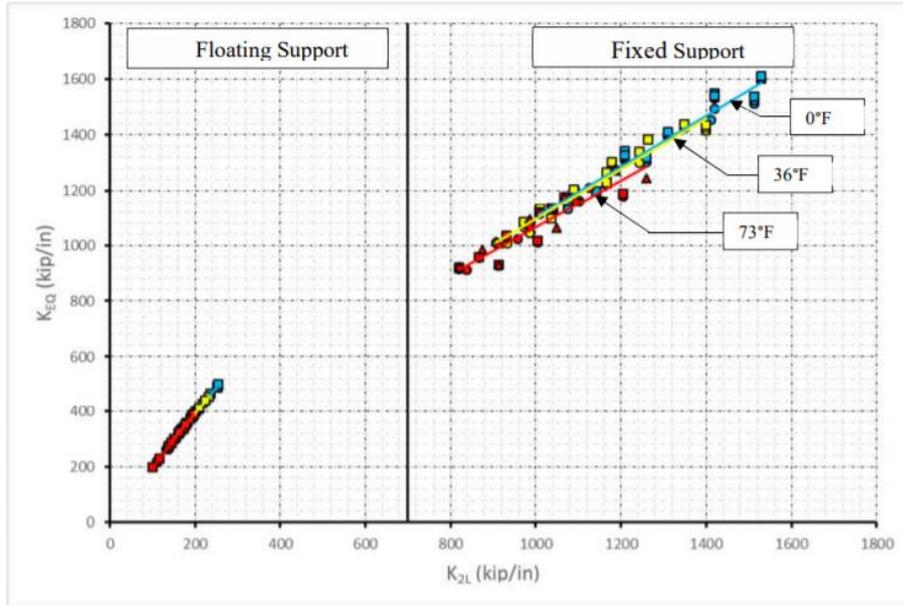


Ilustración 28 Relación entre el K2L y el KEQ

Fuente: (Canales, 2019)

5.4 RESULTADOS DE MODELOS DE LÍNEA

5.4.1 RESULTADOS DE 2SPAN

Se determinó que la fuerza de frenado 3 es la más crítica para el sistema ya que esta fuerza es la que produce una fuerza de tensión en la losa de enlace. La fuerza de frenado 1, como se muestra en la ilustración 29, está compuesta por fuerzas de frenados actuando en ambos tramos del puente. La presencia de la fuerza de frenado en ambos tramos genera una compensación en los desplazamientos ocasionados.

La fuerza de frenado 2, como se muestra en la ilustración 30, es una fuerza ubicada en el tramo izquierdo del puente. Esto genera una fuerza de compresión en la losa de enlace lo cual no causa ningún inconveniente ya que la losa de enlace es capaz de soportar fuerzas de compresión. En la imagen 31 se puede observar la fuerza de frenado 3, la cual ocasiona una fuerza de tensión en la losa de enlace. Ya que el concreto es un material muy débil al resistir fuerzas de tensión, es la razón por la cual la fuerza de frenado 3 es el foco del presente estudio para puentes de dos tramos.

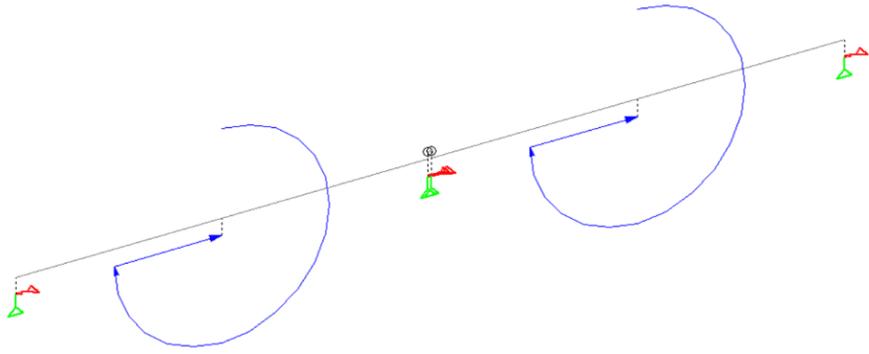


Ilustración 29 Fuerza de frenado 1

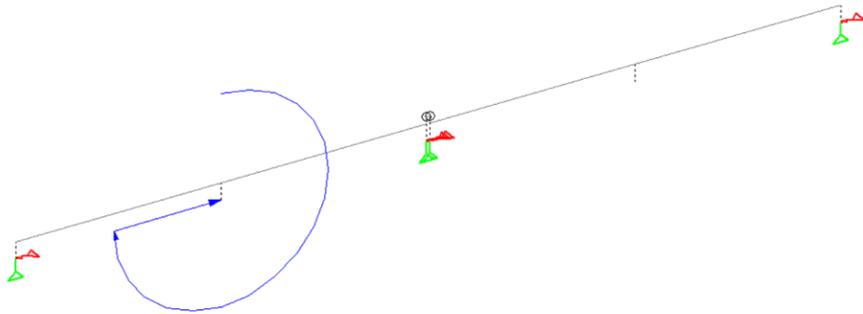


Ilustración 30 Fuerza de frenado 2

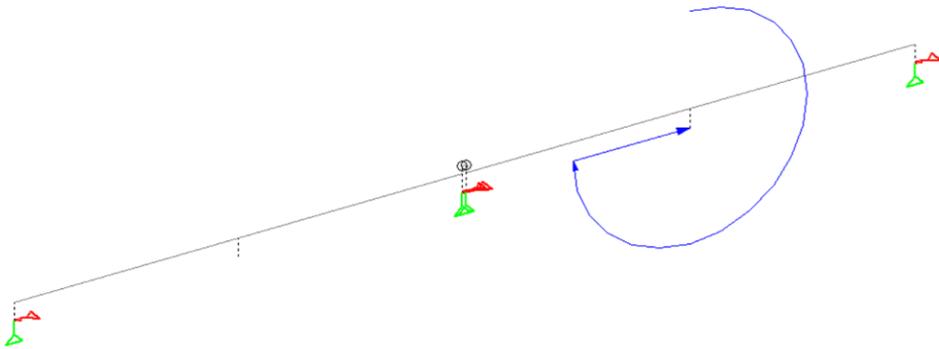


Ilustración 31 Fuerza de frenado 3

5.4.1.1 Tensión en la losa de enlace 2span

Para reflejar los resultados de los modelos de línea se crearon gráficos con los datos de carga de frenado ente otros parámetros.

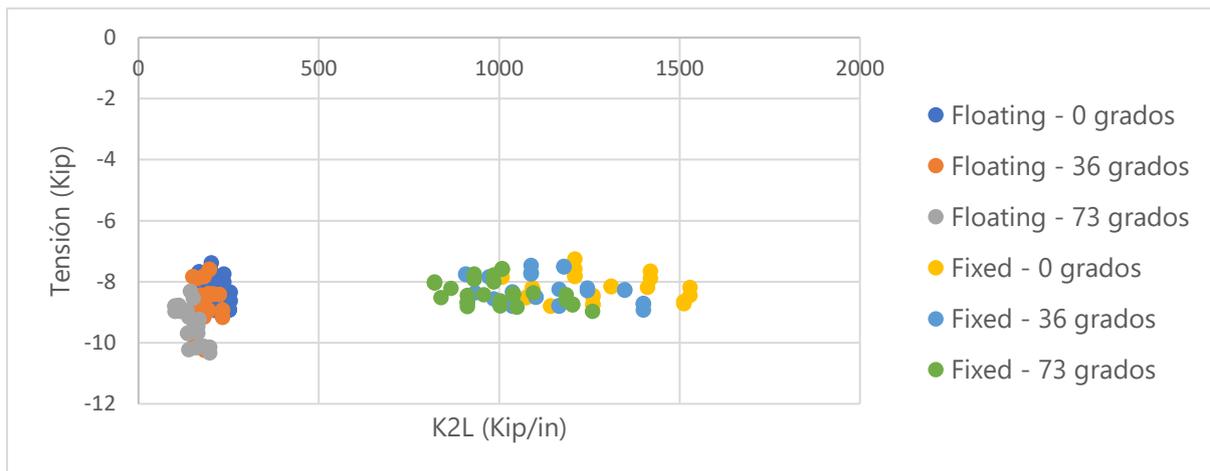


Ilustración 32 Rigidez del cojinete vs fuerza de tensión en la losa de enlace

La ilustración 32 muestra la relación entre la fuerza de tensión desarrollada en la losa (T1BF) y la rigidez del cojinete ubicado debajo de la losa de enlace (K2L) en un modelo de puente de dos tramos. Como se puede observar, los valores con mayor fuerza de tensión corresponden a los casos en los que la rigidez en los cojinetes de neopreno es menor. El cambio en la rigidez de los cojinetes se debe a las diferentes temperaturas presentes en los modelos. Fue necesario realizar una comparación entre los resultados obtenidos de fuerza de tensión y los resultados para las cargas consideradas en el estudio antecedente con el fin analizar las diferencias entre los comportamientos de las cargas.

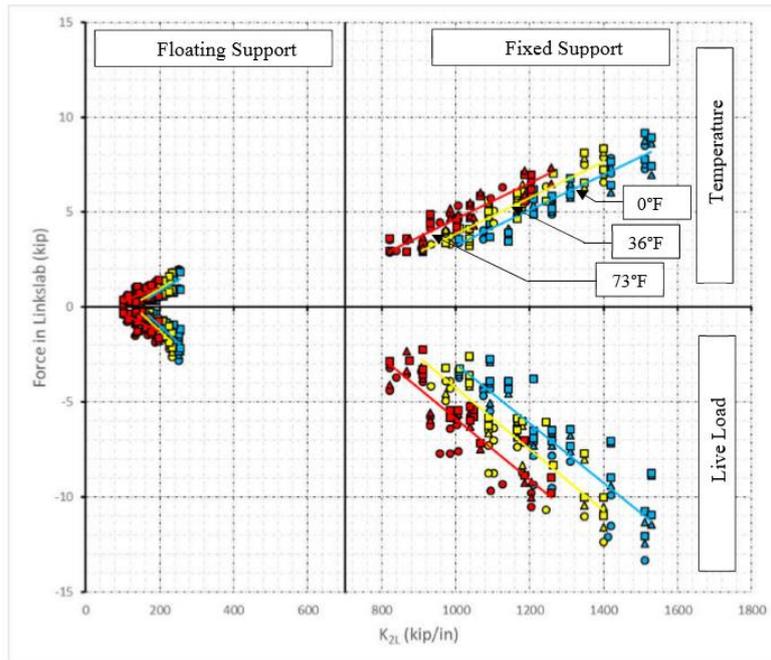
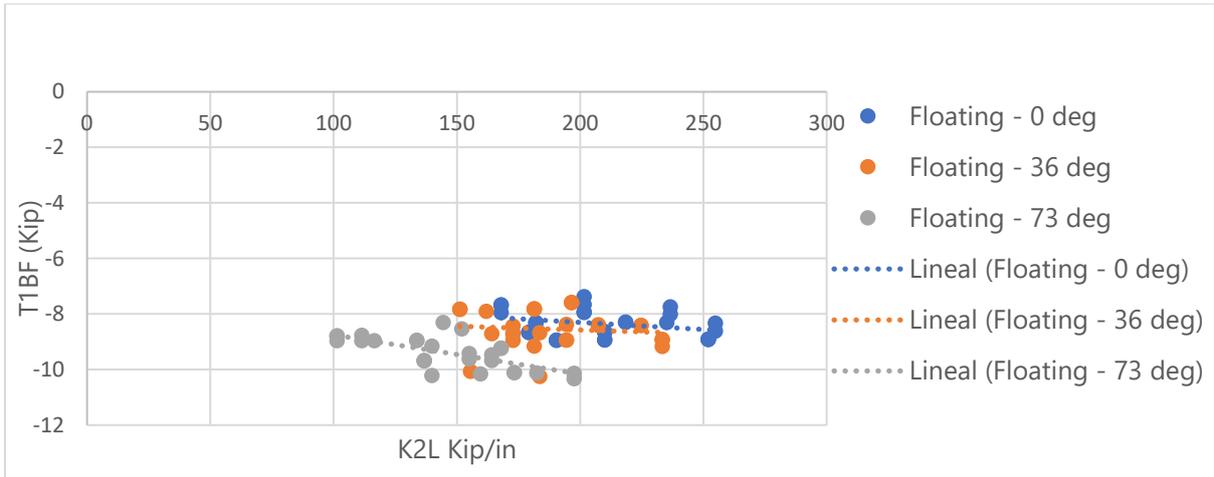


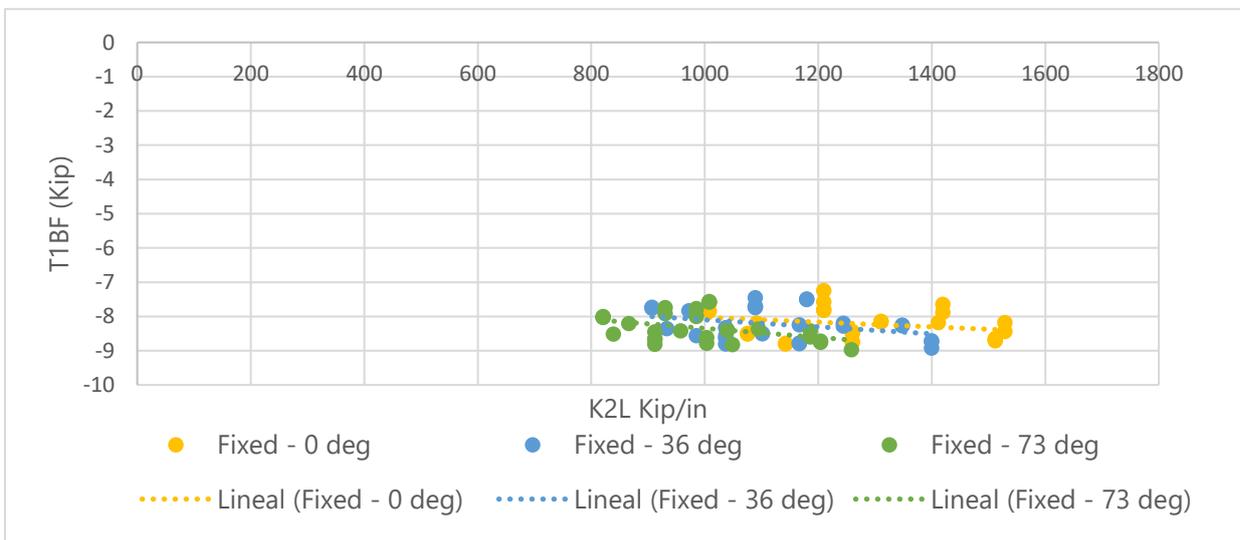
Ilustración 33 Resultados obtenidos en el estudio antecedente de K_{2L} vs Fuerza en la losa de enlace

Fuente: (Canales, 2019)

La ilustración 33 corresponde a los resultados del análisis de cargas obtenidos en el estudio antecedente. Al analizar los datos, se dedujo que la relación entre el K_{2L} y T1BF es proporcional. Es decir, los incrementos en las fuerzas dentro de la losa de enlace producto de las cargas externas (temperatura y carga viva) producirán incrementos en la rigidez de los cojinetes de neopreno. Una vez establecida esta declaración, se realizó una comparación con los gráficos de fuerza de frenado. Para que esta comparación sea más clara, se separó el gráfico mostrado en la ilustración 25 con respecto a los dos tipos de apoyos analizados.



**Ilustración 34 Rigidez en los cojinetes de neopreno vs Tensión en la losa de enlace
– Floating**



**Ilustración 35 Rigidez en los cojinetes de neopreno vs Tensión en la losa de enlace
– Fixed**

Al observar las líneas de tendencias de las ilustraciones 34 y 35, se observó que los modelos que poseen apoyos más rígidos ocasionan una menor fuerza de tensión en la losa. Por lo tanto, la rigidez en los cojinetes de neopreno es inversamente proporcional a las fuerzas en la losa de enlace causadas por la carga de frenado.

5.4.1.2 Excentricidad vs tensión

La excentricidad entre la fuerza de frenado y el centroide de la sección compuesta otra de las variables que se comparó con la tensión en la losa de enlace.

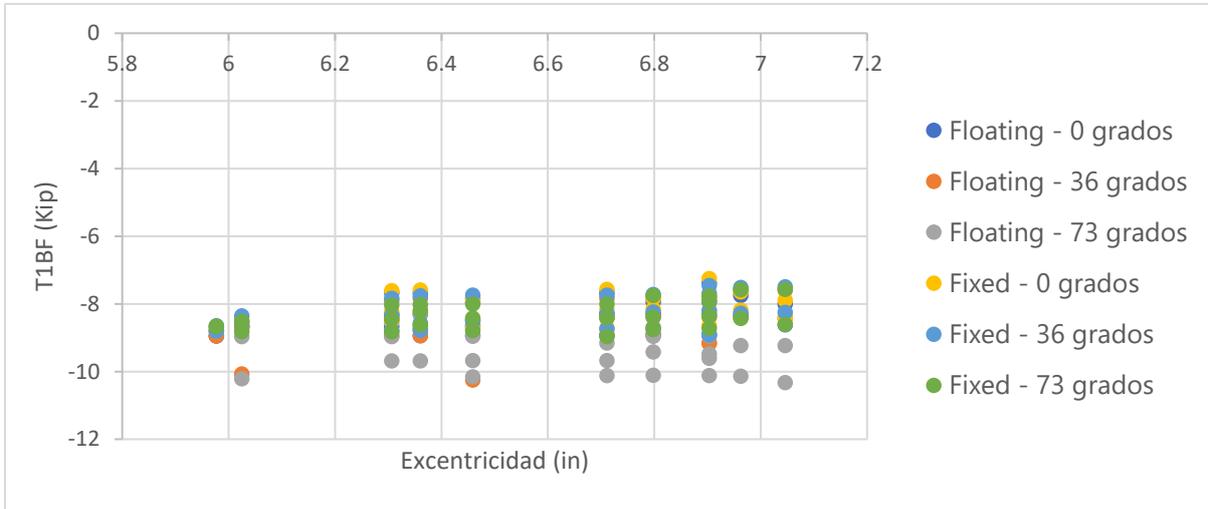


Ilustración 36 Excentricidad vs tensión en la losa de enlace

Tras analizar la ilustración 36, se dedujo que a medida que se incrementa la excentricidad la tensión no aumenta en una escala tan crítica. Por lo tanto, la excentricidad no es un parámetro clave para determinar una incidencia entre ambas variables.

5.4.2 ANÁLISIS DE TEMPERATURA VS TENSIÓN

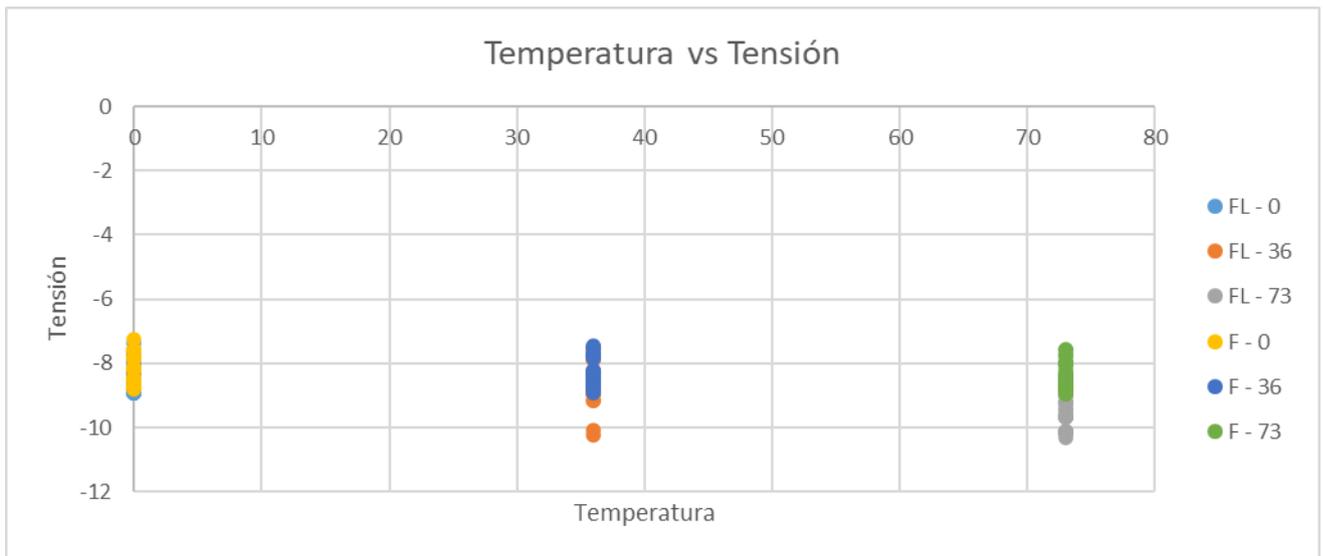


Ilustración 37 Temperatura vs tensión en la losa de enlace

Los datos obtenidos de la ilustración 37, a diferencia de los otros parámetros, si muestran un aumento en la fuerza de tensión en la losa de enlace al aumentar la temperatura. Pero no es

una afectación lo suficientemente significativa para establecer una relación proporcional entre la temperatura y T1BF.

5.4.3 RESULTADOS DE 3SPAN

Primeramente, se definió cuál de las fuerzas de frenado fue la más crítica para modelos de tres tramos.

5.4.3.1 Tensión en la losa de enlace 3span

Se determinó que la fuerza de frenado 4 fue la más crítica para los modelos de tres tramos debido a que existen dos fuerzas de frenado simultaneas causando fuerzas de tensión en la losa 1, ver ilustración 38.

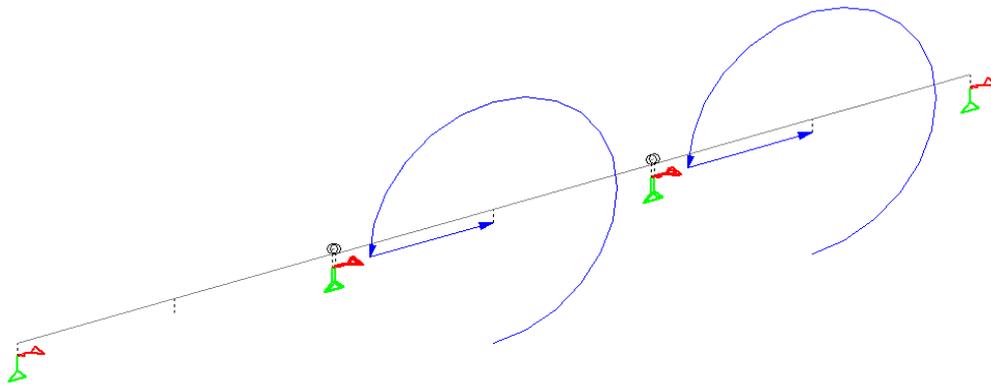


Ilustración 38 Braking force 4

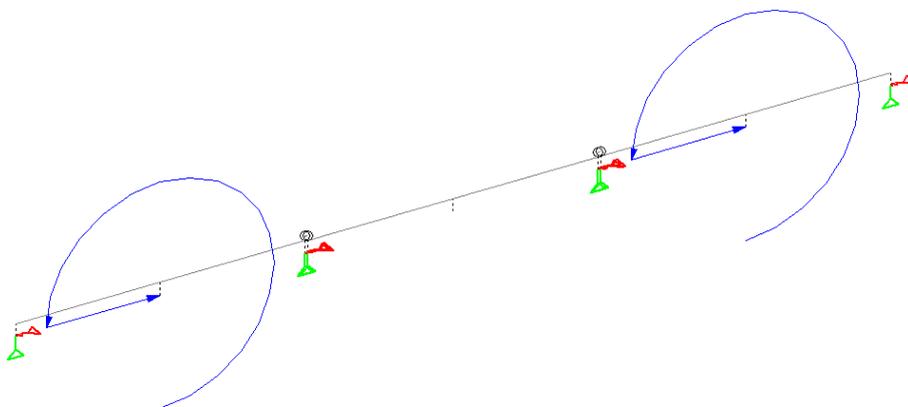


Ilustración 39 Braking force 3

La ilustración 39 muestra una fuerza de frenado causando compresión en la losa 1 y tensión en la losa 2. Este caso no es el más crítico ya que solo causa tensión en una de las losas.

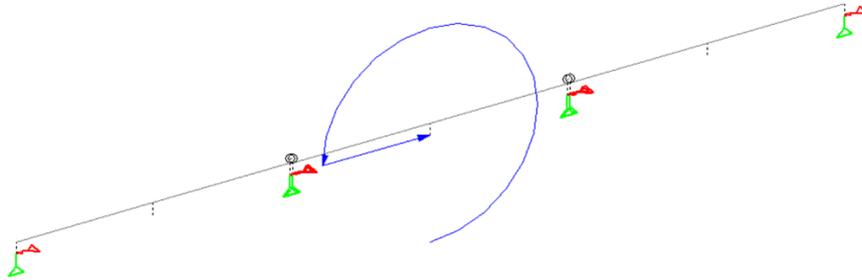


Ilustración 40 Braking force 6

En la ilustración 40 se puede observar que solo existe una fuerza de frenado que actúa simultáneamente en ambas losas, ocasionando tensión en la losa 1 mientras ocasiona compresión en la losa 2. Este caso es inferior al de la fuerza de frenado 4

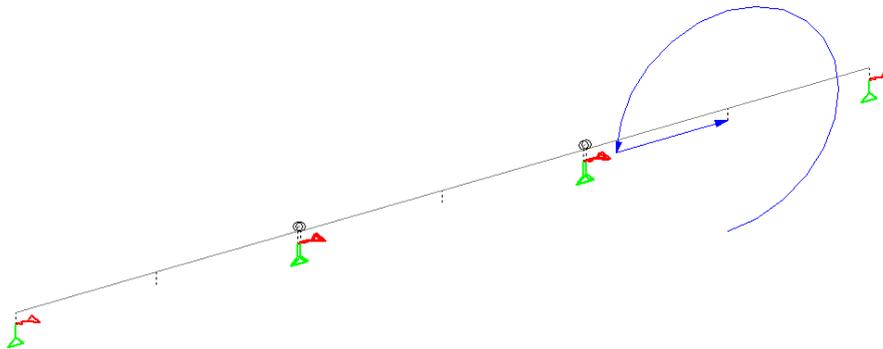


Ilustración 41 Braking force 7

La ilustración 41 muestra una fuerza de frenado actuando principalmente en la losa 2 y en la losa con menor magnitud. A pesar de causar tensión en ambas losas no se consideró como el caso más crítico ya que la fuerza de tensión causado por la braking force 4 sobre la losa 1 tiene mayor magnitud que este.

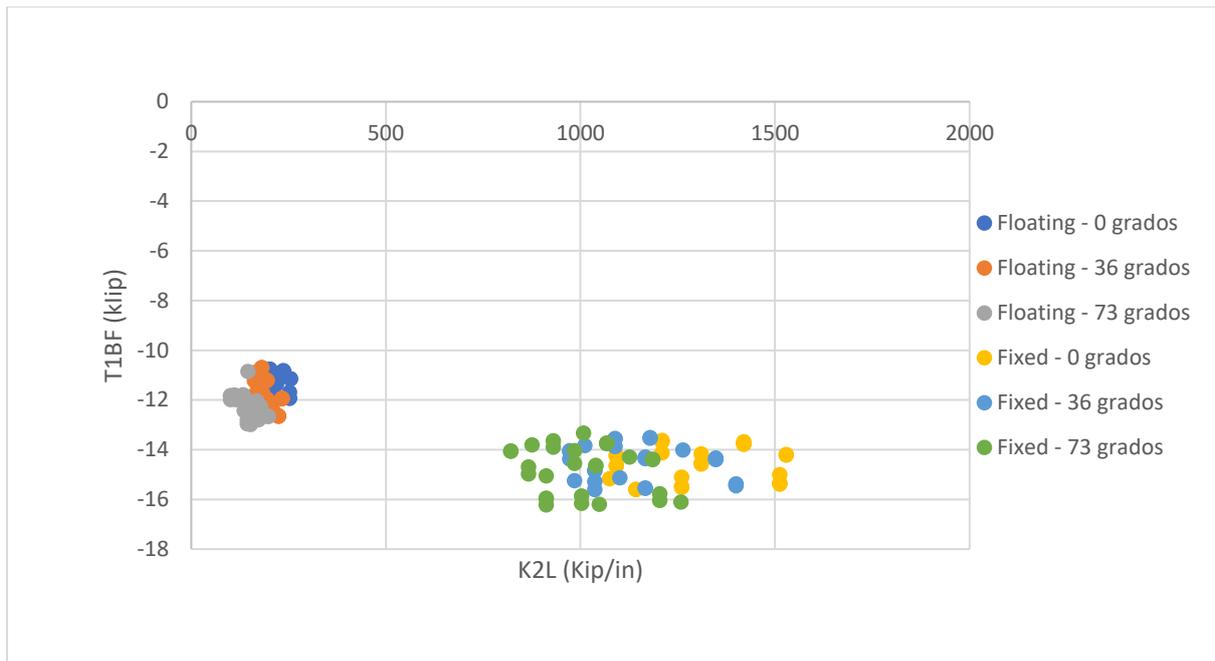


Ilustración 42 Rigidez del cojinete vs fuerza de tensión en la losa de enlace

Igualmente, se realizaron los gráficos K2L vs T1BF para analizar la relación entre estas variables. Se descubrió que la relación sigue siendo la misma. La única diferencia es el aumento en la tensión en la primera losa de enlace debido a cargas de frenado consecutivas, la ilustración 42 muestra esta relación.

5.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 4 Resultados de modelos de dos tramos

Resultados 2Span			
Apoyo	Combinación	T1BF (Kip)	K2L (Kip/in)
Fixed	F_73_8_3	-8.98	1258.56
	F_0_8_6	-8.18	1528.80
Floating	FL_73_7_6	-10.33	197.60
	FL_0_7_6	-8.61	254.80

En la tabla 5 se puede apreciar la relación entre el K2L y el T1BF. La tabla se divide en dos categorías principales que les corresponden a las configuraciones de apoyos, Fixed y Floating. Dentro de estas categorías se muestran dos resultados diferentes, la primera fila corresponde al modelo que posee la mayor tensión en la losa de enlace para esa configuración de apoyos y el segundo corresponde al modelo en el que se presentó la mayor rigidez en los apoyos. Evidentemente, se puede observar la relación inversamente proporcional entre las variables mencionada previamente.

Tabla 5 Resultados de modelos de tres tramos

Resultados 3span			
Apoyo	Combinación	T1BF (Kip)	K2L (Kip/in)
Fixed	F_73_6_10	-16.22	912.00
	F_0_7_15	-14.19	1528.80
Floating	FL_73_8_13	-12.99	152.00
	FL_0_7_15	-14.19	254.80

En la tabla 6 se puede apreciar la relación entre el K2L y el T1BF tal y como se realizó para 2span. El comportamiento de los resultados no varía salvo por el aumento en la tensión debido a dos fuerzas de tensión actuando simultáneamente en el sistema.

Para explicar este hecho, en la ilustración 43 se muestra un diagrama de una viga con apoyos y losa de enlace modelados como resortes equivalentes



Ilustración 43 Modelación de elementos como resortes equivalentes

Al asignarle valores a los elementos, en la ilustración 44 la flecha roja corresponde a la fuerza de frenado, las flechas verdes corresponden a la rigidez en los apoyos y la flecha azul corresponde a la fuerza de tensión en la losa de enlace. El tamaño de las flechas es proporcional al valor de cada uno de los parámetros mencionados.



Ilustración 44 Representación de los valores de fuerza de frenado, fuerza de tensión en la losa y rigidez en los apoyos

Al aplicar la fuerza de frenado al sistema, los apoyos aportan muy poco a la resistencia debido a su bajo valor de rigidez. Mientras la losa de enlace resiste la mayor parte de la fuerza, por ende, produciendo mayor fuerza de tensión en la losa.

VI. CONCLUSIONES

Se realizó un énfasis en la rigidez de los apoyos porque en el estudio paramétrico realizado en el estudio antecedente se había determinado que la rigidez de los apoyos tenía mayor incidencia en la fuerza de tensión en la losa de enlace. Para la fuerza de frenado la relación entre la tensión en la losa de enlace y la rigidez en los apoyos es inversamente proporcional y es menos incidente al compararla con las cargas críticas del estudio antecedente (gradiente de temperatura y carga viva). Sin embargo, esto no significa que se pueda omitir la carga de frenado. Al no ser una carga crítica, la losa de enlace tiene un buen desempeño ante la fuerza de frenado.

La fuerza de tensión más crítica para un puente de dos tramos fue de -10.33 Kips y -16.22 kips para un puente de tres tramos.

El comportamiento de la losa de enlace cuando es sometida a fuerza de frenado es inverso a las cargas consideradas en el estudio antecedente. Al ser expuesta a la carga de frenado, la losa de enlace experimentó un aumento en la fuerza de tensión al tener apoyos con menor rigidez. En cambio, al ser expuesta a gradiente de temperatura y carga viva, la losa de enlace experimentó mayor tensión cuando los apoyos eran más rígidos

Al realizar la comparación entre las fuerzas de tensión presentes en las dos configuraciones de apoyos, se logró determinar que la configuración de apoyos más benefactoría para puentes de dos tramos que poseen este sistema constructivo es la condición Fixed y la condición de apoyos Floating para puentes de tres tramos. Esto se debe a que estas configuraciones brindan menor tensión en la losa de enlace mientras los apoyos resisten una mayor parte de la fuerza de frenado.

VII. RECOMENDACIONES

Es necesario calcular la fuerza de frenado ya que en el manual AASHTO LRFD no se considera el efecto de la fuerza de frenado para tramos contiguos, lo que significa que el manual no considera los efectos de fuerzas de frenado presentes en más de un tramo actuando simultáneamente. Es posible tener este caso, lo que ocasionaría mayor tensión en las losas de enlace.

Seguir los criterios de Caner y Zia en su trabajo "Behavior and Design of Link Slabs for Jointless Bridge Decks" para el diseño de losas de enlace.

Sería conveniente para la investigación analizar puentes que contengan múltiples tipos de continuidad con el fin de concluir si fuese factible construir un puente con varios tramos únicamente con losas de enlace o si deben de ser apoyadas por otros sistemas constructivos.

VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

Hablando en términos de fuerza de frenado, las losas de enlace se desempeñan mejor en puentes donde la cantidad de tramos sea menor ya que un aumento en los tramos aumenta la probabilidad de tener múltiples cargas de frenado simultáneamente lo cual aumentaría la tensión en la losa de enlace.

A diferencia del análisis, la construcción de losas de enlace es simple. Lo que significa que pueden ser implementadas sin un aumento en costos de construcción y elimina la necesidad de dar mantenimiento a elementos como juntas de expansión.

IX. EVOLUCIÓN DEL TRABAJO ACTUAL/TRABAJO FUTURO

Para la presente investigación se realizaron 324 modelos de puentes con losa de enlace en el programa estructural STAA.Pro, se recomienda crear otros 324 modelos que tengan las mismas condiciones que los creados en la investigación sin losa de enlace para poder realizar una comparación entre el desempeño del sistema constructivo estudiado y otros sistemas más convencionales.

Se pueden considerar la inclusión de las deformaciones de carga viva y muerta a largo plazo ya que la carga muerta instantánea no genera ningún efecto en la losa de enlace.

La comparación principal del estudio fue entre la fuerza de tensión producida en la losa debido a la fuerza de frenado y la rigidez en los apoyos, es posible hacer comparaciones entre la fuerza de tensión en la losa y otras variables de los modelos (tales como la excentricidad y temperatura) y comparar los resultados con modelos de puentes sin los de enlace. Dichas comparaciones con los parámetros mencionados no son de importancia para el análisis realizado

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. (2012). AASHTO LRFD Bridge (pp. 3-34:3-32). Washington, D.C.
2. American Society of Civil Engineers & American Society of Civil Engineers. (2013a). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers.
3. Anupoju, S. (2017, 6 abril). Types of Supports and Reactions and Their Applications in Structures. The Constructor. <https://theconstructor.org/structural-engg/types-of-supports-reactions-uses-structures/16974/>
4. Au, A., Lam, C., Au, J., & Tharmabala, B. (2013). Eliminating Deck Joints Using Debonded Link Slabs: Research and Field Tests in Ontario. American Society of Civil Engineers.
5. Bridge definición y significado | Diccionario Inglés Collins. (2020, 5 julio). Collins Dictionaries. <https://www.collinsdictionary.com/es/diccionario/ingles/bridge>
6. Canales, M. (2019). Performance Study of Link Slab Continuity in Prestressed Concrete Bridges (Doctorado). Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
7. Caner, A., Dogan, E., & Zia, P. (2002). Seismic Performance of Multi-Span Bridges Retrofitted with Link Slabs.
8. Chang, L., & Lee, Y. (2002). Evaluation of Performance of Bridge Deck Expansion Joints.

9. Cristian-Claudiu, C. (2005). "Integral Abutment and Jointless Bridges." Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy: Constructions, Architecture Section, Vol LI (LV), Iss 1-2, Pp 107-118 (2005) (1-2), 107.
10. Definición de viga simplemente apoyada | Diccionario de arquitectura y construcción. (s. f.). Diccionario de Arquitectura y Construcción | Definiciones y traducciones. Recuperado 1 de julio de 2020, de <https://www.parro.com.ar/definicion-de-viga+simplemente+apoyada#:~:text=Definici%C3%B3n%20de%20viga%20simplemente%20apoyada%20y%20conceptos%20relacionados&text=Tambi%C3%A9n%20llamada%20viga%20simplemente%20apoyada,Tambi%C3%A9n%20llamada%20viga%20simple>.
11. El-Safty, A., and Okeil, A. (2008). "Extending the service life of bridges using continuous decks." PCI JOURNAL, 53(6), 96-111.
12. Ghadir, Haikal, Ramirez, J. A., Jahanshahi, Mohammad R. , Villamizar, S., & Abdelaleim , O. (2019, octubre). Link Slab Details and Materials. docs.lib.purdue.edu. <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3230&context=jtrp>
13. Hossain, T. (2012). GLOBAL AND LOCAL PERFORMANCE OF PRESTRESSED GIRDER BRIDGES WITH POSITIVE MOMENT CONTINUITY DETAIL (Doctor of Philosophy). Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
14. Juntas de Dilatación (Obra Civil). (2020). Retrieved 15 May 2020, from [https://www.construmatica.com/construpedia/Juntas_de_Dilatación_\(Obra_Civil\)#Junta_de_Expansi%C3%B3n](https://www.construmatica.com/construpedia/Juntas_de_Dilatación_(Obra_Civil)#Junta_de_Expansi%C3%B3n).

15. Krzysztofik, A. (2019). The Elastomeric Bearing Pad and Its Role in Bridge Design. Retrieved 20 May 2020, from <https://www.simscale.com/blog/2015/07/elastomeric-bearing-pads-and-their-role-in-bridge-safety/>.

16. Liang, Z. (2020, 17 junio). Las secciones compuestas. Software de Análisis Estructural Nube SkyCiv. <https://skyciv.com/es/docs/skyciv-section-builder/built-up-and-composite-sections/composite-sections/#:%7E:text=y%20secciones%20compuestas-,Las%20secciones%20compuestas,tal%20como%20con%20vigas%20laminadas.>

17. Luebkehan, C. H., & Peting, D. (1995). Support and Connection Types. http://web.mit.edu/4.441/1_lectures/1_lecture13/1_lecture13.html#:~:text=Fixed%20supports%20can%20resist%20vertical,of%20equilibrium%20can%20be%20satisfied.
http://web.mit.edu/4.441/1_lectures/1_lecture13/1_lecture13.html#:~:text=Fixed%20supports%20can%20resist%20vertical,of%20equilibrium%20can%20be%20satisfied.

18. Mothe, R. (2006). Louisiana State University LSU Digital Commons - LSU Master's Theses. Retrieved 15 May 2020, from https://digitalcommons.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1817&context=gradschool_theses.

19. Okeil, A., Hossain, T., & Cai, C. (2013). Field monitoring of positive moment continuity detail in a skewed prestressed concrete bulb-tee girder bridge.

20. Okeil, A. M., & ElSafty, A. (2005, noviembre). Partial Continuity in Bridge Girders with Jointless Deck. ASCE.

21. Paul, A., & Zia, C. (1998). Behavior and Design of Link Slabs for Jointless Bridge Decks. Retrieved 15 May 2020, from <https://pdfs.semanticscholar.org/434d/3dfef4f72527f31d032e5c4a13cc66db7c0b.pdf>.

22. Sevgili, G., and Caner, A. (2009). "Improved Seismic Response of Multisimple-Span Skewed Bridges Retrofitted with Link Slabs." *JOURNAL OF BRIDGE ENGINEERING*, 14(6), 452-459.

23. THIPPESWAMY, H., & GANGARAO, H. Analysis of In-Service Jointless Bridge.

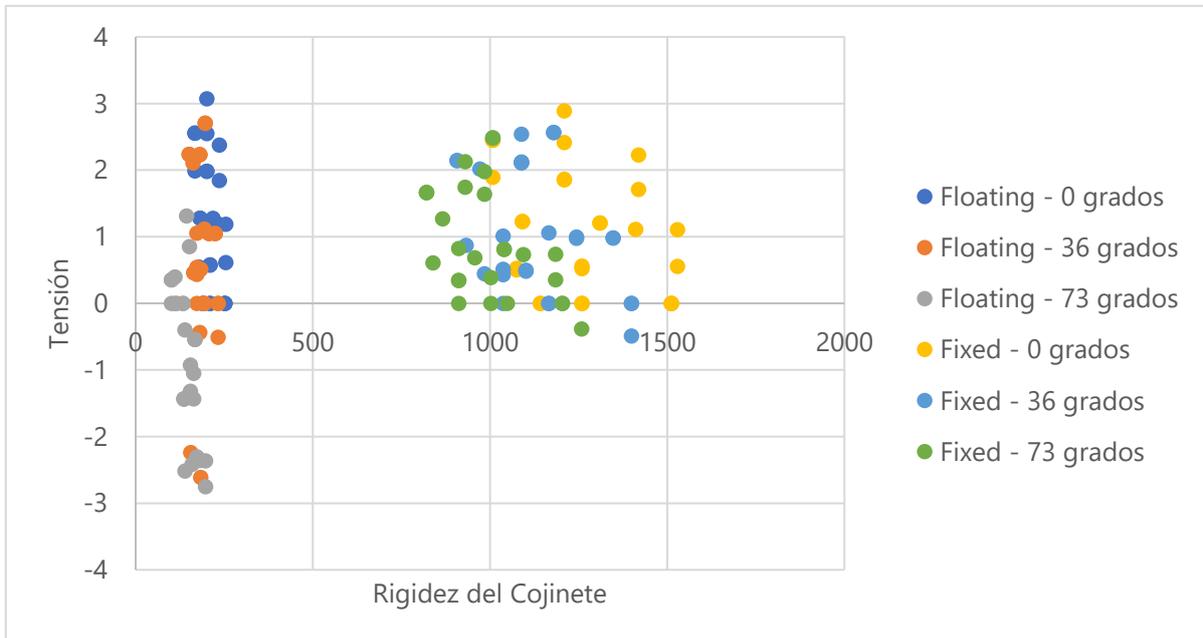
24. Thippeswamy, H., GangaRao, H. V. S., & Franco, J. M. (2002). *Performance Evaluation of Jointless Bridges* . J. Bridge Eng.

25. Vedantu. (2020, junio 2). *Compressive Stress*. Vedantu Learn LIVE Online. <https://www.vedantu.com/physics/compressive-stress>.

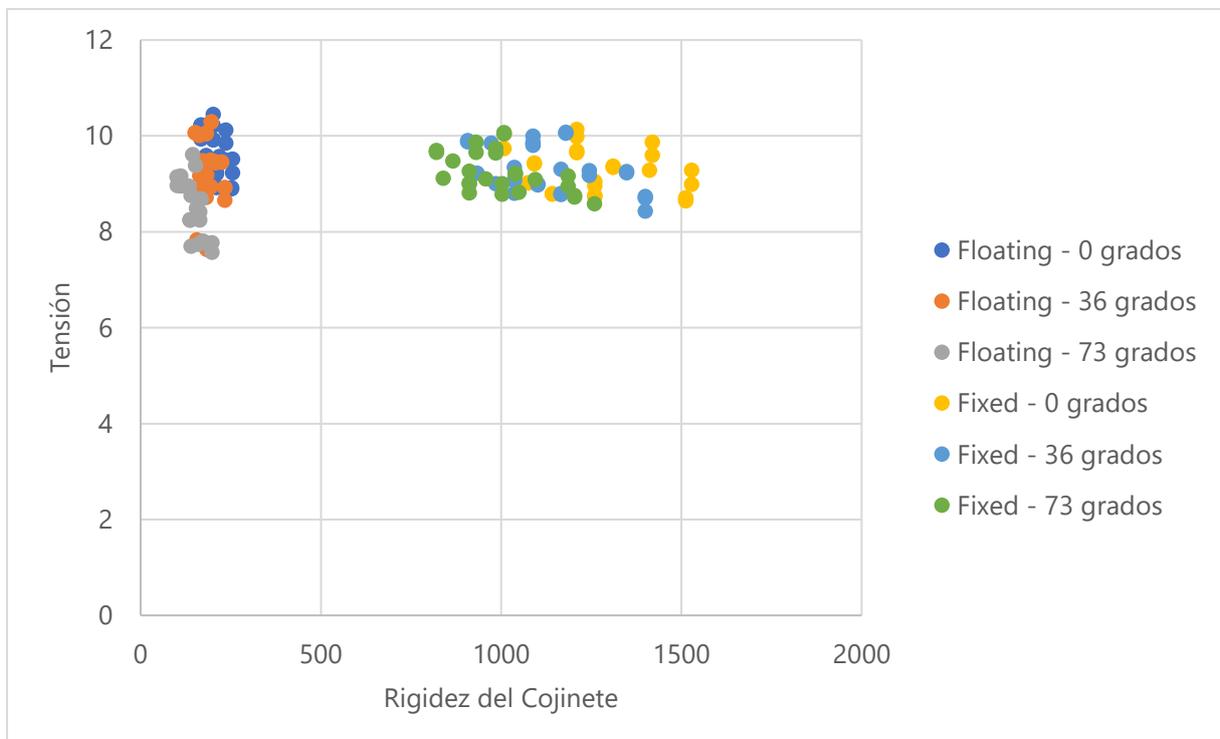
26. Vedantu. (2020, 29 mayo). Tension Force - What is Tension Force | Definition and Examples. Vedantu Learn Live Online. <https://www.vedantu.com/physics/tension-force>.

ANEXOS

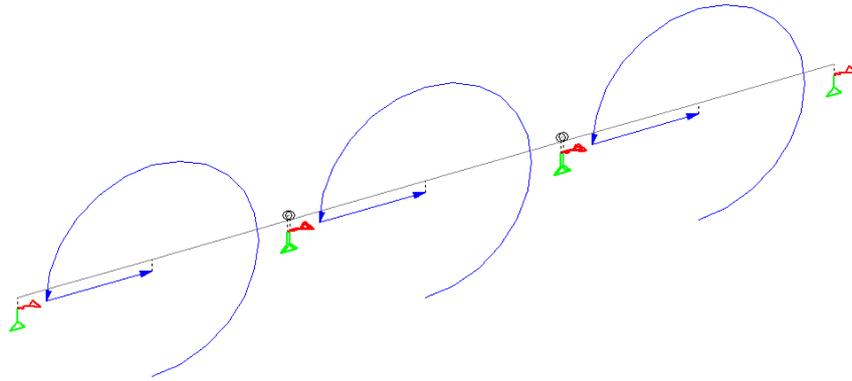
Anexo 1 - Braking Force 1 Rigidez del Cojinete vrs Fuerza de Tensión



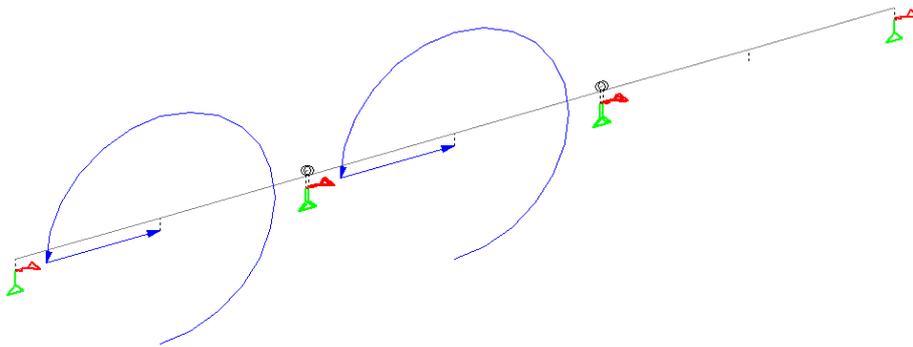
Anexo 2 - Braking Force 2 Rigidez del Cojinete vrs. Fuerza de Tensión



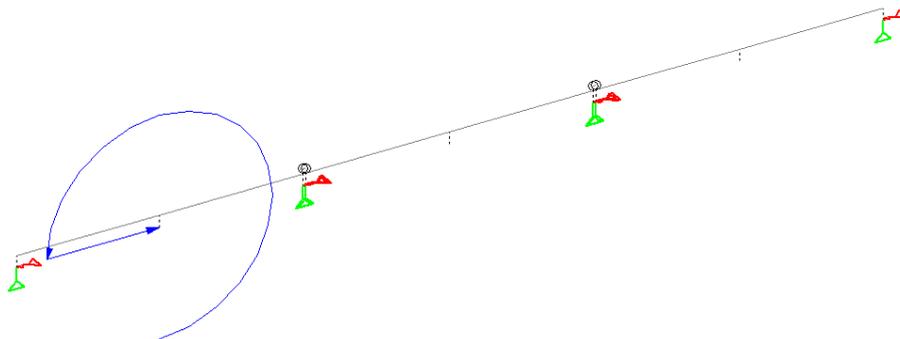
Anexo 3 Fuerza de frenado 1 - 3span



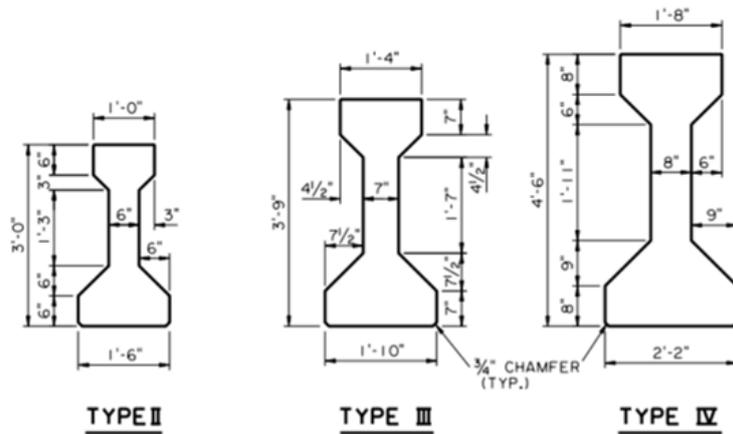
Anexo 4 Fuerza de frenado 2 - 3span



Anexo 5 Fuerza de frenado 5 - 3span

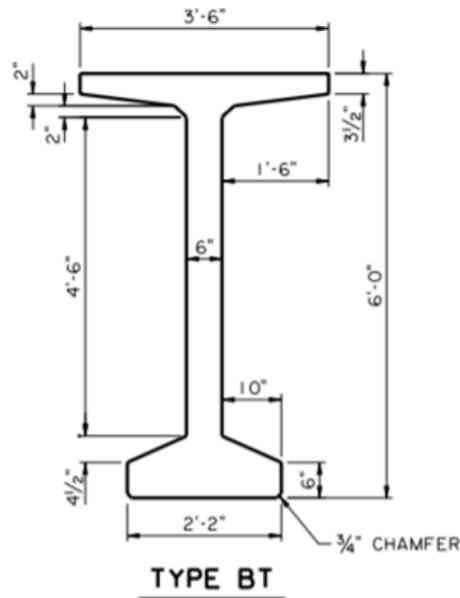


Anexo 6 Propiedades de las secciones transversales de las vigas



BEAM PROPERTIES							
 2" DIA. OPEN HOLE AT END AND INTERMEDIATE DIAPHRAGMS					 C.G.		
BEAM TYPE	AREA (in. ²)	"x" * (in.)	\bar{Y} (in.)	MOMENT OF INERTIA (in. ⁴)	WEIGHT (lbs./ft.)	BOTTOM SECT. MOD. (in. ³)	TOP SECT. MOD. (in. ³)
I	276	12.5	12.59	22,750	288	1,805	1,307
II	369	16.5	15.83	50,980	384	3,220	2,527
III	559	21.0	20.27	125,390	583	6,186	5,070
IV	789	25.5	24.73	260,730	822	10,543	8,908

Anexo 7 Propiedades de las secciones transversal de las vigas



BEAM PROPERTIES							
 2" DIA. OPEN HOLE AT END AND INTERMEDIATE DIAPHRAGMS					 C.G.		
BEAM TYPE	AREA (in. ²)	"x" * (in.)	\bar{Y} (in.)	MOMENT OF INERTIA (in. ⁴)	WEIGHT (lbs./ft.)	BOTTOM SECT. MOD. (in. ³)	TOP SECT. MOD. (in. ³)
IV-MOD	909	31.5	28.99	369,320	947	12,740	11,910
BT	766	34.5	36.63	545,113	798	14,881	15,412
QUAD	323	9.0	9.02	8,705	337	966	969

Anexo 8 Resultados breaking force 3 2span

Braking Force 3			
Modelo	T1BF	(+)MTG	(-)MTG
FL_0_6_1	-8.662373509	-0.49958225	-2.221219823
FL_0_6_2	-8.922784894	-0.746531235	-2.921448774
FL_0_6_3	-8.900081571	-0.981089198	-3.550974435
FL_0_6_4	-8.662631451	-0.499679462	-2.221369112
FL_0_6_5	-8.62786878	-0.721913238	-2.824945323
FL_0_6_6	-8.308084393	-0.916166533	-3.31511366
FL_0_6_7	-7.948124959	-0.665524371	-2.602869516
FL_0_6_8	-7.932886527	-0.875381881	-3.165990033
FL_0_6_9	-7.378628277	-0.814158469	-2.94472577
FL_0_7_1	-8.93889636	-0.48983938	-2.266435419
FL_0_7_2	-8.932562446	-0.694588068	-2.87188903
FL_0_7_3	-8.912123283	-0.926339911	-3.499702202
FL_0_7_4	-8.30765449	-0.646352834	-2.671333465
FL_0_7_5	-8.291708371	-0.862449252	-3.256667725
FL_0_7_6	-8.614749002	-1.023937862	-3.899095636
FL_0_7_7	-7.669992725	-0.596875546	-2.466426808
FL_0_7_8	-7.941718292	-0.826305592	-3.119465551
FL_0_7_9	-8.007059239	-0.952186942	-3.624528979
FL_0_8_1	-8.943914107	-0.490125808	-2.267719134
FL_0_8_2	-8.665329923	-0.645822509	-2.757985551
FL_0_8_3	-8.920758835	-0.880981102	-3.456836179
FL_0_8_4	-8.312546573	-0.619863511	-2.646035854
FL_0_8_5	-8.298500849	-0.820080571	-3.216259769
FL_0_8_6	-8.332804956	-0.948579694	-3.729639138
FL_0_8_7	-7.674534271	-0.572412914	-2.443070828
FL_0_8_8	-7.662931282	-0.757504006	-2.970163991
FL_0_8_9	-7.745142089	-0.882117264	-3.467044276
FL_36_6_1	-8.709731255	-0.502361463	-2.233411213
FL_36_6_2	-8.675376441	-0.725956203	-2.840568633
FL_36_6_3	-9.164542869	-1.010375961	-3.656624466
FL_36_6_4	-10.06974581	-0.580918939	-2.582270182
FL_36_6_5	-10.24418969	-0.857294428	-3.35430213
FL_36_6_6	-8.389338389	-0.925282734	-3.347691734
FL_36_6_7	-7.828455213	-0.655541076	-2.563717501
FL_36_6_8	-7.814793095	-0.862415402	-3.118925679
FL_36_6_9	-9.154225181	-1.010162442	-3.653431235
FL_36_7_1	-8.944513768	-0.490200452	-2.267913557
FL_36_7_2	-8.93754051	-0.69504288	-2.873557252
FL_36_7_3	-8.91859168	-0.927132361	-3.502362505
FL_36_7_4	-8.679992945	-0.675347961	-2.79108527
FL_36_7_5	-8.379102273	-0.871639231	-3.291092821

Anexo 9 Resultados breaking force 3 2span

Braking Force 3			
Modelo	T1BF	(+)MTG	(-)MTG
FL_36_7_6	-8.40481933	-0.999146273	-3.804239576
FL_36_7_7	-7.834879517	-0.609740474	-2.519482702
FL_36_7_8	-7.82274521	-0.81398748	-3.072792648
FL_36_7_9	-7.585883728	-0.902232276	-3.434007919
FL_36_8_1	-8.729595009	-0.478432628	-2.213429867
FL_36_8_2	-8.943384995	-0.666609323	-2.846548021
FL_36_8_3	-8.926596706	-0.88166766	-3.459209186
FL_36_8_4	-8.428135541	-0.628506674	-2.68285392
FL_36_8_5	-8.414737979	-0.831609706	-3.261352982
FL_36_8_6	-8.411162063	-0.957650761	-3.764861023
FL_36_8_7	-7.902504464	-0.589427567	-2.515653255
FL_36_8_8	-7.828426553	-0.773918897	-3.03436538
FL_36_8_9	-7.591132961	-0.864699877	-3.398227935
FL_73_6_1	-8.963180405	-0.517185381	-2.298608154
FL_73_6_2	-8.958868141	-0.75003346	-2.933746055
FL_73_6_3	-8.946696356	-0.987059039	-3.570403757
FL_73_6_4	-10.21495624	-0.589345979	-2.619557815
FL_73_6_5	-10.15477634	-0.849937585	-3.325150769
FL_73_6_6	-10.1176018	-1.116067654	-4.037509485
FL_73_6_7	-9.677307701	-0.810400195	-3.16923187
FL_73_6_8	-9.61066602	-1.060708191	-3.835773492
FL_73_6_9	-9.470393968	-1.045125675	-3.779687544
FL_73_7_1	-8.790910293	-0.481996479	-2.229181635
FL_73_7_2	-8.764168081	-0.681916695	-2.81817175
FL_73_7_3	-8.95314932	-0.931363674	-3.516571906
FL_73_7_4	-8.302171565	-0.646029084	-2.669672186
FL_73_7_5	-10.10644635	-1.05143402	-3.969654845
FL_73_7_6	-10.32667166	-1.227789078	-4.674298249
FL_73_7_7	-9.683011089	-0.753605122	-3.113826404
FL_73_7_8	-9.418064772	-0.980080627	-3.699532151
FL_73_7_9	-9.227482969	-1.097590486	-4.177246975
FL_73_8_1	-8.793595538	-0.482150108	-2.229868193
FL_73_8_2	-8.965991314	-0.668613447	-2.854062833
FL_73_8_3	-9.155814723	-0.904874351	-3.548602295
FL_73_8_4	-8.533997663	-0.636456335	-2.716607214
FL_73_8_5	-10.11168015	-0.999474362	-3.919206308
FL_73_8_6	-10.13591569	-1.154185927	-4.537029241
FL_73_8_7	-9.68668401	-0.722563341	-3.083680359
FL_73_8_8	-9.67661765	-0.956689927	-3.750798308

Anexo 10 Resultados breaking force 3 2span

Braking Force 3			
Modelo	T1BF	(+)MTG	(-)MTG
FL_73_7_9	-9.470393968	-1.045125675	-3.779687544
FL_73_8_1	-8.790910293	-0.481996479	-2.229181635
FL_73_8_2	-8.965991314	-0.668613447	-2.854062833
FL_73_8_3	-9.155814723	-0.904874351	-3.548602295
FL_73_8_4	-8.533997663	-0.636456335	-2.716607214
FL_73_8_5	-10.11168015	-0.999474362	-3.919206308
FL_73_8_6	-10.13591569	-1.154185927	-4.537029241
FL_73_8_7	-9.68668401	-0.722563341	-3.083680359
FL_73_8_8	-9.67661765	-0.956689927	-3.750798308
FL_73_8_9	-9.231984832	-1.05171524	-4.132873302
FL_73_7_9	-9.227482969	-1.097590486	-4.177246975
FL_73_8_1	-8.793595538	-0.482150108	-2.229868193
F_0_6_2	-8.72964792	-2.060518454	-4.581191132
F_0_6_3	-8.64185057	-2.039795869	-4.535117122
F_0_6_4	-8.512846403	-1.341635271	-3.033554704
F_0_6_5	-8.436334575	-1.660758741	-3.717104035
F_0_6_6	-8.17743116	-1.933094736	-4.29431591
F_0_6_7	-7.843616482	-1.54930031	-3.461171648
F_0_6_8	-7.796373377	-1.848156875	-4.099347414
F_0_6_9	-7.247961816	-1.717614571	-3.810453314
F_0_7_1	-8.782188761	-1.375214104	-3.120664206
F_0_7_2	-8.757781256	-1.708512256	-3.843210188
F_0_7_3	-8.683824599	-2.033955355	-4.541396825
F_0_7_4	-8.19352499	-1.602752862	-3.599913586
F_0_7_5	-8.139983245	-1.912285355	-4.262692594
F_0_7_6	-8.437278159	-2.285334416	-5.101261617
F_0_7_7	-7.587151392	-1.485778535	-3.335136668
F_0_7_8	-7.826501907	-1.84115416	-4.101044279
F_0_7_9	-7.88487621	-2.14016175	-4.771725211
F_0_8_1	-8.799058621	-1.37835873	-3.127162635
F_0_8_2	-8.493423576	-1.649181868	-3.719443192
F_0_8_3	-8.714184616	-2.028033253	-4.544241135
F_0_8_4	-8.210357371	-1.598507661	-3.599772108
F_0_8_5	-8.163654402	-1.905668883	-4.262912188
F_0_8_6	-8.178687802	-2.203460459	-4.933083627
F_0_8_7	-7.60229282	-1.481749457	-3.334799031
F_0_8_8	-7.568484755	-1.76918191	-3.954571407
F_0_8_9	-7.644079455	-2.063770707	-4.614969596
F_36_6_1	-8.559377411	-1.348443562	-3.049611995

Anexo 11 Resultados breaking force 3 2span

Braking Force 3			
Modelo	T1BF	(+)MTG	(-)MTG
F_36_6_2	-8.502680835	-1.67454718	-3.747064337
F_36_6_3	-8.920622148	-2.106753037	-4.682569055
F_36_6_4	-8.353394034	-1.317447783	-2.977675331
F_36_6_5	-8.491609162	-1.672895449	-3.742714981
F_36_6_6	-8.198990278	-1.939546296	-4.306991622
F_36_6_7	-7.73570405	-1.528385905	-3.413953664
F_36_6_8	-7.693505148	-1.824344346	-4.045832369
F_36_6_9	-7.455060738	-1.767302773	-3.919939736
F_36_7_1	-8.80168875	-1.379112988	-3.128439407
F_36_7_2	-8.775127318	-1.712714927	-3.851641567
F_36_7_3	-8.706206045	-2.040334006	-4.554238318
F_36_7_4	-8.567393461	-1.676204987	-3.764496479
F_36_7_5	-8.24209308	-1.937240121	-4.317132019
F_36_7_6	-8.250997597	-2.236368358	-4.990124332
F_36_7_7	-7.757858418	-1.519613417	-3.410581633
F_36_7_8	-7.72069931	-1.816843421	-4.046183894
F_36_7_9	-7.491591525	-2.034640177	-4.534946133
F_36_8_1	-8.646083467	-1.355180681	-3.073580757
F_36_8_2	-8.795652461	-1.708679773	-3.852608477
F_36_8_3	-8.734482683	-2.033904145	-4.555972505
F_36_8_4	-8.329669966	-1.622045046	-3.652391417
F_36_8_5	-8.284671179	-1.934367168	-4.326553743
F_36_8_6	-8.273079213	-2.23039331	-4.991519146
F_36_8_7	-7.829599418	-1.526197774	-3.434652814
F_36_8_8	-7.740225755	-1.809911011	-4.044889763
F_36_8_9	-7.509565908	-2.0286903	-4.534994739
F_73_6_1	-8.811486144	-1.496938786	-3.24821291
F_73_6_2	-8.786979431	-1.853881082	-3.995695431
F_73_6_3	-8.723261095	-2.19827352	-4.717101779
F_73_6_4	-8.510050927	-1.342791396	-3.034155334
F_73_6_5	-8.421706828	-1.660259663	-3.713040239
F_73_6_6	-8.36068035	-1.979036816	-4.393170669
F_73_6_7	-7.998842567	-1.580730938	-3.530438461
F_73_6_8	-7.914446968	-1.877508735	-4.162793677
F_73_6_9	-7.768279724	-1.842100238	-4.085178808
F_73_7_1	-8.657858418	-1.46595863	-3.18669873
F_73_7_2	-8.616148945	-1.807570119	-3.907745742
F_73_7_3	-8.755942591	-2.195384944	-4.723649682
F_73_7_4	-8.211038603	-1.607429439	-3.608859667

Anexo 12 Resultados breaking force 3 2span

Braking Force 3			
Modelo	T1BF	(+)MTG	(-)MTG
F_73_7_5	-8.393088472	-1.9735973	-4.397088648
F_73_7_6	-8.6020459	-2.332910867	-5.203828648
F_73_7_7	-8.018990718	-1.57112347	-3.525741921
F_73_7_8	-7.744169845	-1.823126596	-4.059244113
F_73_7_9	-7.564077691	-2.055212605	-4.579709521
F_73_8_1	-8.670744505	-1.468452284	-3.191753739
F_73_8_2	-8.823327234	-1.845070403	-3.995745773
F_73_8_3	-8.967014264	-2.238465353	-4.827677493
F_73_8_4	-8.446083467	-1.645419254	-3.704141028
F_73_8_5	-8.412105646	-1.9655322	-4.394515142
F_73_8_6	-8.425452501	-2.272846183	-5.084826763
F_73_8_7	-8.031420446	-1.566162202	-3.523810706
F_73_8_8	-8.00406755	-1.872123033	-4.183285384
F_73_8_9	-7.579516744	-2.048479826	-4.578130699

Anexo 13 Resultados breaking force 4 3span

Braking Force 3				
Modelo	T1BF	T2BF	(+)MTG	(-)MTG
FL_0_6_10	-5321.47	-2815.18	-779.53	-3465.938
FL_0_6_11	-5422.12	-2695.94	-1152.3	-4509.269
FL_0_6_12	-5408.43	-2682.72	-1514.29	-5480.974
FL_0_6_13	-5163.37	-2959.81	-1097.94	-4294.712
FL_0_6_14	-5154.02	-2948.78	-1444.19	-5224.27
FL_0_6_15	-4911.45	-3182.31	-1557.74	-5721.303
FL_0_6_16	-5041.2	-3076.66	-1072.09	-4193.219
FL_0_6_17	-4880.1	-3224.25	-1367.79	-4946.979
FL_0_6_18	-4914.16	-3180.37	-1559.1	-5724.957
FL_0_7_10	-5433.92	-2706.22	-756.343	-3499.522
FL_0_7_11	-5426.17	-2699.81	-1071.71	-4431.185
FL_0_7_12	-5413.77	-2687.76	-1429.31	-5399.905
FL_0_7_13	-5166.41	-2963.2	-1020.97	-4219.62
FL_0_7_14	-5157.95	-2953.06	-1362.8	-5145.766
FL_0_7_15	-5055.82	-3041.21	-1526.4	-5812.338
FL_0_7_16	-5044.28	-3080.46	-996.948	-4119.984
FL_0_7_17	-4883.56	-3228.52	-1290.63	-4872.354
FL_0_7_18	-4917.71	-3184.53	-1485.31	-5654.173
FL_0_8_10	-5434.92	-2707.49	-756.499	-3500.18
FL_0_8_11	-5310.82	-2819.93	-1005.39	-4293.451
FL_0_8_12	-5300.08	-2809.07	-1329.45	-5216.661
FL_0_8_13	-5045.58	-3087.95	-955.695	-4079.537
FL_0_8_14	-5038.35	-3078.68	-1264.73	-4959.981
FL_0_8_15	-5058.94	-3044.6	-1462.78	-5751.363
FL_0_8_16	-5012.77	-3112.96	-1258.8	-4935.288
FL_0_8_17	-4886.09	-3231.66	-1226.81	-4810.386
FL_0_8_18	-4920.37	-3187.67	-1423.28	-5594.399
FL_36_6_10	-5339.5	-2799.47	-782.246	-3477.76
FL_36_6_11	-5320.55	-2803.32	-1130.91	-4424.99
FL_36_6_12	-5410.97	-2685.56	-1515.21	-5483.744
FL_36_6_13	-5090.63	-3037.08	-1082.57	-4234.302
FL_36_6_14	-5082.38	-3027.14	-1424.27	-5151.812
FL_36_6_15	-5733.37	-2363.91	-1818.55	-6678.869
FL_36_6_16	-4987.43	-3135.53	-1060.74	-4148.579
FL_36_6_17	-5600.13	-2510.19	-1569.72	-5676.995
FL_36_6_18	-5508.02	-2598.25	-1747.79	-6417.08
FL_36_7_10	-5434.76	-2707.62	-756.543	-3500.146
FL_36_7_11	-5427.41	-2701.41	-1072.06	-4432.307
FL_36_7_12	-5415.91	-2690.24	-1430.06	-5402.231

Anexo 14 Resultados breaking force 4 3span

Braking Force 3				
Modelo	T1BF	T2BF	(+)MTG	(-)MTG
FL_36_7_13	-5214.52	-2916.85	-1030.52	-4258.954
FL_36_7_14	-5085.85	-3030.99	-1343.9	-5073.99
FL_36_7_15	-5737.25	-2367.68	-1732.4	-6596.016
FL_36_7_16	-4990.16	-3138.93	-986.323	-4075.855
FL_36_7_17	-4850.56	-3266.73	-1282	-4839.524
FL_36_7_18	-5511.16	-2601.54	-1664.81	-6336.756
FL_36_8_10	-5346.8	-2797.64	-744.314	-3443.512
FL_36_8_11	-5429.64	-2703.6	-1027.99	-4389.612
FL_36_8_12	-5419.54	-2693.68	-1359.59	-5334.416
FL_36_8_13	-5216.23	-2918.86	-988.057	-4217.557
FL_36_8_14	-5088.4	-3033.82	-1277.43	-5009.383
FL_36_8_15	-5740.17	-2370.52	-1660.01	-6526.095
FL_36_8_16	-4927.45	-3204.64	-1237.49	-4851.401
FL_36_8_17	-4852.83	-3269.57	-1218.55	-4777.73
FL_36_8_18	-5633.13	-2481.07	-1629.62	-6404.969
FL_73_6_10	-5436.81	-2711.95	-796.818	-3541.453
FL_73_6_11	-5431.9	-2707.89	-1155.12	-4518.148
FL_73_6_12	-5424.55	-2700.78	-1520.09	-5498.589
FL_73_6_13	-5876.88	-2254.81	-1249.87	-4888.39
FL_73_6_14	-5780.55	-2337.47	-1620.15	-5859.754
FL_73_6_15	-5720.53	-2387.71	-1814.83	-6664.268
FL_73_6_16	-5639.7	-2489.71	-1199.57	-4691.249
FL_73_6_17	-5608.62	-2509.54	-1572.25	-5685.758
FL_73_6_18	-5459.6	-2655.09	-1732.63	-6360.868
FL_73_7_10	-5366.74	-2784.81	-747.407	-3456.673
FL_73_7_11	-5353.05	-2790.97	-1057.93	-4372.134
FL_73_7_12	-5346.45	-2784.46	-1412.69	-5333.914
FL_73_7_13	-5806.05	-2330.75	-1147.56	-4742.223
FL_73_7_14	-5798.76	-2323.23	-1532.42	-5785.38
FL_73_7_15	-5740.35	-2371.7	-1733.59	-6599.822
FL_73_7_16	-5642.17	-2492.41	-1115.3	-4608.509
FL_73_7_17	-5536.82	-2587.31	-1463.52	-5524.36
FL_73_7_18	-5562.77	-2554.84	-1680.53	-6396.221
FL_73_8_10	-5367.27	-2785.5	-747.489	-3457.019
FL_73_8_11	-5435	-2710.76	-1029.49	-4394.438
FL_73_8_12	-5428.91	-2704.76	-1362.79	-5344.485
FL_73_8_13	-5891.65	-2246.98	-1116.09	-4763.754
FL_73_8_14	-5801.17	-2325.62	-1456.5	-5711.226
FL_73_8_15	-5742.92	-2374.21	-1661.04	-6529.454

Anexo 15 Resultados breaking force 4 3span

Braking Force 3				
Modelo	T1BF	T2BF	(+)MTG	(-)MTG
FL_73_8_16	-4921.55	-3214.87	-1236.09	-4845.676
FL_73_8_17	-5638.19	-2488.21	-1415.83	-5551.02
FL_73_8_18	-5564.9	-2557.09	-1610.09	-6327.596
F_0_6_10	-6880.32	-6108.25	-2751.72	-6225.079
F_0_6_11	-7022.25	-6033.97	-3510.02	-7857.675
F_0_6_12	-6959.5	-5999.43	-4172.46	-9276.726
F_0_6_13	-6634.82	-6179.09	-3325.17	-7432.952
F_0_6_14	-6597.4	-6154.71	-3968.13	-8806.828
F_0_6_15	-6203.43	-6255.04	-4297.09	-9555.892
F_0_6_16	-6451.73	-6230.3	-3235.2	-7229.625
F_0_6_17	-6181	-6290.33	-3721.68	-8254.986
F_0_6_18	-6229.9	-6258.54	-4320.94	-9602.18
F_0_7_10	-7071.58	-6056.36	-2812.68	-6382.587
F_0_7_11	-7040.04	-6042.88	-3488.47	-7847.13
F_0_7_12	-6982.42	-6010.84	-4154.06	-9275.142
F_0_7_13	-6647.41	-6185.95	-3302.81	-7418.388
F_0_7_14	-6613.46	-6163.3	-3947.42	-8797.898
F_0_7_15	-6436.85	-6187.96	-4428.81	-9885.484
F_0_7_16	-6463.99	-6237.46	-3213.48	-7215.503
F_0_7_17	-6194.51	-6298.09	-3701.4	-8244.601
F_0_7_18	-6243.69	-6266.15	-4303.17	-9596.1
F_0_8_10	-7076.97	-6061.16	-2815.85	-6388.483
F_0_8_11	-6854.51	-6107.12	-3380.64	-7624.445
F_0_8_12	-6804.71	-6077.94	-4022.47	-9013.207
F_0_8_13	-6455.98	-6248.96	-3192.66	-7189.715
F_0_8_14	-6427.91	-6228.15	-3812.31	-8526.701
F_0_8_15	-6449.44	-6194.56	-4413.77	-9881.113
F_0_8_16	-6406.8	-6259.91	-3806.44	-8505.345
F_0_8_17	-6204.42	-6303.8	-3683.83	-8234.311
F_0_8_18	-6254.08	-6271.88	-4287.39	-9589.124
F_36_6_10	-6914.84	-6105.59	-2767	-6257.779
F_36_6_11	-6863.02	-6096.8	-3433.16	-7682.233
F_36_6_12	-6972.55	-6008.41	-4182.58	-9296.425
F_36_6_13	-6520.28	-6222.59	-3269.1	-7305.967
F_36_6_14	-6487.56	-6200.95	-3903.87	-8662.01
F_36_6_15	-6503.29	-6173.45	-4505.96	-10018.963
F_36_6_16	-6367.4	-6265.03	-3194.02	-7136.239
F_36_6_17	-6290.35	-6269.91	-3788.72	-8402.218
F_36_6_18	-6130.38	-6310.6	-4254.67	-9451.541

Anexo 16 Resultados breaking force 4 3span

Braking Force 3				
Modelo	T1BF	T2BF	(+)MTG	(-)MTG
F_36_7_10	-7078.09	-6062.48	-2817	-6390.193
F_36_7_11	-7047.52	-6048.77	-3493.84	-7857.135
F_36_7_12	-6993.9	-6019.01	-4163.21	-9292.706
F_36_7_13	-6727.58	-6166.38	-3343.28	-7508.496
F_36_7_14	-6501.76	-6208.56	-3882.57	-8651.125
F_36_7_15	-6518.15	-6181.11	-4487.7	-10013.303
F_36_7_16	-6378.24	-6271.38	-3171.97	-7120.899
F_36_7_17	-6144.25	-6322.52	-3672.53	-8178.875
F_36_7_18	-6141.75	-6316.79	-4235.7	-9442.212
F_36_8_10	-6934.06	-6110.73	-2760.59	-6261.074
F_36_8_11	-7057.49	-6054.28	-3482.41	-7851.879
F_36_8_12	-7009.68	-6026.84	-4145.97	-9287.039
F_36_8_13	-6734.59	-6170.82	-3331.07	-7500.623
F_36_8_14	-6512.2	-6214.15	-3864.14	-8640.347
F_36_8_15	-6529.4	-6186.89	-4471.46	-10006.59
F_36_8_16	-6272.38	-6311.3	-3728.16	-8328.486
F_36_8_17	-6153.14	-6327.64	-3654.56	-8167.43
F_36_8_18	-6358.64	-6253.68	-4360.95	-9751.326
F_73_6_10	-7357.72	-6632.95	-3174.93	-6889.285
F_73_6_11	-7328.73	-6624.03	-3927.42	-8464.823
F_73_6_12	-7279.89	-6602.78	-4659.75	-9998.997
F_73_6_13	-6792.15	-6152.06	-3406.63	-7611.815
F_73_6_14	-6600.36	-6185.57	-3974.06	-8814.932
F_73_6_15	-6485.88	-6200.31	-4497.48	-9995.718
F_73_6_16	-6371.5	-6277.01	-3197.47	-7142.231
F_73_6_17	-6306.04	-6279.38	-3799.73	-8424.735
F_73_6_18	-6047.63	-6349.84	-4199.18	-9325.908
F_73_7_10	-7237.24	-6663.97	-3112.58	-6766.115
F_73_7_11	-7195.95	-6659.78	-3834.48	-8289.672
F_73_7_12	-7152.1	-6640.28	-4554.88	-9800.411
F_73_7_13	-6665.33	-6197.59	-3314.29	-7440.965
F_73_7_14	-6639.15	-6179.52	-3966.26	-8835.575
F_73_7_15	-6527.07	-6192.91	-4496.5	-10029.656
F_73_7_16	-6380.66	-6282.3	-3174.59	-7125.012
F_73_7_17	-6185.84	-6323.75	-3698.94	-8235.785
F_73_7_18	-6230.56	-6299.39	-4298.27	-9580.07
F_73_8_10	-7241.13	-6667.01	-3114.91	-6770.416
F_73_8_11	-7347.58	-6630.86	-3902.67	-8451.743
F_73_8_12	-7306.03	-6611.79	-4632.54	-9990.963

Anexo 17 Resultados breaking force 4 3span

Braking Force 3				
Modelo	T1BF	T2BF	(+)MTG	(-)MTG
F_73_8_13	-6827.77	-6152.45	-3378.6	-7605.841
F_73_8_14	-6648.61	-6184.49	-3946.73	-8822.98
F_73_8_15	-6529.4	-6186.89	-4471.46	-10006.59
F_73_8_16	-6264.18	-6321.86	-3724.36	-8318.671
F_73_8_17	-6368.19	-6272.88	-3783.33	-8453.915
F_73_8_18	-6238.42	-6303.64	-4280.83	-9569.291

Anexo 18 Acta de asesoramiento técnico 1

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

EFEECTO DE LA FUERZA DE FRENADO EN LOSAS DE ENLACE EN PUENTES PRESFORZADOS

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Óscar David Maradiaga Alvarenga	11341088

ASESORAMIENTO		Nº: 1
ASESOR: Dr. Marco Tulio Canales Chávez		
RECOMENDACIONES DEL ASESOR		
1.	Se definieron las variables del proyecto	
2.	Se estableció la metodología para obtener resultados	
3.	Se aconsejó no realizar encuestas	
4.	Se explicó de manera general cómo se generan los modelos	
5.	Se explicó la hoja de datos	
6.	Realizó una explicación de la hoja de cálculo	
7.	Explicación general sobre la generación de gráficos	
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: 18/05/2020

Anexo 19 Acta de asesoramiento 2

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

EFFECTO DE LA FUERZA DE FRENADO EN LOSAS DE ENLACE EN PUENTES
PRESFORZADOS

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Óscar David Maradiaga Alvarenga	11341088

ASESORAMIENTO	Nº: <u>2</u>
ASESOR: Dr. Marco Tulio Canales Chávez	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1.	Explicación de cómo actúa la fuerza de frenado
2.	Aclaración de dudas sobre como realizar los archivos de texto
3.	Introducción al programa Notepad++
4.	Explicación de elementos teóricos
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
Fecha: <u>25/05/2020</u>	

Anexo 20 Acta de asesoramiento 3

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

EFECTO DE LA FUERZA DE FRENADO EN LOSAS DE ENLACE EN PUENTES PRESFORZADOS

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Óscar David Maradiaga Alvarenga	11341088

ASESORAMIENTO	Nº: <u>3</u>
ASESOR: Dr. Marco Tulio Canales Chávez	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1.	Explicación detallada de cómo generar archivos de texto
2.	Explicación de como cambiar archivos de texto a STAAD
3.	Explicación detallada de cómo utilizar Notepad++
4.	Explicación del orden de creación de las carpetas que contengan modelos.
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
Fecha: <u>27/05/2020</u>	

Anexo 21 Acta de asesoramiento 4

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

EFFECTO DE LA FUERZA DE FRENADO EN LOSAS DE ENLACE EN PUENTES PRESFORZADOS

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Óscar David Maradiaga Alvarenga	11341088

ASESORAMIENTO	Nº: <u>4</u>
ASESOR: Dr. Marco Tulio Canales Chávez	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1.	Explicación de cómo extraer datos de modelos 2span.
2.	Aclaración sobre los datos necesarios de STAAD que se deben extraer
3.	Explicación de cómo programar una hoja de Excel para extraer datos
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: <u>09/06/2020</u>

Anexo 22 Acta de asesoramiento 5

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

EFFECTO DE LA FUERZA DE FRENADO EN LOSAS DE ENLACE EN PUENTES
PRESFORZADOS

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Óscar David Maradiaga Alvarenga	11341088

ASESORAMIENTO	Nº: 5
ASESOR: Dr. Marco Tulio Canales Chávez	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1.	Explicación del modelo de rigidez equivalente
2.	Análisis de datos de resultados 2span
3.	Explicación de cómo calcular el KEQ
4.	Establecimiento de las conclusiones de 2span
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: 16/06/2020

Anexo 23 Acta de asesoramiento 6

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

EFECTO DE LA FUERZA DE FRENADO EN LOSAS DE ENLACE EN PUENTES PRESFORZADOS

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Óscar David Maradiaga Alvarenga	11341088

ASESORAMIENTO	Nº: <u>6</u>
ASESOR: Dr. Marco Tulio Canales Chávez	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1.	<u>Se establecieron las conclusiones</u>
2.	<u>Explicación de términos</u>
3.	<u>Diseñar esquemas que representen las cargas</u>
4.	<u>Explicación de la relevancia de las distintas fuerzas de frenado</u>
5.	<u>Explicación de cómo extraer los datos de 3span</u>
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
Fecha: <u>20/06/2020</u>	

Anexo 24 Acta de asesoramiento 7

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

EFECTO DE LA FUERZA DE FRENADO EN LOSAS DE ENLACE EN PUENTES PRESFORZADOS

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Óscar David Maradiaga Alvarenga	11341088

ASESORAMIENTO	Nº: <u>7</u>
ASESOR: Dr. Marco Tulio Canales Chávez	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1.	Análisis de datos de 3span
2.	Ajuste de conclusiones para 3span
3.	Se aconsejó incluir planos
4.	Sesión de preguntas variadas
5.	Se enseñó a utilizar una hoja de cálculos para extraer propiedades de las secciones transversales
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
Fecha: <u>30/06/2020</u>	