



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PUENTES
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PSV “JUAN PABLO II” Y
PROPUESTA DE REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CARBONO

TESINA
PARA OPTAR POR LA
ESPECIALIZACIÓN EN PUENTES

PRESENTA EL ALUMNO
ALFONSO FERNANDO RAMIREZ ABASCAL

TUTOR PRINCIPAL

ESP. EN PUENTES ING. ALFREDO P. MORALES, FES ARAGÓN

COTUTOR(ES):

ING. LUIS LUNA ROSAS, FES ARAGÓN

Nezahualcóyotl, Estado de México, junio, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

CAPITULO 1.- INFORMACIÓN GENERAL

- 1.1.- Objetivo
- 1.2.- Alcances
- 1.3.- Resumen
- 1.4.- Introducción
- 1.5.- Descripción de la Estructura
- 1.6.- Plan de trabajo para definir situación estructural

CAPITULO 2.- ESTUDIOS DE INGENIERIA

- 2.1.- Procedimiento de Inspección
- 2.2.- Daños en la Estructura
- 2.3.- Datos de Topografía
- 2.4.- Resistencia de materiales
- 2.5.- Conclusiones Generales de los Estudios de Ingeniería

CAPITULO 3.- ANALISIS ESTRUCTURAL

- 3.1.- Determinación de cargas para Proyecto (2003)
- 3.2.- Definición de cargas en condiciones de servicio (2017)
- 3.3.- Evaluación del comportamiento considerando la reducción de la resistencia del Concreto.
- 3.4.- Conclusiones de análisis de cargas.

CAPITULO 4.- EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

- 4.1.- Factor de reducción de resistencia
- 4.2.- Calculo del Momento y Cortante reducidos.
- 4.3.- Diferencias entre elementos mecánicos de Servicio vs Resistencia
- 4.4.- Conclusiones de la Evaluación Estructural

CAPITULO 5.- PROPUESTA DE REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CARBONO

- 5.1.- Técnicas para el reforzamiento de puentes
- 5.2.- Análisis y Revisión de elemento a Reforzar

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

- A.1.- Planos
- A.2.- Reporte Fotográfico
- A.3.- Resultados de Pruebas con Esclerómetro
- A.4.- Resultados de Extracción de Corazones
- A.5.- Reporte de Inspección

CAPITULO 1: INFORMACIÓN GENERAL

1.1.- Objetivo

En este proyecto se analiza la situación estructural de un puente que se ubica entre Ecatepec y Coacalco en el Estado de México.

El interés surge de los daños que se observan en la estructura y su importancia ya que forma parte del acceso a la zona industrial, entonces la falla de una estructura podría además de poner en riesgo a la población, ocasionar problemas económicos importantes.

La finalidad de este trabajo es analizar el funcionamiento estructural y proponer una alternativa de reforzamiento para los daños encontrados en los diferentes elementos de la estructura empleando fibra de carbono.

Analizar el origen de los daños y de acuerdo a la tipología de la estructura justificar la factibilidad del uso de la fibra de carbono en comparación con otras técnicas empleadas para reforzamiento.

Para el análisis se considera la normativa vigente que emite la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, además de las normas AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials) para realizar la revisión estructural y se establece una metodología para realizar el análisis estructural del reforzamiento de estructuras que sea aplicable en un procedimiento constructivo global.

1.2.- Alcances

- Tomando como referencia los estudios de inspección, levantamiento de daños y pruebas de resistencia de materiales se identifican los daños en la estructura en general, para tener un panorama más amplio del estado físico y de funcionamiento actual.
- Se revisa la estructura aplicando los conocimientos adquiridos en la especialidad, partiendo de la información obtenida de los estudios que se realizaron en los elementos estructurales del puente.
- Se verifica que el PSV Juan Pablo II cumpla con lo que marca la normativa AASHTO y se desarrolla una alternativa de solución al problema estructural detectado.

1.3.- Resumen

En este trabajo se aborda el problema de la evaluación estructural de puentes de concreto que están en operación y presentan deficiencias que se manifiestan en agrietamientos y deformaciones ocasionadas por la combinación de sobrecargas y deficiencias en los procedimientos constructivos, para finalmente proponer una alternativa para reforzar la estructura.

Dicha alternativa de solución es el empleo de fibras de carbono, que es uno de los muchos materiales empleados para el refuerzo estructural en puentes pero que en nuestro país no es muy utilizado, por lo que se presenta un ejemplo práctico de aplicación.

1.4.- Introducción

La conservación de puentes en México actualmente es un área de aplicación muy importante que requiere de amplio conocimiento y para esto es vital entender la patología que se presentan en cada una de las estructuras.

Particularmente, este trabajo se desarrolló tomando como objeto de estudio al Paso Superior Vehicular Juan Pablo II, que presenta deficiencias en algunos de sus elementos identificados visualmente, por lo que cumple con las características necesarias para aplicar lo aprendido en el curso de la especialidad de Puentes.

Definida la problemática encontrada en campo y más detalladamente con pruebas de laboratorio de muestras obtenidas de los elementos dañados, se desarrolla el análisis estructural que muestran tanto las deficiencias de diseño como las de construcción.

Concluida la parte del análisis se propone una solución, considerando tanto las ventajas y desventajas de la alternativa, y que satisfaga los requerimientos técnico-económicos en particular para esta estructura.

En los Anexos se presentan tanto las pruebas realizadas en los elementos del puente afectados, el resumen de la inspección para localizar los daños en campo y planos que complementan el trabajo realizado en gabinete.

Existen diversos estudios y procedimientos que se pueden hacer en campo como en laboratorio, pero como en todas las áreas de la ingeniería es importante saber identificar cuales se pueden efectuar de acuerdo a las características de los elementos del puente, a las condiciones del sitio y costos de cierto tipo de pruebas que se deben justificar según la gravedad de los daños encontrados en el puente.

Es necesario identificar los problemas que se presentan en la estructura, para esto debemos realizar una serie de inspecciones con un criterio muy amplio que ayuden a localizar todo tipo de desperfectos y así asociar de manera muy general las posibles causas que están provocando estos daños, posteriormente podemos plantearnos que estudios debemos realizar específicamente y así descartar otras posibilidades que por la ejecución de estas sería difícil llevar a cabo ya que podríamos causarle problemas adicionales o agravar los existentes.

Para el presente proyecto se utilizan los resultados de los procedimientos aplicados para medir la resistencia del concreto en los elementos de la superestructura, en cuanto a la subestructura de la inspección realizada en campo no se detectaron problemas por asentamientos o fallas visibles en columnas, por lo que se considera que están en buenas condiciones estructurales.

1.5.- Descripción de la Estructura

La estructura que se analiza en este trabajo se denomina Paso Superior (PSV) Juan Pablo II, y está ubicada en la avenida José López Portillo (mejor conocida como Vía López Portillo), entre la Av. De las Flores y la carretera estatal Tultitlán - Coacalco, esto al nororiente del Estado de México en las cercanías de las colindancias entre los Municipios de Coacalco y Ecatepec.



Fig. 1. Ubicación del PSV Juan Pablo II

La estructura fue puesta en servicio en el mes de abril del año 2005, esto de acuerdo a una placa que se encuentra debajo de la estructura, lo que nos muestra que es una obra reciente, y al observar las distintas estructuras que se encuentran a lo largo de esta vía, esta es la que presenta mayor número de daños visibles.



Fig. 2. Placa de Inauguración del PSV Juan Pablo II

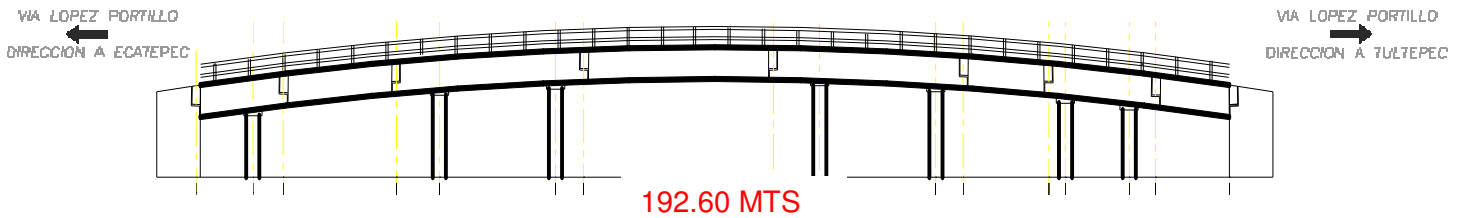


Fig.3. Elevación de la estructura (Sección Longitudinal)

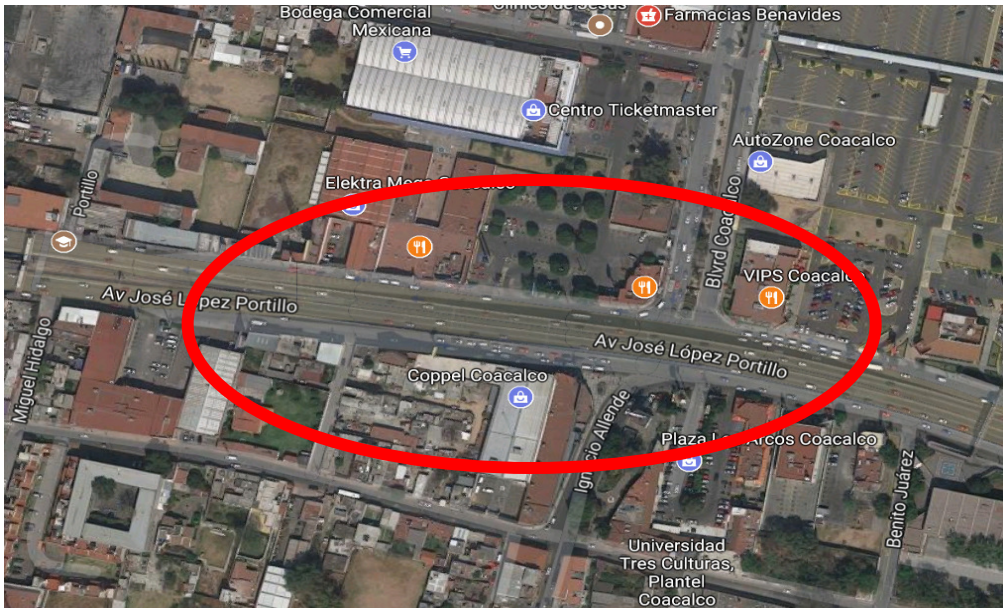


Fig.4. Vista en planta de la ubicación del puente Juan Pablo II

El sistema estructural como se proyectó este puente es tipo Gerber a base de elementos de concreto presforzado que se conforma por tramos simplemente apoyados y tramos de anclaje, trabajando en colaboración con las pilas.

Es un puente vehicular con traveses tipo cajón presforzados, estructurada en 4 tramos de anclaje y 4 tramos suspendidos, son vigas simplemente apoyadas.

La subestructura se constituye por 7 pilas y 2 estribos. Cada pila se conforma por 2 columnas circulares de 1 m de diámetro que soportan cada una de las traveses de la superestructura.

Los estribos extremos contienen el terraplén de acceso que se confina mediante el uso de muros de concreto.

Se identifican 2 tipos de elementos: **tramo de anclaje** que se puede definir cuando las traveses del puente están ligadas a los caballetes o pilas, y el **tramo suspendido** que son traveses que se apoyan libremente en las traveses de anclaje que funcionan como ménsulas.

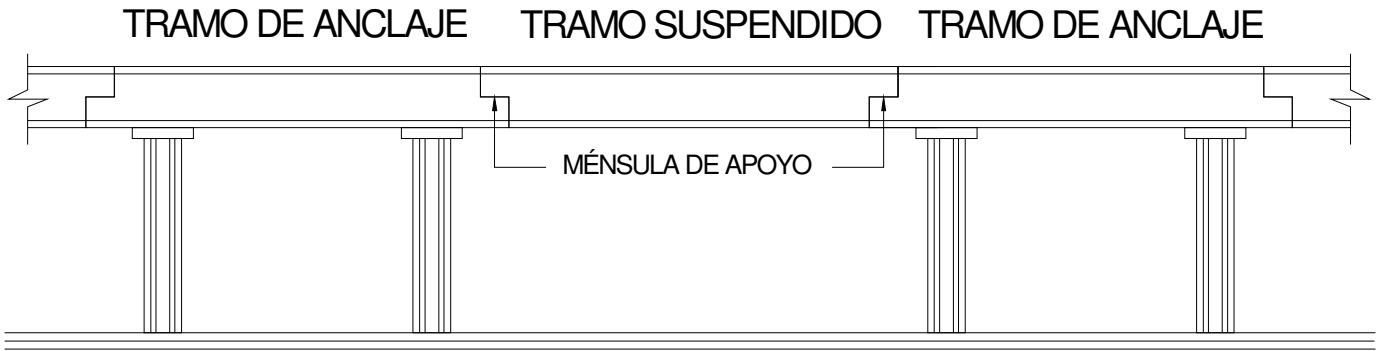


Fig. 5. Estructuración de Puente Juan Pablo II

Estribo de Entrada.- Sirve de apoyo para el tramo de anclaje, aloja el cuerpo vehicular con 4 carriles donde en el lado derecho es el acceso de entrada para el flujo vehicular con dirección Ecatepec – Coacalco, y el del lado izquierdo es la salida para el flujo vehicular con dirección Coacalco - Ecatepec.



Fig. 6. Tramo de acceso en dirección Ecatepec-Coacalco.

Primer Tramo de Anclaje.- Enseguida del acceso de entrada, se tiene el primer tramo estructural el cual apoya sobre el estribo No. 1 y sobre las pilas del eje No. 2, teniendo un volado en dirección a las pilas No. 3, sobre el cual apoya el primer tramo suspendido. La superestructura está formada por dos travesaños cajón con aletas (ballenas). Con losa de concreto reforzado que incluye guarnición en ambos lados y barra separadora en el centro.

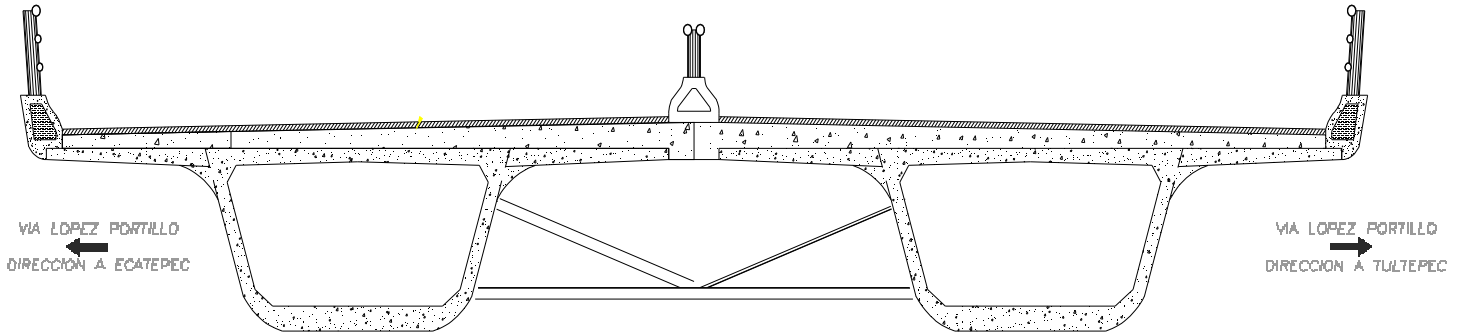


Fig. 7. Sección Transversal del PSV Juan Pablo II.

En lo que respecta a la cimentación no se dispone el tipo de cimentación que tiene.



Fig. 8. Primer Tramo de Anclaje.

Primer Tramo Suspendingo.- La estructura continua con el primer tramo suspendido (tramo 3 - 4) el cual apoya sobre los volados o ménsulas del primer y segundo tramo de anclaje. La superestructura está formada de la misma manera que el resto de los tramos y que fue detallada en el punto 2 de este apartado. El trazo geométrico en planta de este primer tramo suspendido es en tangente. Sobre ambas articulaciones se tienen las juntas de dilatación para este tramo.



Fig. 9. Primer Tramo Suspendido.

Segundo Tramo de Anclaje.- Como se describió en el punto anterior, el segundo tramo de anclaje (tramo 4 – 7) da soporte a uno de los extremos del primer tramo suspendido, y además soporta un extremo del segundo tramo suspendido. Está integrado por un volado o ménsula del eje de la articulación al eje de la pila No. 5P, continuando con una sección continua entre los ejes de las pilas No. 6P, continuando con otro volado desde el eje de la pila No. 4 hasta el eje de la articulación donde apoya el segundo tramo suspendido. El trazo geométrico en planta de este segundo tramo de anclaje es en tangente. Sobre ambas articulaciones se tienen las juntas de dilatación para este tramo.



Fig. 10. Segundo Tramo de Anclaje.

Segundo Tramo Suspendido.- La estructura continua con el segundo tramo suspendido (tramo 7 - 8) el cual apoya sobre los volados o ménsulas del segundo y tercer tramo de anclaje (articulaciones tipo Gerber). La superestructura está formada de la misma manera que el resto de los tramos y que fue detallada en el punto 2 de este apartado. El trazo geométrico en planta de este primer tramo suspendido es en tangente. Sobre ambas articulaciones se tienen las juntas de dilatación para este tramo.



Fig. 11. Segundo Tramo Suspendido.

Tercer Tramo de Anclaje.- Como se describió anteriormente, el tercer tramo de anclaje (tramo 8 – 11) da soporte a uno de los extremos del segundo tramo suspendido, y además soporta un extremo del tercer tramo suspendido. Está integrado por un volado o ménsula del eje de la articulación al eje de la pila No. 9P, continuando con una sección continua entre los ejes de las pilas No.10P, continuando con otro. El trazo geométrico en planta de este tercer tramo de anclaje es en tangente. Sobre ambas articulaciones se tienen las juntas de dilatación para este tramo.



Fig. 12. Tercer Tramo de Anclaje.

Tercer Tramo Suspendido.- La estructura continua con el tercer tramo suspendido (tramo 11 - 12) el cual apoya sobre los volados o ménsulas del tercer y cuarto tramo de anclaje (articulaciones tipo Gerber). La superestructura está formada de la misma manera que el resto de los tramos y que fue detallada en el punto 2 de este apartado. El trazo geométrico en planta de este primer tramo suspendido es en tangente. Sobre ambas articulaciones se tienen las juntas de dilatación para este tramo.



Fig. 13. Tercer Tramo Suspendido.

Cuarto Tramo de Anclaje.- Como se describió anteriormente, el cuarto tramo de anclaje (tramo 12 - 15) da soporte a uno de los extremos del tercer tramo suspendido, y además soporta un extremo del cuarto tramo suspendido. Está integrado por un volado o ménsula, continuando con una sección continua entre los ejes de las pilas Nos. 13P y 14P, continuando con otro volado hasta el eje de la articulación donde apoya el cuarto tramo suspendido. El trazo geométrico en planta de este tramo de anclaje es en tangente. Sobre ambas articulaciones se tienen las juntas de dilatación para este tramo.



Fig. 14. Cuarto Tramo de Anclaje.

Cuarto Tramo Suspendido.- La estructura continua con el cuarto tramo suspendido (tramo 15 – 16) el cual apoya sobre la ménsula del cuarto tramo suspendido y sobre el caballete extremo No. 2. La superestructura está formada de la misma manera que el resto de los tramos y que fue detallada en el punto 2 de este apartado. El trazo geométrico en planta de este primer tramo suspendido es en tangente. Sobre la articulación y sobre el caballete se tienen las juntas de dilatación para este tramo.



Fig. 15. Cuarto Tramo Suspendido.

Estribo de Salida.- Finalmente se tiene un cuerpo de terraplén que aloja el cuerpo vehicular donde se ubican un par de parapetos metálicos, los que impiden el paso peatonal en esa zona, siendo el cuerpo del lado derecho el acceso de salida para el flujo vehicular con dirección Ecatepec – Coacalco, y el del lado izquierdo la entrada para el flujo vehicular con dirección Coacalco - Ecatepec. El cuerpo de terraplén está formado de manera similar al acceso de entrada, descrito en el punto No. 1 de este apartado. En cada cuerpo vehicular se tienen parapetos laterales de acero estructural ninguno de los dos cuerpos vehiculares cuenta con banquetas peatonales. El trazo geométrico en planta de este acceso es en tangente.



Fig. 16. Estribo de Salida dirección Ecatepec-Coacalco.

1.6.- Plan de trabajo para definir situación estructural

Para dar solución a este problema de puentes se definen las siguientes actividades.

Primera Etapa.- Inspección y Levantamiento Topográfico

Segunda Etapa.- Levantamiento de muestras y pruebas de materiales

Tercera Etapa.- Análisis Estructural

Cuarta Etapa.- Evaluación y Dictamen

Quinta Etapa.- Alternativa de Solución

Primera etapa:

Se realizaron varias visitas al sitio para conocer el estado físico y funcional de la estructura, la zona en donde se ubica, las cargas que transitan en ella, los elementos de la superestructura y subestructura para poder tener una idea inicial de cómo está conformado el puente y de los daños observados a simple vista.

Para cumplir con los objetivos mencionados se propone desarrollar los siguientes puntos los cuales se describen brevemente.

- Estudios de Ingeniería
- Análisis Estructural
- Alternativas de Solución

Estudios de Ingeniería.- Son las distintas pruebas y procedimientos que requerimos realizar ya sea en sitio o laboratorio para obtener información de la estructura en cuestión. Dentro de estos se tienen:

Inspección Detallada: Consiste en hacer visitas para recopilar la información relacionada al deterioro que sufre la estructura en cada uno de los elementos que la conforman, esta inspección no solo es visual sino que requiere de personal especializado que tenga el criterio y la experiencia para detectar problemas puntuales valiéndose del equipo necesario para las actividades que se llevaran a cabo.

Existen diversos tipos de inspecciones en puentes, la inspección visual permite observar los deterioros primarios, como son las grietas. Se debe reconocer el hecho que no todas las grietas son de igual importancia. La longitud, dirección, localización y extensión de las grietas deben ser medidas y reportadas en los informes de inspección.

Levantamiento Topográfico.- Es el conjunto de operaciones necesarias para determinar puntos por medio de un instrumento de medición como una estación total, teodolito o nivel que posteriormente se plasmaran en un plano para tener una configuración grafica del sitio donde se ubica la estructura.

Dentro de los datos que obtendremos en dicho levantamiento son la ubicación exacta del puente por medio de coordenadas geográficas con GPS, secciones, perfiles del terreno, deflexiones y desplazamientos, etc.

El levantamiento topográfico es una parte importante para generar planos y representar nuestra estructura, ya que en la mayoría de los casos a los que se enfrenta la conservación de puentes no se cuenta datos suficientes que nos faciliten el trabajo, o en su defecto nos sirven para corroborar y actualizar la información encontrada.

Segunda etapa:

Levantamiento de muestras y pruebas de materiales (destruictivas y no destruictivas).Estas se realizaron en la superestructura, para obtener la resistencia del concreto.

Prueba con Esclerómetro: Esta dentro de los métodos no destruictivos, es muy económico y fácil de ejecutar en sitio.

Básicamente el procedimiento consiste en utilizar este dispositivo que está constituido por una masa móvil, con una cierta energía inicial, que impacta la superficie de una masa de concreto, produciendo una redistribución de la energía cinética inicial. Esta es absorbida por la fricción mecánica en el instrumento y otra parte como energía de formación plástica del concreto. Como consecuencia, el rebote del esclerómetro nos indica las propiedades del concreto en una escala ubicada en la parte lateral del aparato, que nos da una relación de su resistencia y grado de rigidez.

Extracción de Corazones.-Esta dentro de los métodos destruictivos ya que consiste en extraer núcleos cilíndricos de concreto, por medio de una perforación en la superficie del elemento con una broca cilíndrica de pared delgada.

Se obtuvieron varios especímenes que se llevaron al laboratorio para encontrar la resistencia del concreto.

Tercera etapa:

Ya que tenemos los datos obtenidos de las pruebas ya mencionadas, lo que sigue es realizar los análisis estructurales.

Análisis Estructural: Son necesarios dos tipos de análisis para llegar a una comparativa de resultados, el primero consistió en revisar el diseño los elementos de la estructura como si fuera un proyecto nuevo asemejando el cálculo original y el otro que nos sirve para revisar los elementos bajo las condiciones de carga reales las cuales se encuentran en operación.

Como se mencionó el Paso Superior Vehicular Juan Pablo II se inauguró en el año 2005; por lo que deducimos que en el 2003 se realizó el proyecto original, partiendo de esto se concluyó que se empleara la normativa SCT actuales que se publicó desde el 2002.

Cabe señalar que para realizar el análisis actual o de revisión se deberá contemplar la carga viva adecuada ya que por lo que se pudo observar en las inspecciones preliminares, la carga que circula es muy pesada para el tipo de camino en el que fue proyectada la estructura.

Una vez completado los dos diseños se hizo una comparativa entre ambos para verificar si las condiciones actuales de la estructura son óptimas, normales o malas.

Cuarta etapa:

Evaluación y Dictamen: Se evalúan los resultados obtenidos del análisis estructural, para poder concluir numéricamente el efecto de los daños por las condiciones actuales y determinar si la alternativa planteada de usar fibra de carbono puede solucionar el problema.

En esta etapa es importante dar un dictamen para poder concluir con los elementos revisados como son los resultados de las pruebas de laboratorio y del análisis estructural y así solucionar el problema mediante la aplicación del sistema de reforzamiento planteado.

Quinta etapa:

Alternativa de Solución: Con el respaldo del análisis se propone una solución al problema encontrado, el cual se sustenta desde el punto de vista Técnico y Económico.

El análisis de esta alternativa facilitara la elección adecuada de acuerdo a la importancia de la estructura para prolongar su vida útil.

CAPITULO 2: ESTUDIOS DE INGENIERIA

2.1. Procedimiento de Inspección.

Se trabajó el formato de Reporte de inspección que maneja la SCT en su “**Guía de Procedimientos y Técnicas para la conservación de carreteras en México**”, el cual se llenó en sitio con las características principales de la estructura y los daños visibles que se fueron detectando conforme se desarrollaba el recorrido, este mismo soportado por un reporte fotográfico el cual se puede consultar en el Anexo A-2.

En el Anexo A-1 se presenta un Plano General de Levantamiento en el que se muestra la planta, elevación y corte transversal del Puente con sus respectivos ejes y medidas para identificar claros y tramos que le dan la estructuración al puente que se está revisando.

En el Anexo A-2 se detallan los Daños y su ubicación con una serie de fotografías y una breve descripción de lo que se puede observar en cada imagen.

2.2. Daños en la Estructura.



Fig. 17. Agrietamientos localizados en el último tramo suspendido con dirección a Coacalco.



Fig. 18. Detalle de los agrietamientos encontrados en las inspecciones anteriores en las trabes.



Fig. 19. Otra vista de las grietas ubicadas en el alma de la trabe.



Fig. 20. Vista General de las grietas en las traves sobre columnas.

2.3.- Datos de Topografía

Se realizó un levantamiento topográfico del cual se anexan los planos de planta geométrica y secciones, estos tienen datos de lo que se realizó en el puente para obtener cadenamientos, ejes de pilas y caballetes además de otros puntos importantes que muestran la geometría de la estructura.

Lo que se puede apreciar en los perfiles topográficos es interesante, con ayuda de las escalas con la que se dibujaron los puntos del eje del camino donde se notan deflexiones, más evidente en los tramos de acceso como se puede observar en el círculo marcado en los siguientes perfiles de los 2 carriles.

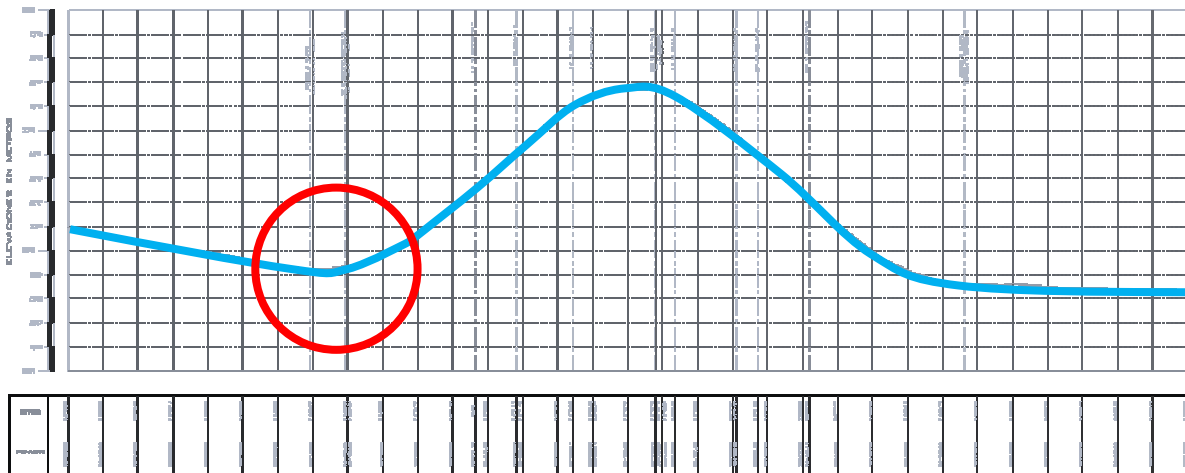


Figura 21.Perfil Carril Izquierdo

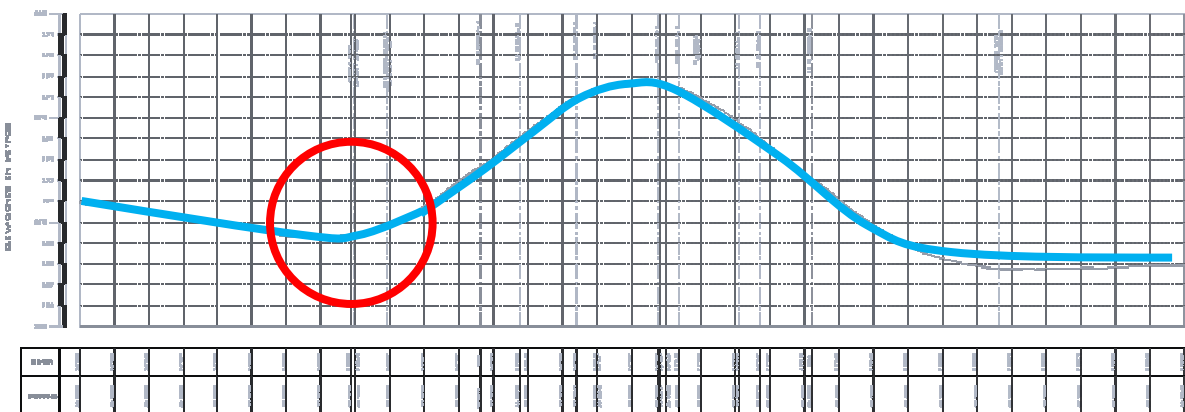


Figura 22.Perfil Carril Derecho

2.4.- Resistencia de materiales

Existen diversas pruebas para conocer el estado que guarda una estructura y sus materiales componentes, de acuerdo al alcance y las características particulares de cada puente podemos elegir la que se apegue más a las necesidades.

Las más conocidas son las siguientes: Medición de grietas con dispositivos manuales como el Vernier, prueba con esclerómetro, uso de ultrasonido, extracción de núcleos, prueba de rayos x, uso del densímetro nuclear, pruebas de carbonatación, pruebas de permeabilidad, pruebas de corrosión, etc. De las pruebas mencionadas las más accesibles y fáciles de ejecutar son el uso del esclerómetro y la extracción de corazones ya que no requieren de personal ni equipo especializado que encarecería el costo de la reparación.

Para esta estructura se practicaron pruebas con **esclerómetro** y **extracción de corazones** en puntos específicos donde se observaron agrietamientos en las trabes cajón cuyas ubicaciones se pueden observar en los planos con los resultados obtenidos tanto para trabe izquierda y derecha.

Prueba con Esclerómetro (Descripción General)

Esta prueba no destructiva sirve para conocer la resistencia del concreto endurecido, se hicieron un total de 178 pruebas a lo largo de la superestructura, los cuales se fueron organizando en tablas separando los valores tanto para trabes como para losa inferior, finalmente se fueron promediando para tener la resistencia final por elemento.

Los planos y resultados de las pruebas fueron recopilados, para complementar la información obtenida y describir brevemente el procedimiento de ejecución de cada una para tener una idea general de lo que se realizó.

De acuerdo a lo que marca la norma mexicana **NMX-C-192-ONNCCE-2008 "DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE REBOTE UTILIZANDO EL DISPOSITIVO CONOCIDO COMO ESCLERÓMETRO"**, el procedimiento consiste en utilizar una herramienta que tiene una masa móvil, con una cierta energía inicial, que impacta la superficie de un elemento de concreto, produciendo una redistribución de la energía cinética inicial. Esta es absorbida por la fricción mecánica en el instrumento y otra parte como energía de formación plástica del concreto.

Para ejecutarla se requiere emplear una placa plástica que forma una retícula la cual tiene una serie de líneas distantes entre sí de 25 a 50 mm cuyas intersecciones nos indican el lugar para utilizar el esclerómetro.

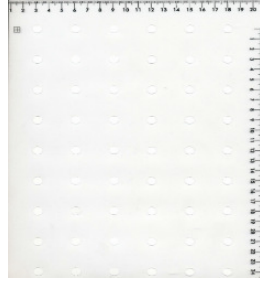


Figura 24. Instrumento guía para realizar las pruebas con esclerómetro. (IMCYC, Tomo 19, Determinación del Índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como Esclerómetro, Marzo 2009.)

Ya colocada la guía se sostiene el esclerómetro firmemente de manera que el émbolo esté perpendicular a la superficie de la prueba, luego se empuja gradualmente el instrumento hacia la superficie de la prueba hasta que el martillo impacte. Después del impacto, se mantiene la presión en el instrumento y, si es necesario, se presiona el botón al lado del instrumento para trabar el émbolo en su posición contraída. Se lee el número de rebote en la escala al número entero más cercano y se registra. Las pruebas se realizan a no menos de 25 mm entre los puntos. Se examina la impresión hecha en la superficie después de impacto, y si el impacto machaca o rompe, significa que la superficie tiene un vacío de aire, por ello se debe desechar la lectura y tomar otra.



Figura 25. Aplicación de esclerómetro de acuerdo a retícula marcada en elemento de concreto. (IMCYC, Tomo 19, Determinación del Índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como Esclerómetro, Marzo 2009.)

Como consecuencia, el rebote del esclerómetro nos indica las propiedades del concreto en una escala ubicada en la parte lateral del aparato, que nos da una relación de su resistencia y grado de rigidez.

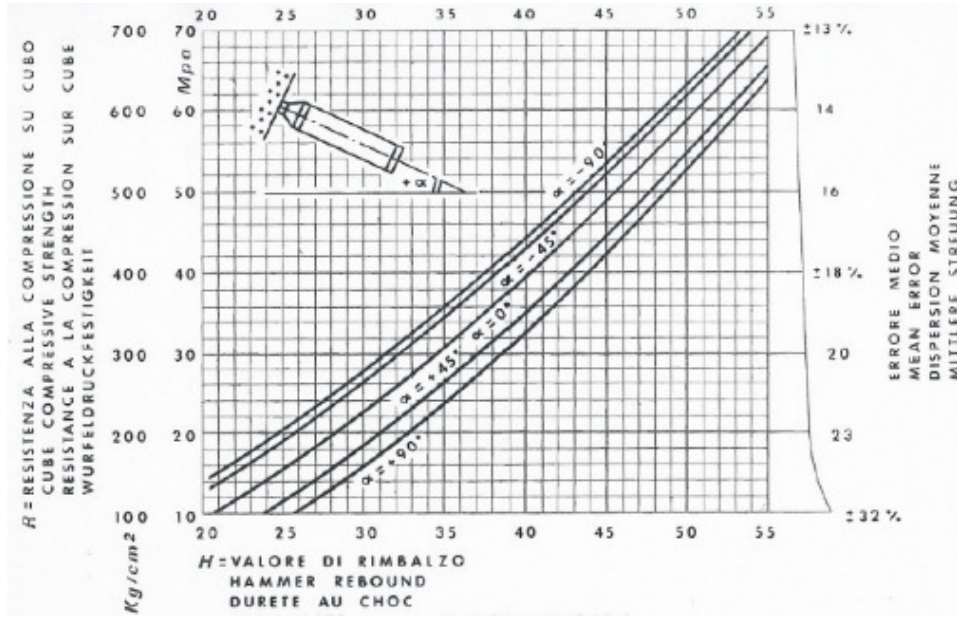


Figura 26. Grafico para obtener resistencia del concreto. (IMCYC, Tomo 19, Determinación del Índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como Esclerómetro, Marzo 2009.)

A continuación se resumen los resultados y ubicaciones de las pruebas realizadas.

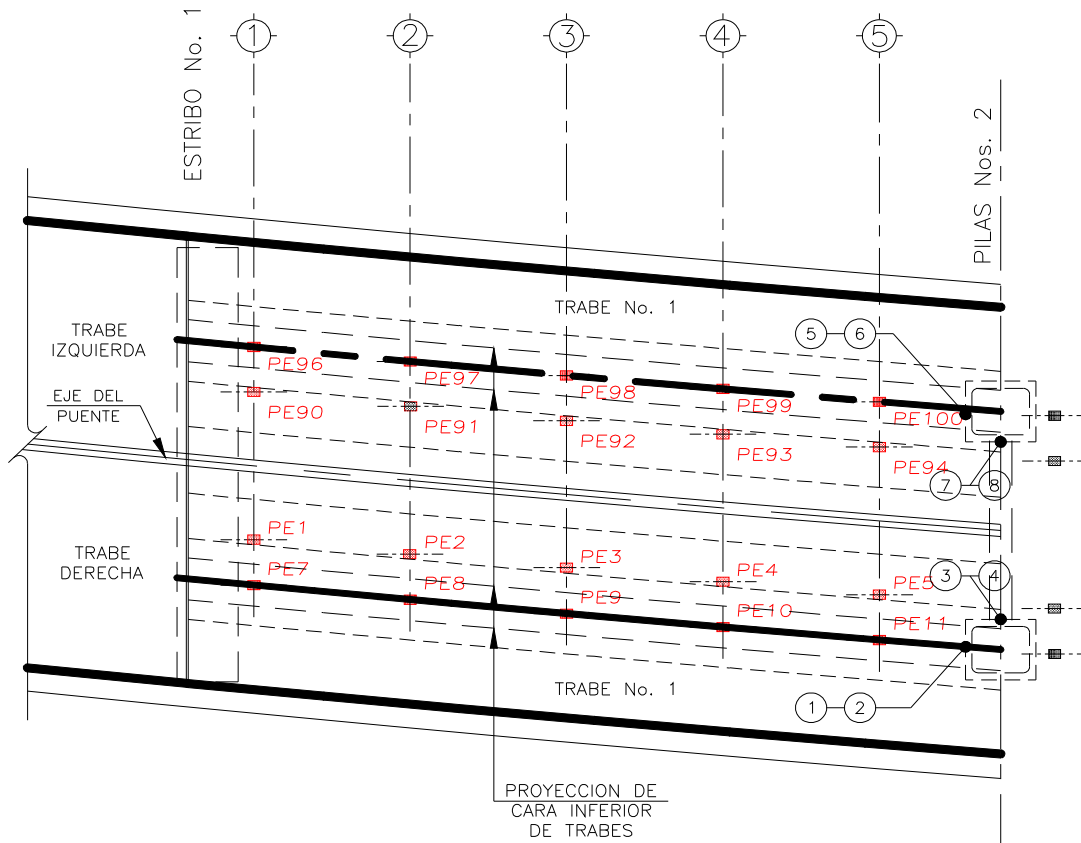


Figura 27. Ubicación en planta de Pruebas con esclerómetro.

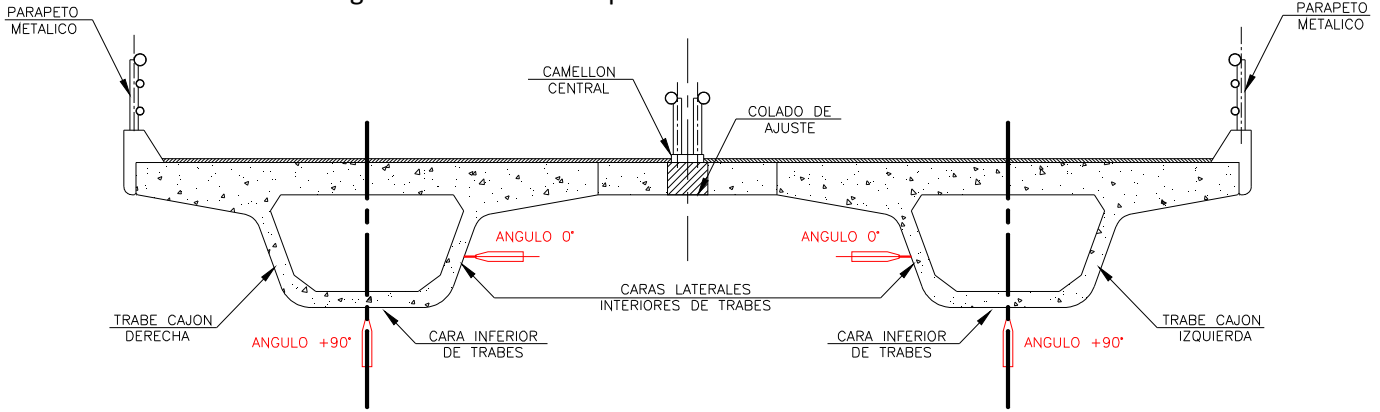


Figura 28. Localización esquemática de Pruebas con esclerómetro

Tabla de Resistencias para Trabe Izquierda

DEL EJE A AL EJE E	ELEMENTO	TRABE	UBICACIÓN	RESISTENCIA
				PROMEDIO Kg/cm ²
1 a la 6	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	1		199
7 a la 12	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	1		200
13 a la 18	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	2		198
19 a la 24	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	2		200
25 a la 29	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	3		202
30 a la 34	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	3		198
35 a la 40	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	4		203
41 a la 45	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	4		206
46 a la 50	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	5		198
51 a la 55	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	5		197
56 a la 61	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	6		200
62 a la 67	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	6		201
68 a la 73	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	7		203
74 a la 78	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	7		202
79 a la 84	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	8		207
85 a la 89	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	8		211
			fc promedio=	202

Tabla de Resistencias para Trabe Derecha

DEL EJE A AL EJE E	ELEMENTO	TRABE	UBICACIÓN	RESISTENCIA
				PROMEDIO Kg/cm ²
1 a la 6	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	1		190
7 a la 12	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	1		195
13 a la 18	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	2		192
19 a la 24	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	2		200
25 a la 29	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	3		194
30 a la 34	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	3		190
35 a la 40	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	4		199
41 a la 45	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	4		191
46 a la 50	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	5		190
51 a la 55	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	5		196
56 a la 61	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	6		194
62 a la 67	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	6		196
68 a la 73	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	7		205
74 a la 78	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	7		198
79 a la 84	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	8		203
85 a la 89	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	8		204
			fc promedio=	196

Extracción de Corazones

También se anexan los resultados obtenidos de las pruebas de **extracción de corazones** realizadas tanto en las trabes como en la cara inferior de la losa, dichos resultados y planos de ubicación se adjuntan en los anexos del presente trabajo.

De acuerdo a la norma **PROY-NMX-C-169-ONNCCE-2008 "EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS O PRISMÁTICOS DE CONCRETO HIDRÁULICO ENDURECIDO"**, consiste en realizar perforaciones controladas en los elementos para extraer muestras que posteriormente se llevaran a laboratorio para ser sometidas a pruebas de compresión simple y llevarlas a la falla para la obtener su resistencia.

Se realizaron un total de 9 pruebas a lo largo del puente, es importante señalar que el número de pruebas realizadas es menor que las pruebas realizadas con esclerómetro, esto para no dañar al elemento.

Básicamente se realizaron perforaciones con un taladro con broca cilíndrica de pared delgada con corona de diamante, considerando que el calor generado no afectara el área de impacto ni al mismo taladro ya que las muestras podrían no ser la adecuadas. Para poder llevar acabo cada perforación se empleó equipo adicional como escaleras y polines de madera para darle soporte al taladro facilitando el procedimiento de cada extracción.



Figura 29. Perforación en la cara inferior de la aleta de la trabe.

Para obtener la resistencia adecuada el diámetro de los corazones que se obtuvieron debían ser cuando menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Preparación de las bases: Las bases de los corazones que se prueben a la compresión, deben ser planas y prácticamente lisas, perpendiculares al eje longitudinal, con una tolerancia de 5° , y con el mismo diámetro que el cuerpo del

espécimen, con tolerancia de 2,5 mm. Cada extremo del espécimen debe recortarse con disco de diamante por lo menos 1 cm para evitar zonas alteradas. La longitud del espécimen, cuando ya tenga preparadas las bases, debe estar tan cercana como sea posible a 2 veces el diámetro. No debe probarse un corazón que tenga una altura menor del 95% de su diámetro antes de cabecear sus bases o que tenga menos del 100% de su diámetro, después del cabeceo.



Figura 30. Obtención de muestra de concreto en sitio.

Es necesario cumplir la relación de altura y diámetro de 2 a 1 por lo que se puede emplear una tabla para realizar los ajustes correspondientes y así generar un factor de resistencia más preciso.

Finalmente para realizar la prueba de compresión simple en laboratorio se limpiaron las superficies de las placas superior e inferior y las cabezas del espécimen de prueba. Se colocó este último sobre la placa inferior alineando su eje cuidadosamente con el centro de la placa de carga. El contacto que se produce entre el espécimen y las placas superior e inferior debía ser suave y uniforme.



Figura 31. Muestra sometida a la prueba de compresión simple.

A continuación se resumen los resultados y ubicaciones de las pruebas realizadas.

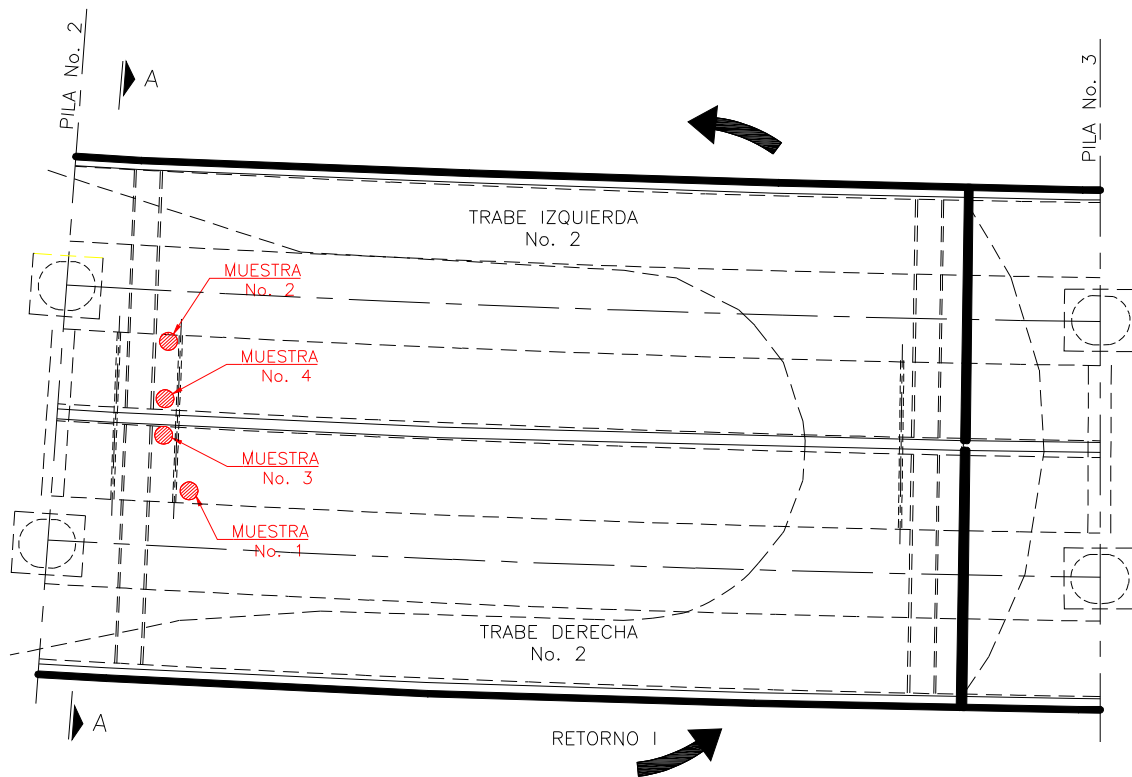


Figura 32. Ubicación en planta de Pruebas de extracción de corazones.

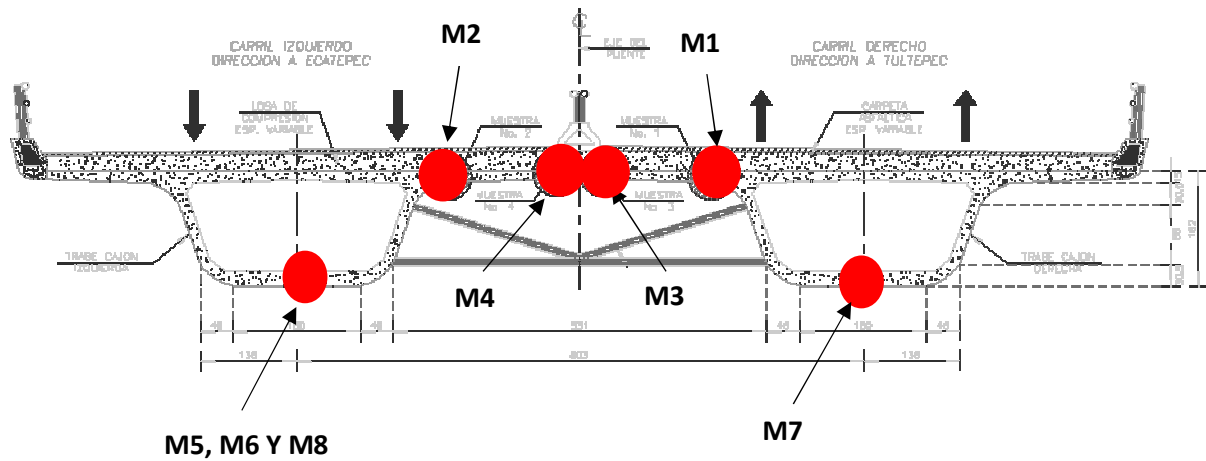


Figura 33. Localización esquemática de las pruebas de extracción de corazones en travesaños cajón.

Tabla de Resistencias Promedio para Trabe

MUESTRA No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (cm)	LECTURA CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CORRECCION POR ALTURA (kg/cm ²)	AREA (cm ²)	ELEMENTO DE LA MUESTRA
1	4.39	6.46	232.95	5000	330.2	303.8	15.14	Aleta izquierda de trabe derecha, tramo suspendido del claro 2a-2b.
2	4.45	7.77	241.17	4200	270.1	248.5	15.55	Aleta derecha de trabe izquierda en el claro del tramo suspendido 2a-2b
3	4.41	5.73	214.56	5400	353.6	325.3	15.27	Aleta izquierda de trabe derecha, tramo suspendido del claro 2a-2b.
4	4.49	5.2	182.39	4900	309.5	284.7	15.83	Aleta derecha de trabe izquierda en el claro del tramo suspendido 2a-2b
RESISTENCIA PROMEDIO PARA ALETAS DE TRABES CAJON						290.575		
5	4.4	5.16	176.63	2800	184.1	171.2	15.21	Losa inferior de trabe cajón izquierda en el claro del tramo suspendido 8a-9
6A	4.46	4.64	161.08	2700	172.8	160.7	15.62	Losa inferior de trabe cajón izquierda en el claro del tramo suspendido 8a-9
6B	4.43	5.2	156.36	2900	188.2	175	15.41	Losa inferior de trabe cajón izquierda en el claro del tramo suspendido 8a-9
7	4.43	6.23	204.08	3300	214.1	199.1	15.41	Losa inferior de trabe cajón derecha en el claro del tramo suspendido 8a-9
8	4.48	6.15	236.87	3700	234.8	218.4	15.76	Losa inferior de trabe cajón izquierda en el claro del tramo suspendido 8a-9
RESISTENCIA PROMEDIO PARA LOSA INFERIOR DE TRABES CAJON						184.88		

2.5. Conclusiones Generales de los resultados de los Estudios de Ingeniería.

De acuerdo a lo observado en sitio se concluye que se presentan daños importantes en la superestructura del puente.

Realmente los problemas toman relevancia al observar las trabes, específicamente en el último tramo suspendido en dirección a Coacalco en donde son visibles agrietamientos.

Los daños importantes que se detectaron fueron la aparición de grietas en el alma de las trabes cajón del último tramo suspendido, marcas de escurrimientos en donde se unen los tramos suspendidos con los tramos de anclaje y algunos desconchamientos de concreto en tramos aislados.

En cuanto a los elementos que forman a la subestructura, que son las pilas circulares se observaron en buenas condiciones por lo que se descartan problemas en la cimentación.

Por lo que se refiere a la carpeta asfáltica se observaron algunos baches principalmente en la zona de transición entre el terraplén de acceso y el puente, debido a los impactos producidos por los vehículos de los cuales los camiones de carga son los que más transitan en esta vía.

De las Pruebas con Esclerómetro, las resistencias obtenidas en las traveses son bajas considerando que estos elementos por ser elementos prefabricados tendrán que tener una resistencia entre los 300 y 350 kg/cm², y se obtuvieron valores entre los 190 y 250 kg/cm² por lo que nos dice que está por debajo del 70% de la resistencia estimada de proyecto.

Las resistencias obtenidas en el patín inferior son relativamente bajas para lo que generalmente se considera en estos elementos con un rango que va de 300 a 350 kg/cm² mientras que lo obtenido en esta prueba va de 190 y 205 kg/cm², es decir, que está en un 70% de la resistencia total estimada para proyecto.

Considerando que la exactitud de esta prueba depende de la experiencia del operador, la forma de ejecución, la calibración del instrumento y la superficie de contacto se deben obtener varias muestras para poder evaluar los resultados.

De la Extracción de Corazones las resistencias obtenidas en las traveses se acercan más a las consideradas para los elementos prefabricados que tendrán que tener una resistencia entre los 300 y 350 kg/cm², y lo que se obtuvo es un valor promedio de cuatro pruebas realizadas de 290.6 kg/cm² lo que nos indica que la resistencia está en un 80% de la resistencia de proyecto.

Las resistencias obtenidas en el patín inferior son bajas para lo que generalmente se considera en estos elementos con un rango que va de 300 a 350 kg/cm² ya que lo obtenido de las cuatro pruebas realizadas es un valor promedio de 184.88 kg/cm² que equivale a un 60 % de la resistencia de proyecto.

Considerando que la exactitud de esta prueba es más alta debido a que al someter las muestras a ensayos de compresión llevándolas a la falla los valores de las resistencias se acercan a las condiciones reales de los elementos.

Para la revisión de la estructura se tomó en cuenta los resultados de las pruebas de extracción de corazones, ya que se apegan más a los valores reales que se tienen en el concreto.

CAPITULO 3: ANALISIS ESTRUCTURAL

Descripción de los Elementos de la Estructura.

- El PSV tiene una longitud aproximada de 191.94 m, formado por 2 vigas tipo cajón, siendo vigas simplemente apoyadas tipo gerber.
- Tiene una losa de concreto de 20 cm de espesor en promedio, con carpeta asfáltica de espesor de 5 cm con guarniciones de concreto extremos e intermedios que dividen los carriles de circulación.
- El ancho total de puente es de 16 mts. con 4 carriles de circulación.
- Se tienen parapetos metálicos con tubos de 6, 4 y 3 pulgadas a lo largo de todas las guarniciones ya mencionadas.
- La superestructura está formada por 4 tramos de anclaje y 4 tramos suspendidos de longitud variable los cuales se apoyan sobre 14 pilas circulares y 2 estribos.
- Considerando el tipo de vehículos que transitan por la vialidad se utilizan cargas T3-S3 y para el cálculo de los elementos mecánicos con las condiciones de servicio se empleó una carga especial tipo Góndola, esta carga se eligió de acuerdo a lo observado en la inspección en campo.

Criterios de Diseño.

Se empleó la revisión por resistencias como estado límite de falla y esfuerzos permisibles.

AASHTO STANDARD, 2012

Se emplea la normativa **AASHTO** para evaluar las acciones de las cargas vivas sobre la estructura con la aplicación de líneas de influencia para obtener los cortantes y momentos actuantes y sus efectos máximos de acuerdo al posicionamiento crítico a lo largo del tramo analizado del puente.

También obtenemos los parámetros de diseño como el cálculo del Impacto y factor de distribución para el análisis de trabes.

Se empleó los reglamentos del **ACI 318 2014**, para la revisión estructural y del uso de las fibras de carbono, el cual solicita que los sistemas de reforzamiento FRP deben ser diseñados para resistir las fuerzas de tensión mientras mantiene la compatibilidad con la deformación entre el FRP y el concreto.

Este método considera las siguientes suposiciones:

- La deformación a compresión máxima del concreto es de 0.003.
- La resistencia a la tensión que posee el concreto es despreciable.
- El refuerzo FRP tiene una relación lineal elástica esfuerzo-deformación.
- La deformación entre el refuerzo y el concreto son directamente proporcionales al eje neutro.
- No existe un deslizamiento entre el concreto y la fibra instalada.

Resistencia Última

La resistencia de momento requerida de una sección debe ser calculada con factores de carga.

Límites de Esfuerzos de rotura por Fluencia Plástica

Se emplea para evaluar la falla de un elemento reforzado con FRP, teniendo en cuenta que la fibra de carbono puede soportar 0.91 veces su resistencia última.

Se revisa que no rebase ningún estado límite servicio bajo el efecto de las posibles combinaciones de cargas, multiplicadas por los factores de trabajo correspondientes, buscando descartar desplazamientos y agrietamientos.

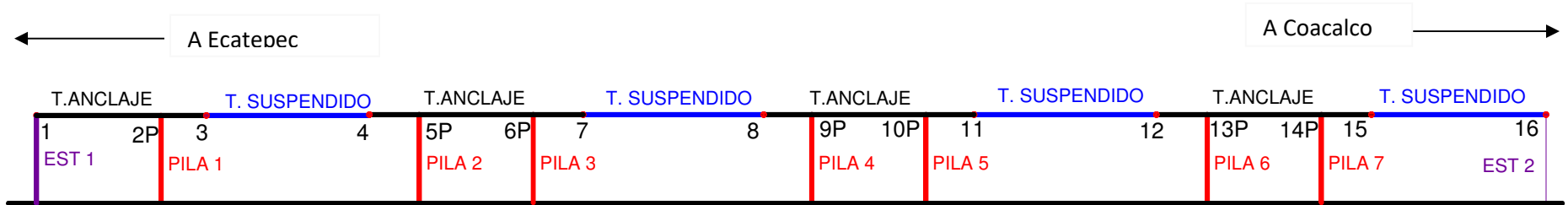
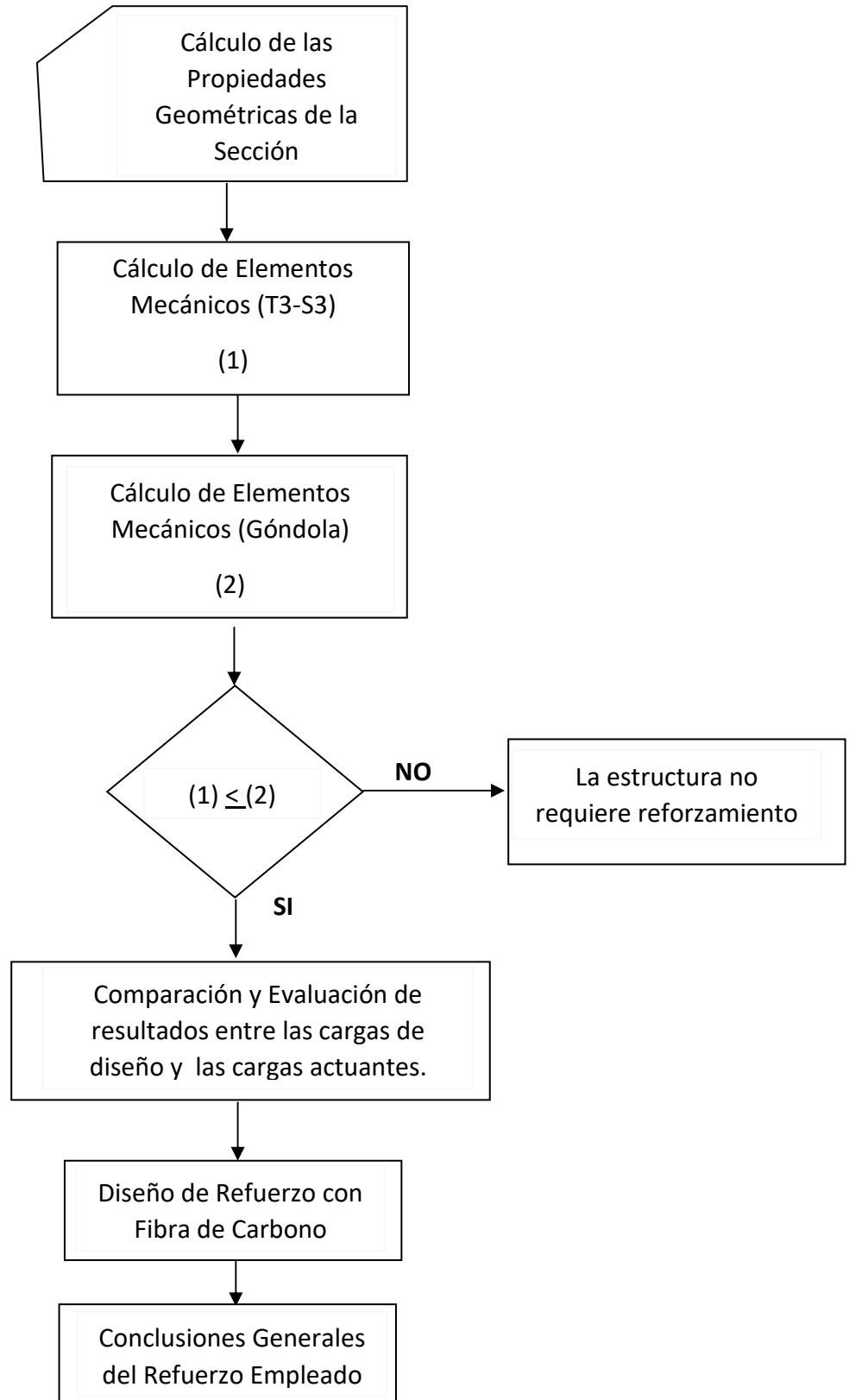


DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE

Procedimiento de Revisión y Reforzamiento Estructural del PSV Juan Pablo II



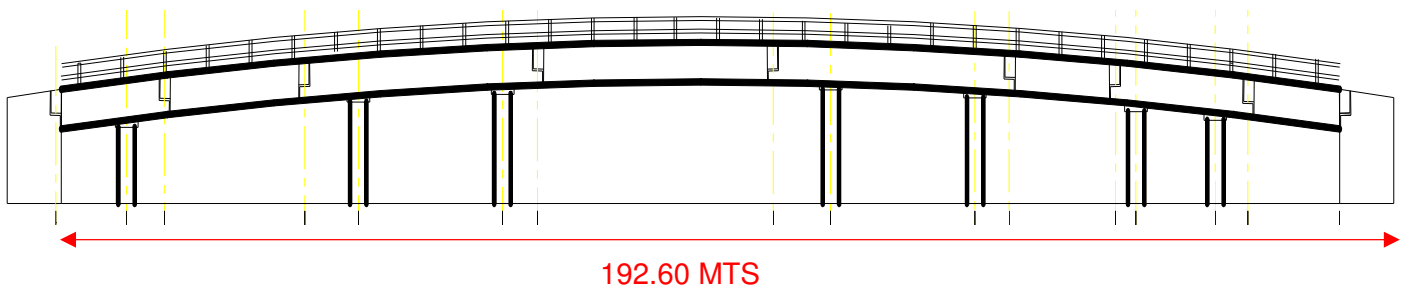


Figura 34. Vista Longitudinal de PSV Juan Pablo II.

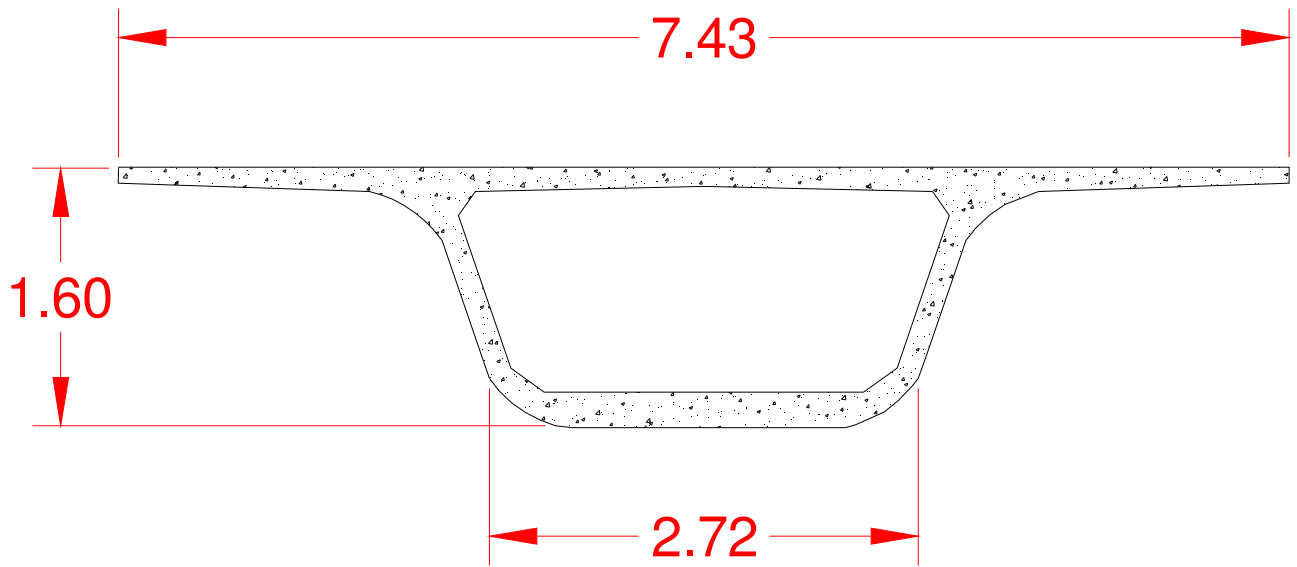
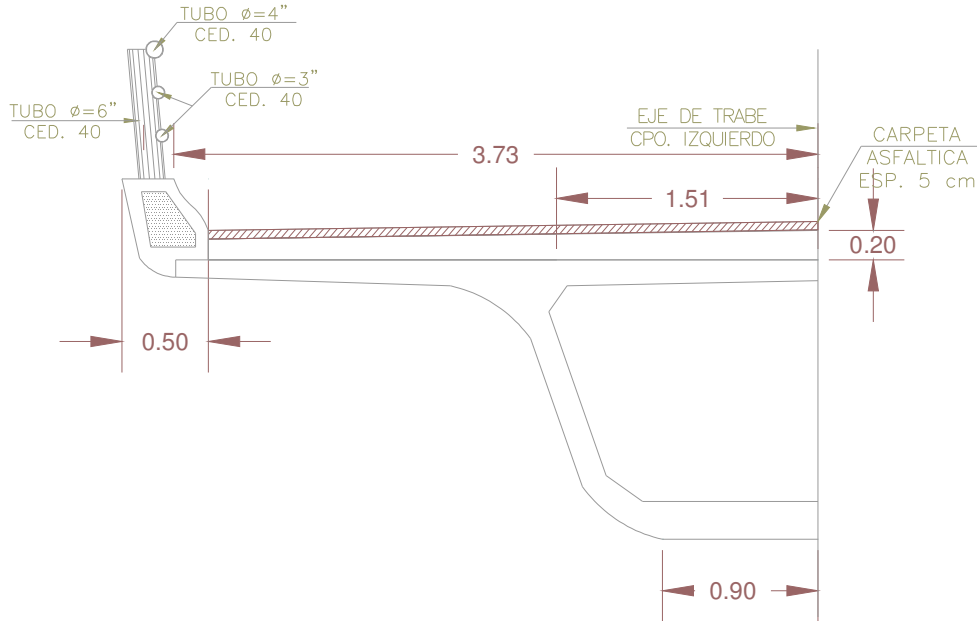


Figura 35. Sección Transversal de Trabe Cajón Presforzada.

3.1.- Determinación de cargas para Proyecto (2003)

Revisión de la Losa sobre Trabes



Análisis de la losa en Voladizo

CARGAS		CARGA (Ton)	BRAZO(M)	MOMENTO (TON.M)
Parapeto	Estimado	0.2	3.8	0.76
Guarnición	0.19 x 1.0 x 2.4	0.456	3.7	1.69
Losa	0.52 x 1.0 x 2.4	1.25	1.8	2.25
Carpeta A.	0.18 x 1.0 x 2.2	0.40	1.8	0.72

Vc=2.306

Mcm=5.42

Análisis por Carga Viva

La AASHTO recomienda que para el empleo del refuerzo perpendicular a la dirección del tránsito; la carga por rueda; se distribuirá de la siguiente manera:

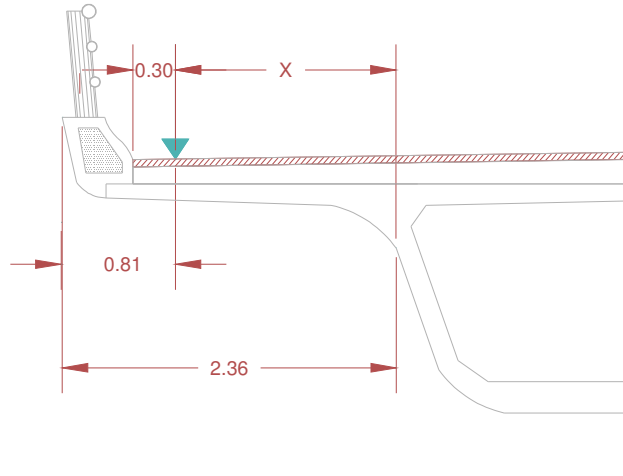
$$E=0.8X+ 1.143$$

Se empleará la carga por camión HS – 20. Por ser el más pesado.

Donde:

$x = 30$ cm recomendado por la AASTHO que deberá considerarse que la línea del centro de una carga por rueda (carga axial /2 queda a 30 cm de la cara de la guarnición y/o banqueteta.

Por lo tanto:



$$x = 2.36 - 0.81 = 1,55 \text{ m.}$$

El ancho de distribución, será:

$$E = 0.8 x + 1.143 = 0.8 (1.55) + 1.143$$

$$E = 2.383$$

Momento por Carga Viva

$$MCV+I = P \times I / E$$

Tendrá que incrementarse por el factor de impacto "I", que será el valor permisible de incremento en los esfuerzos, que se expresa como una fracción de los esfuerzos por carga viva, determinándose con la siguiente expresión:

$$I = \frac{15.24}{L + 38.10}$$

Donde:

I= valor de impacto, en % (máximo 30%)

L= longitud, en metros, claro que debe cargarse para producir el máximo esfuerzo.

$$I = 15.24 / (1.55 + 38.10) = 0.38 > 0.30 \dots \text{se tomará el 30\%}$$

El momento y cortante por carga viva (Mcv) son:

$$M_{cv+I} = 6.14 \text{ Ton-m/m}$$

$$V_{CV+I} = 3.96 \text{ ton}$$

Cálculo de los Esfuerzos Permisibles

$$F_s = 1343 \left(1 + \frac{MCM}{M_{CV+I}} \right) \leq 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_s = 2,529.55 \text{ kg-m...por lo tanto:}$$

$$F_s = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

Revisión por Cortante

$$V_D = 3,957.83 \text{ kg} + 2,306 \text{ kg}$$

$$V_D = 6263.83 \text{ kg}$$

$$V_C = 0.254 \sqrt{f_c} b d$$

$$V_C = 8,032.185 \text{ kg}$$

$$6,263.83 \text{ kg} < 8,032.185 \text{ kg} \dots \text{pasa por Cortante}$$

Calculo de las Propiedades Geométricas de la Sección

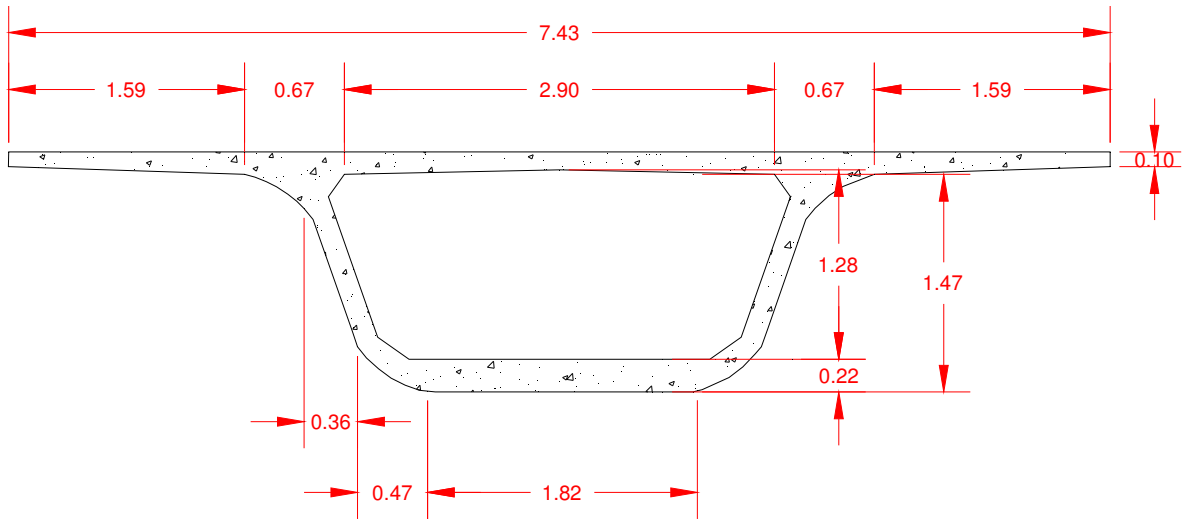


Figura 36. Dimensiones de Trabe Cajón Presforzada.

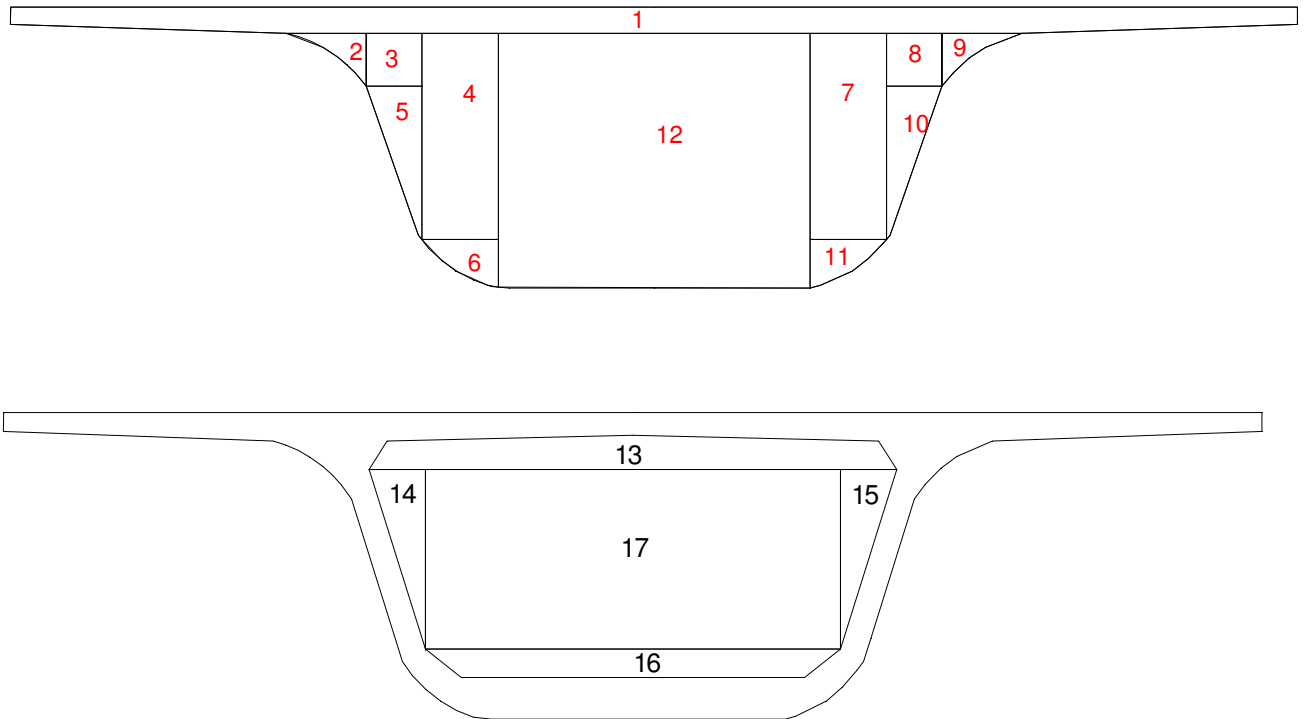


Figura 37. División de Áreas de Trabe Cajón para cálculo de propiedades geométricas.

Sección Simple

ELEMENTO	A	Y	AY	y	AY ²	Io
1	1.0415	1.57	1.6351	0.51	0.2709	0.0018
2	0.0523	1.36	0.0711	0.30	0.0047	0.0001
3	0.0978	1.32	0.1290	0.26	0.0066	0.0008
4	0.528	0.87	0.4594	-0.19	0.0191	0.0617
5	0.1464	0.86	0.1259	-0.20	0.0058	0.0006
6	0.0781	0.18	0.0141	-0.88	0.0605	0.0003
7	0.528	0.87	0.4594	-0.19	0.0191	0.0617
8	0.0978	1.32	0.1290	0.26	0.0066	0.0008
9	0.0523	1.36	0.0711	0.30	0.0047	0.0001
10	0.1464	0.86	0.1259	-0.20	0.0059	0.0006
11	0.0781	0.18	0.0141	-0.91	0.0647	0.0003
12	2.643	0.74	1.9558	-0.32	0.2706	0.4753
13	-0.4964	1.39	-0.6899	0.33	-0.0540	-0.0012
14	-0.1576	1.00	-0.1576	-0.06	-0.0006	-0.0007
15	-0.1576	1.00	-0.1576	-0.06	-0.0006	-0.0007
16	-0.336	0.3	-0.1008	-0.76	-0.1940	-0.0006
17	-2.326	0.84	-1.9538	-0.22	-0.1126	-0.1745
Σ	2.01		2.14		0.3774	0.4264

$$Y_i = 2.14 / 2.01 = 1.06$$

$$Y_s = 1.62 - 1.06 = 0.56$$

$$I = 0.4264 + 0.3774 = 0.8038 \text{ m}^4$$

$$S_i = 0.8038 / 1.06 = 0.7583$$

$$S_s = 0.8038 / 0.56 = 1.4354$$

Sección Compuesta

$$b_{real} = 743 \sqrt{\frac{250}{350}}$$

$$b_{real} = 627.95 \text{ m}$$

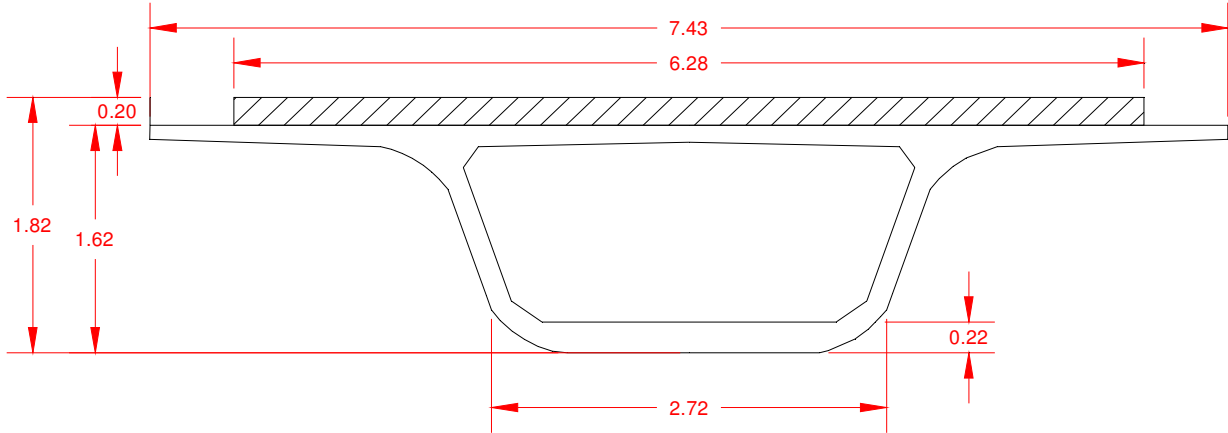


FIGURA	Área	Y	AY	y	Ay ²	I _o
1	1.25	1.72	2.15	0.38	0.1805	0.0004
2	2.01	1.06	2.13	-0.28	0.1576	0.8038
	3.26		4.28		0.3381	0.8042

$$Y_i = 4.28 / 3.26 = 1.34 \text{ m}$$

$$Y_s = 1.62 - 1.34 = 0.28 \text{ m}$$

$$Y_{s'} = 1.82 - 1.34 = 0.48 \text{ m}$$

$$S_i = 1.1423 / 1.34 = 0.8525 \text{ m}^3$$

$$S_s = 1.1423 / 0.28 = 4.0796 \text{ m}^3$$

$$S_{s'} = 1.1423 / 0.48 = 2.3798 \text{ m}^3$$

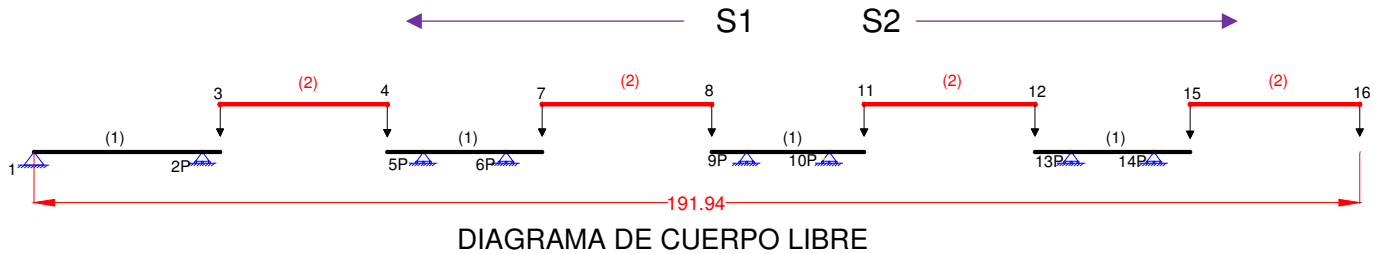
$$I = 0.3381 + 0.8042 = 1.1423$$

Elementos Mecánicos

Cálculo de los Elementos Mecánicos en el PSV Juan Pablo II el cual está estructurado a base de vigas articuladas con una longitud de total de 191.94 mts.

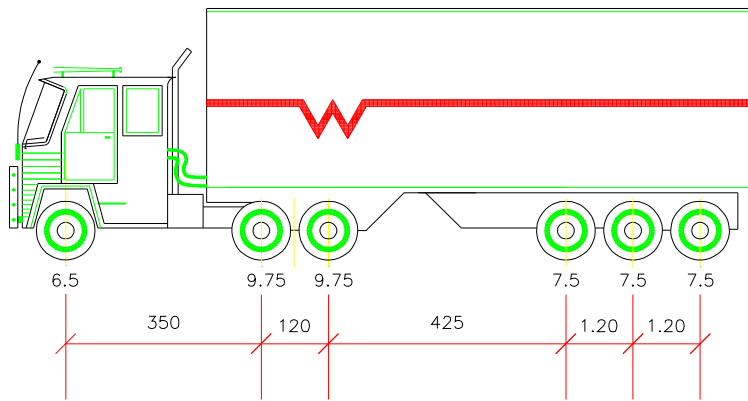
A continuación, se analiza cada tramo para identificar el más crítico.

Consideraciones de Cálculo:



- (1) TRAMOS DE ANCLAJE
- (2) TRAMOS SUSPENDIDOS

Carga Viva de proyecto: Camión T3-S3 de 48.5 Ton



CAMION T3-S3
(PESOS EN TONELADAS Y POR EJE)

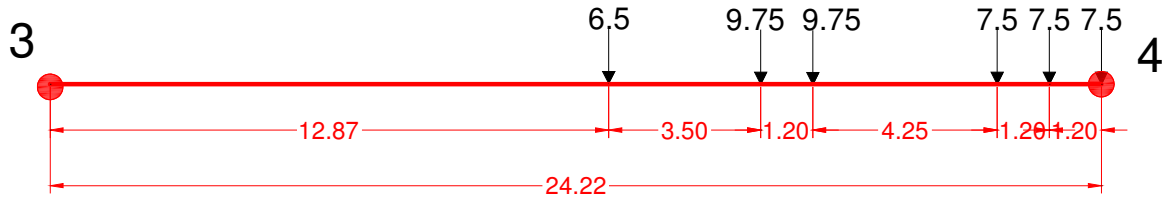
CARGAS POR EJE Y SEPARACION ENTRE EJES

48.5 Tons.

A continuación, se presenta la configuración de los tramos suspendidos para obtener las cargas que transmiten en las articulaciones para los tramos de anclaje.

SENTIDO 1 (S1)

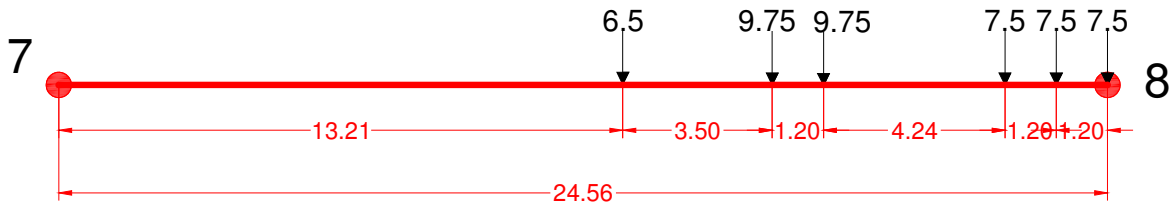
Tramo 3 – 4



R4= 38.50 Ton

R3 =10.00 Ton

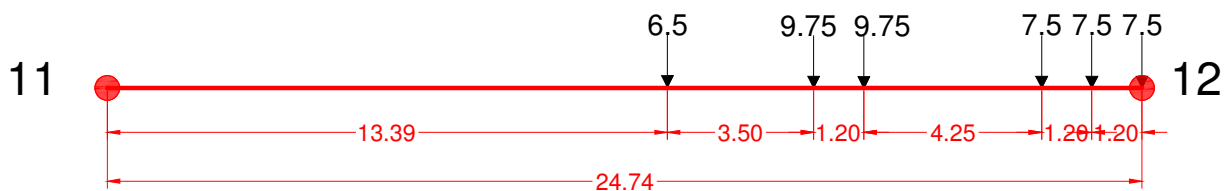
Tramo 7 – 8



R8= 38.64 Ton

R7 =9.86 Ton

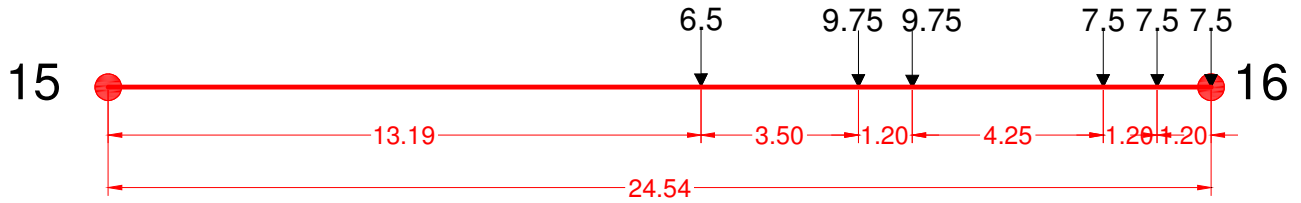
Tramo 11 – 12



R12= 38.71 Ton

R11 = 9.79 Ton

Tramo 15 – 16

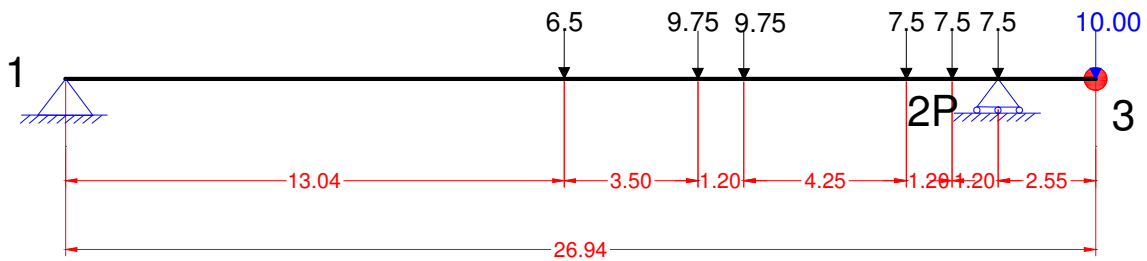


R16= 38.63 Ton

R15 =9.87 Ton

Tramo 1 – 2P

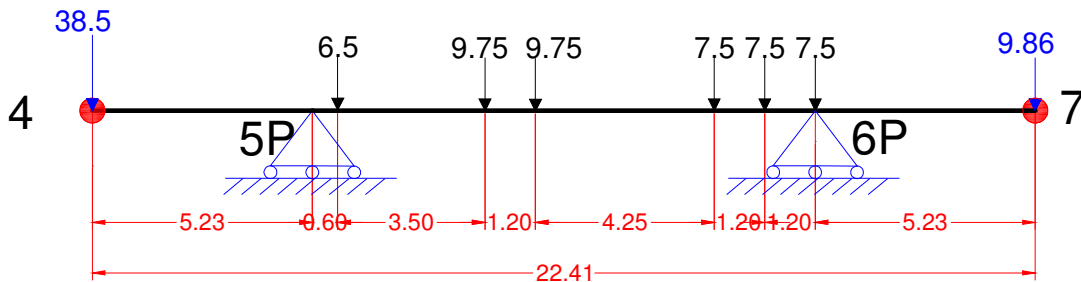
Colocando las cargas del camión de proyecto en el apoyo 2 para tener la condición más desfavorable tenemos:



R2=49.62 Ton

R1=8.88 Ton

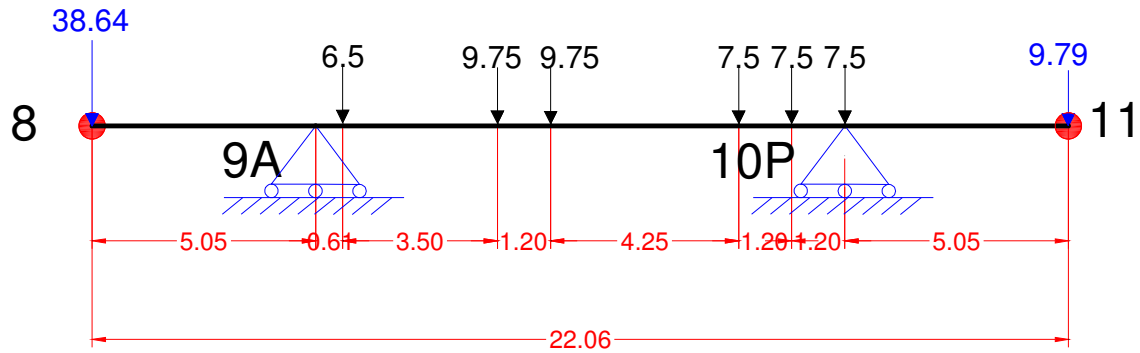
Tramo 4 – 7



R6P= 25.56 Ton

R5P= 71.30 Ton

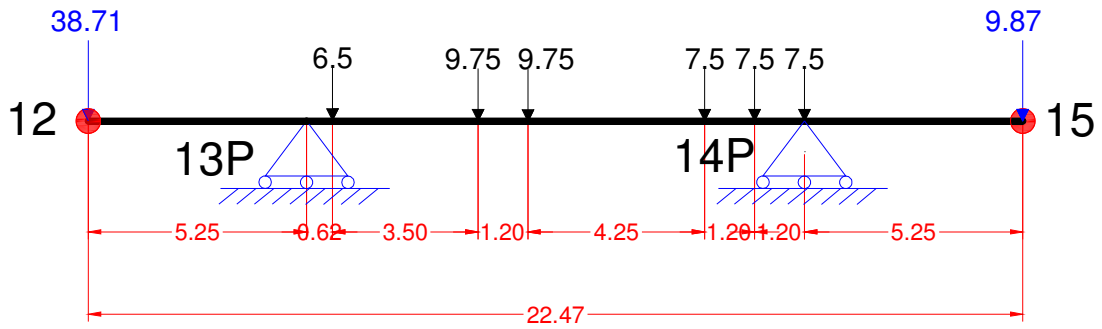
Tramo 8 – 11



R10P= 25.83 Ton

R9A= 71.10 Ton

Tramo 12 – 15



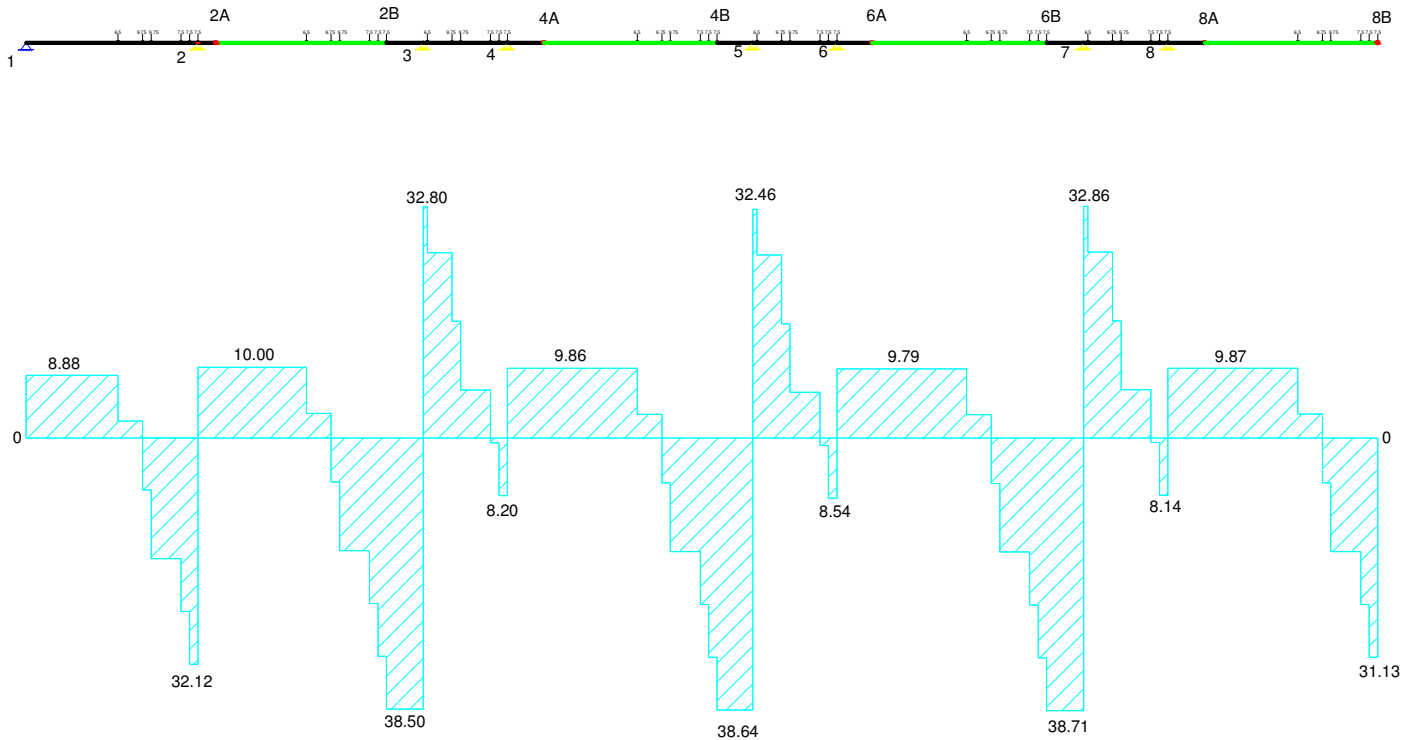
R14P= 25.51 Ton

R13P= 71.57 Ton

RESUMEN DE REACCIONES EN APOYOS Y DIAGRAMA DE CORTANTE

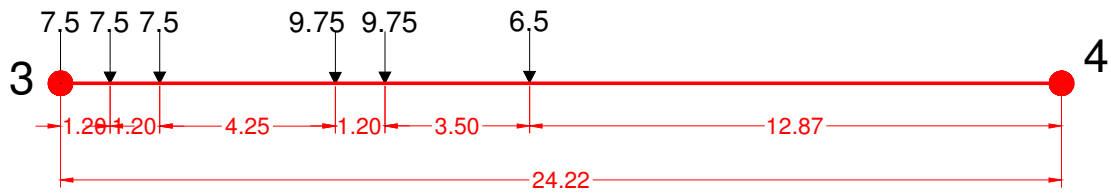
R1	8.88
R2P	49.62
R5P	71.30
R6P	25.56
R9P	71.10
R10P	25.83
R13P	71.57
R14P	25.51

Analizando los valores de las reacciones en los apoyos podemos observar que el más alto se encuentra en el apoyo número 8, dirección Coacalco.



SENTIDO 2 (S2)

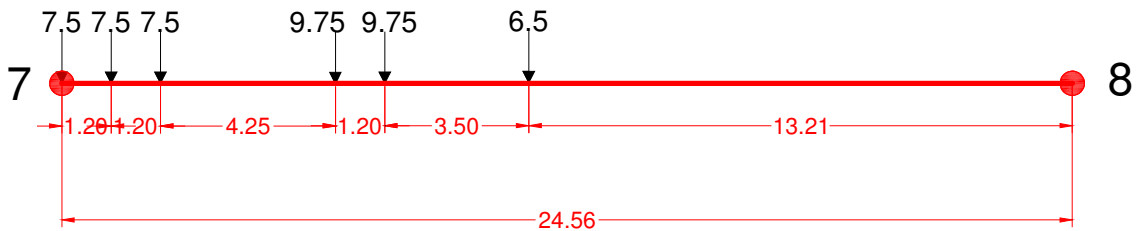
Tramo 3 – 4



R3= 38.50 Ton

R4 =10.00 Ton

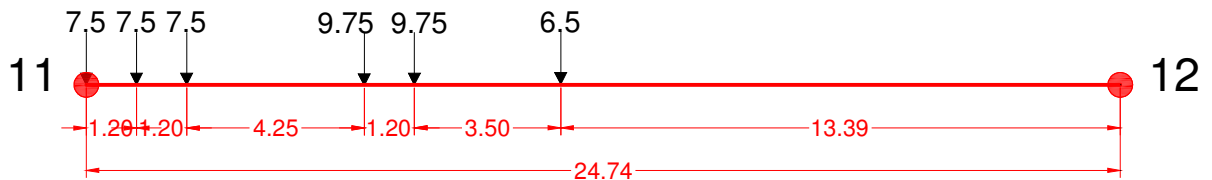
Tramo 7 – 8



R7= 38.64 Ton

R8 =9.86 Ton

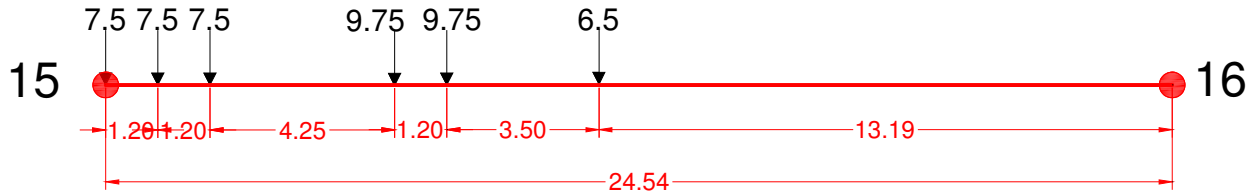
Tramo 11 – 12



R11= 38.71Ton

R12 = 9.79 Ton

Tramo 15 – 16

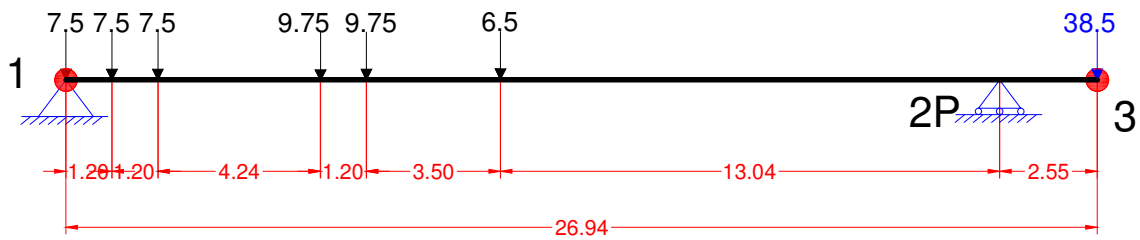


R8A= 38.63 Ton

R8B =9.87 Ton

Tramo 1 - 3

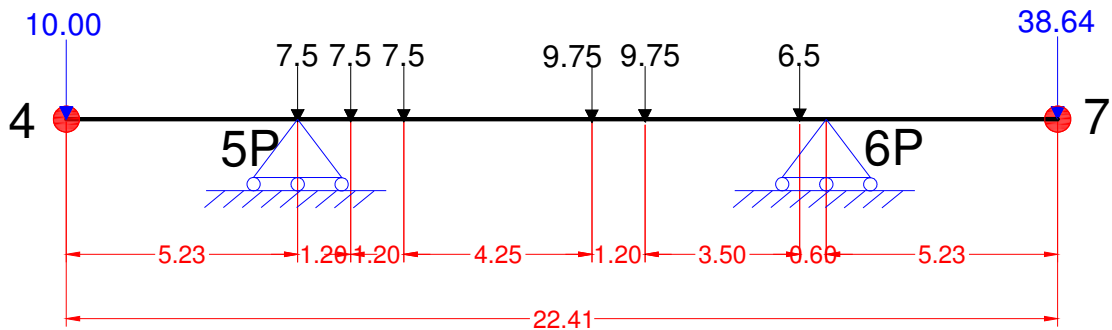
Colocando las cargas del camión de proyecto en el apoyo 2 para tener la condición más desfavorable tenemos:



R2P= 52.50 Ton

R1=34.50 Ton

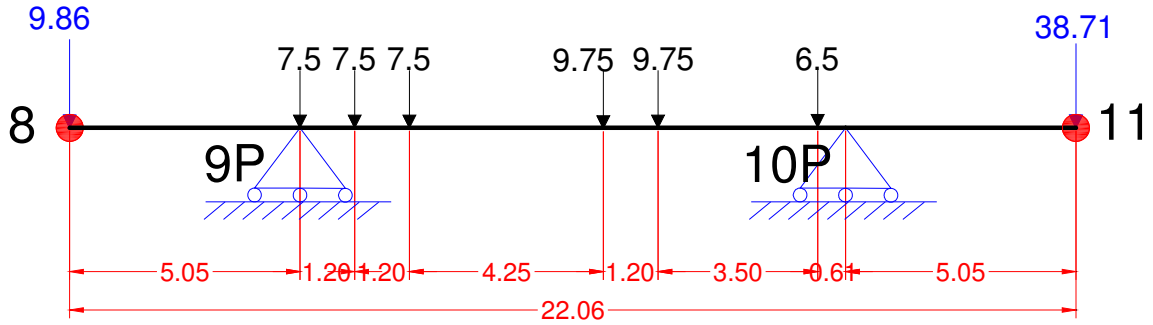
Tramo 4 – 7



R6P= 76.86 Ton

R5P= 20.28 Ton

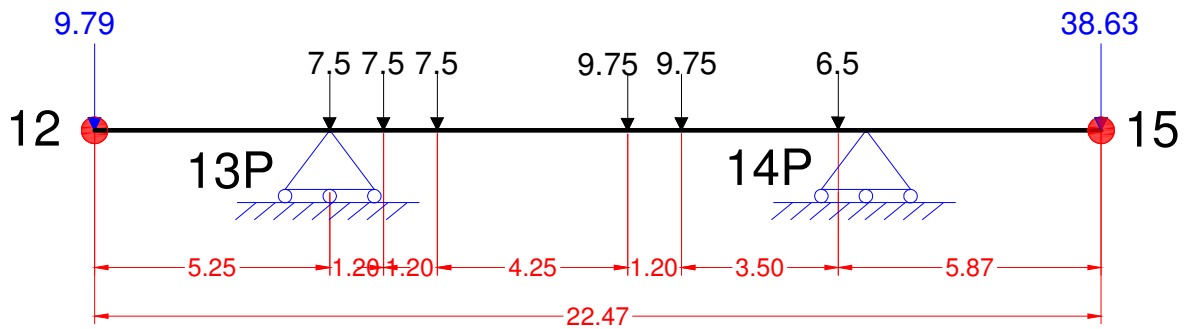
Tramo 8 – 11



R10P= 71.14 Ton

R9P= 25.93 Ton

Tramo 6B – 8A



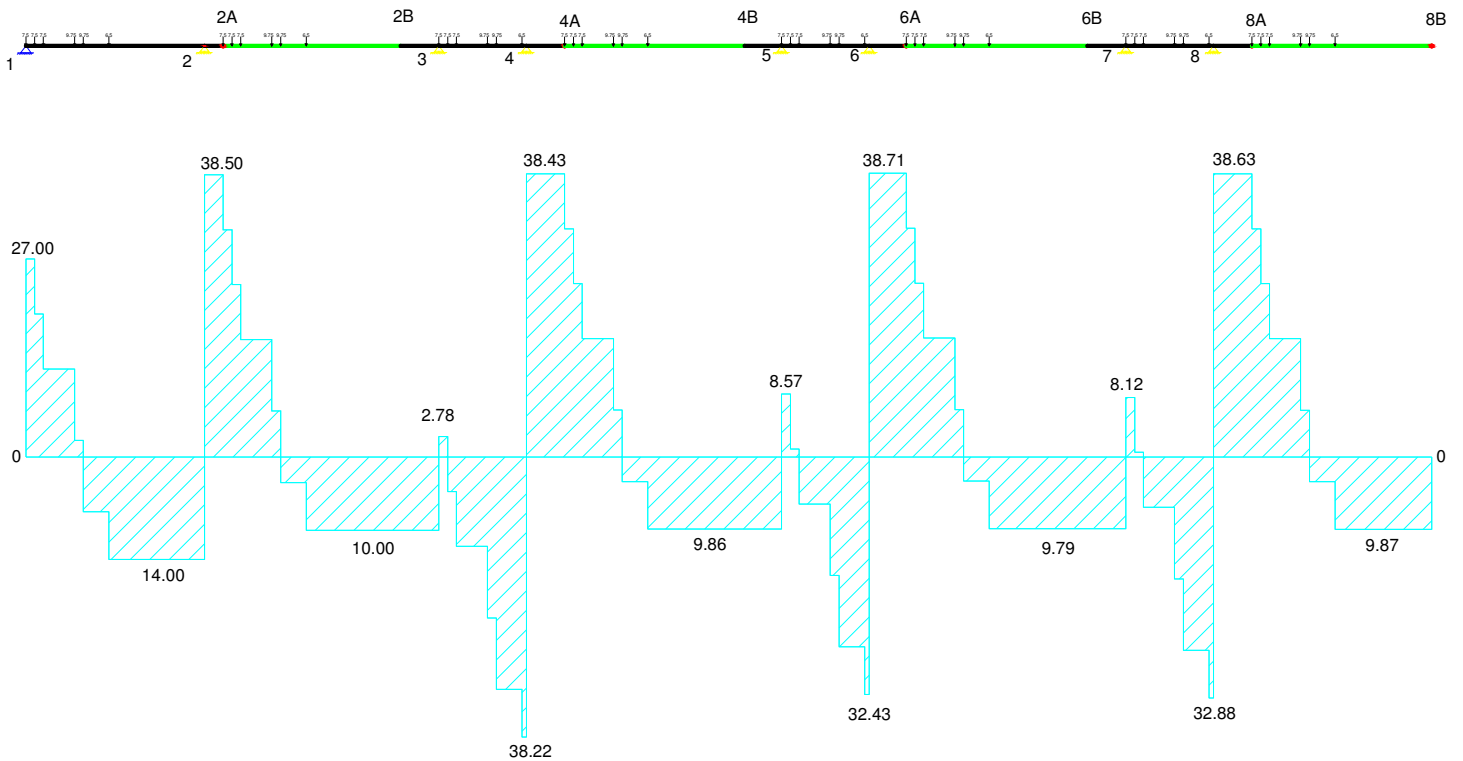
R14P= 71.51 Ton

R13P= 25.41 Ton

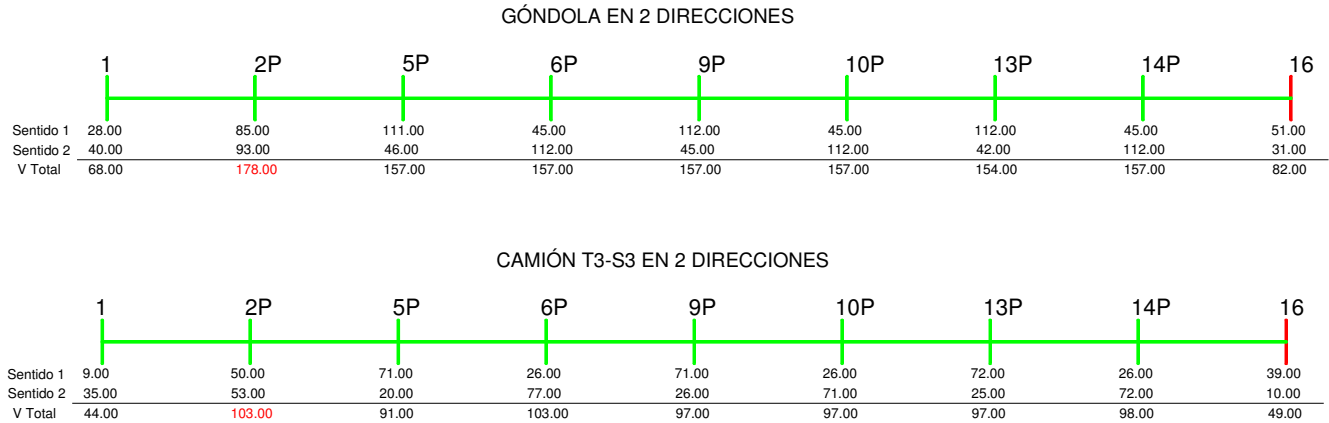
RESUMEN DE REACCIONES EN APOYOS Y DIAGRAMA DE CORTANTE

R1	34.50
R2P	52.50
R5P	20.28
R6P	76.86
R9P	25.93
R10P	71.14
R13P	25.41
R14P	71.51

Analizando los valores de las reacciones en los apoyos podemos observar que el más alto se encuentra en el apoyo número 4.



RESUMEN DE CORTANTE POR CARGA VIVA EN APOYOS



3.2.- Cargas en condiciones de servicio (2018)

Calculo de Reacciones con Camión Especial (Tipo Góndola)

De acuerdo a lo que marca la NORMA Oficial Mexicana **NOM-012-SCT-2-2014**, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal, dice que:

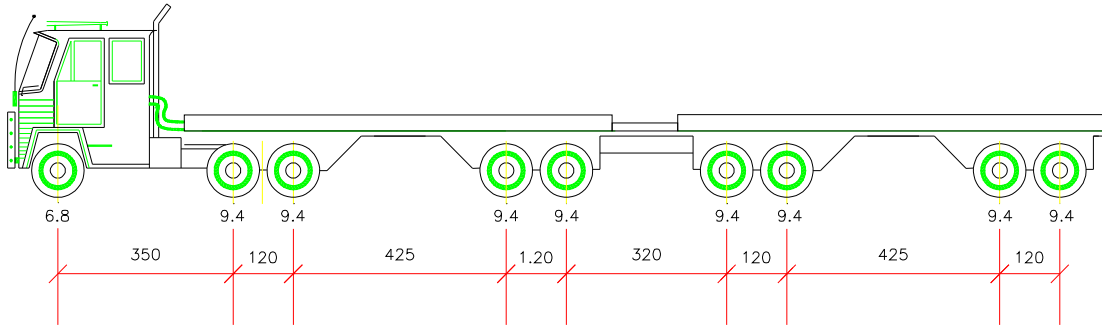
Unidad vehicular tipo góndola o madrina:

Configuración vehicular integrada por un camión-remolque acoplados con un convertidor o con una quinta baja; tractocamión-semirremolque o tractocamión-semirremolque-remolque o tractocamión-semirremolque-semirremolque acoplados con un convertidor o con una quinta baja, destinada al transporte de vehículos sin rodar.

Para las cargas en los ejes del camión especial se considera lo que dice el apartado de la norma:

6.1.2.2 "El peso bruto vehicular máximo autorizado para los tractocamiones doblemente articulados en sus distintas configuraciones vehiculares (T-S-R y T-S-S), se podrá incrementar en 1,5 t en cada eje motriz y 1,0 t en cada eje de carga exclusivamente cuando circulen por caminos tipo "ET" y "A", siempre y cuando cumplan con todas y cada una de las especificaciones técnicas".

Se usará la configuración siguiente para el análisis con el camión especial:



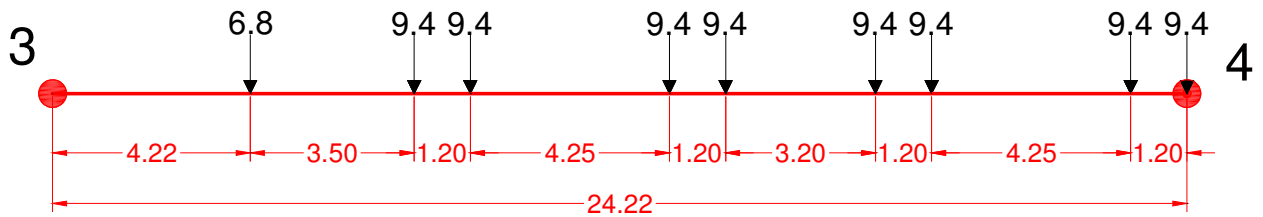
CAMION TIPO GONDOLA-MADRINA
(PESOS EN TONELADAS Y POR EJE)

CARGAS POR EJE Y SEPARACION ENTRE EJES

82.00 Tons.

SENTIDO 1 (S1)

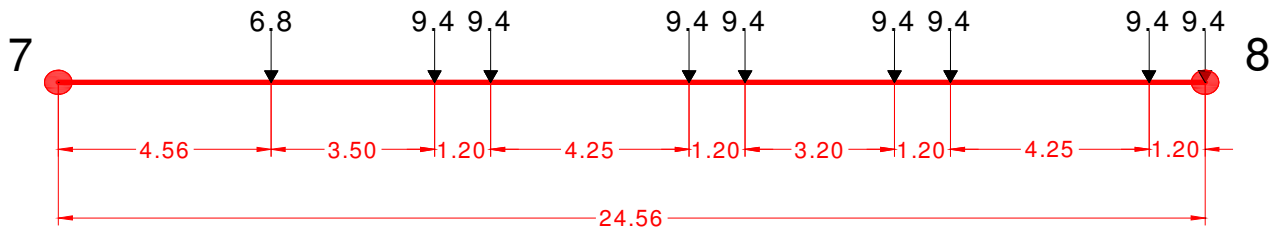
Tramo 3 – 4



R4= 50.77 Ton

R3=31.23 Ton

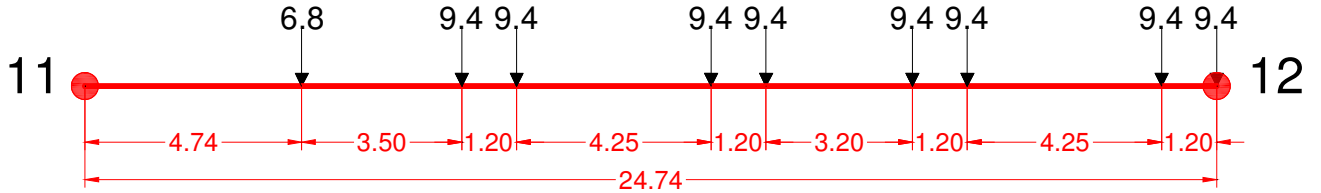
Tramo 7 – 8



R8= 51.16 Ton

R7 =30.84 Ton

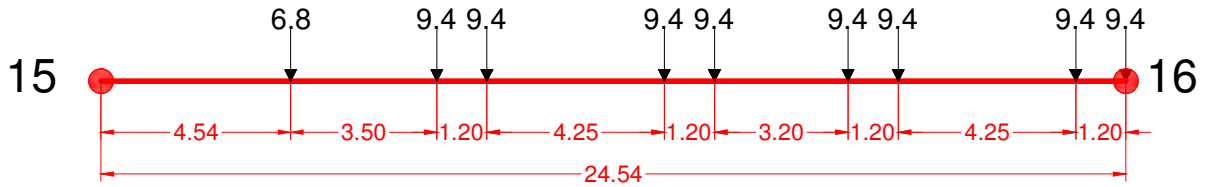
Tramo 6A – 6B



R6B= 51.56 Ton

R6A =30.44 Ton

Tramo 15 – 16

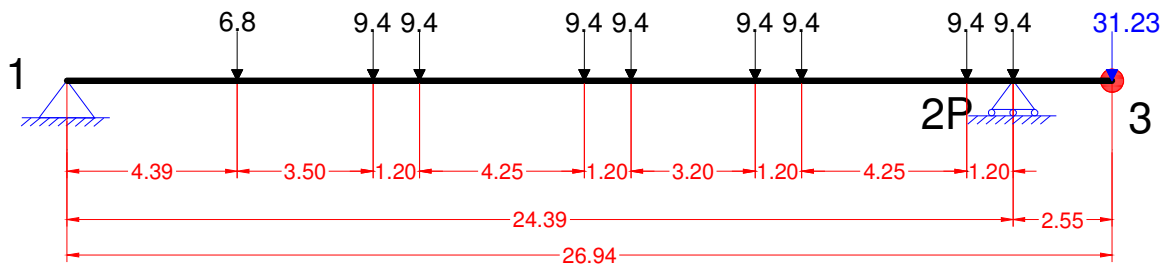


R16= 51.13 Ton

R15 =30.87 Ton

Tramo 1 - 3

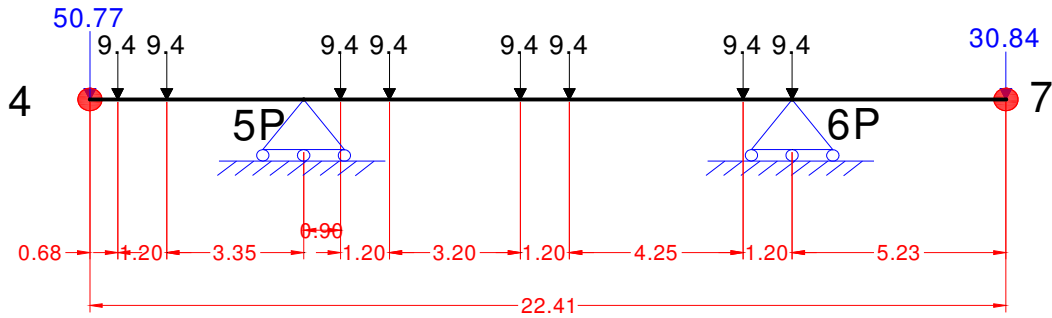
Colocando las cargas del camión de proyecto en el apoyo 2 para tener la condición más desfavorable tenemos:



R2P= 85.48 Ton

R1=27.75 Ton

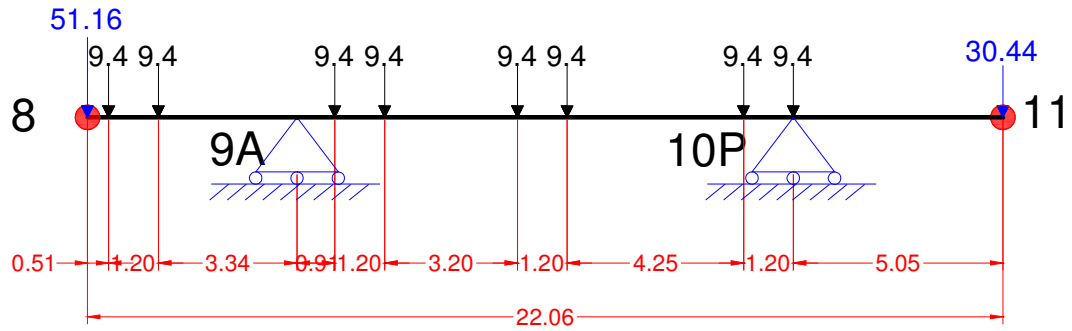
Tramo 4 – 7



R6P= 45.40 Ton

R5P= 111.41 Ton

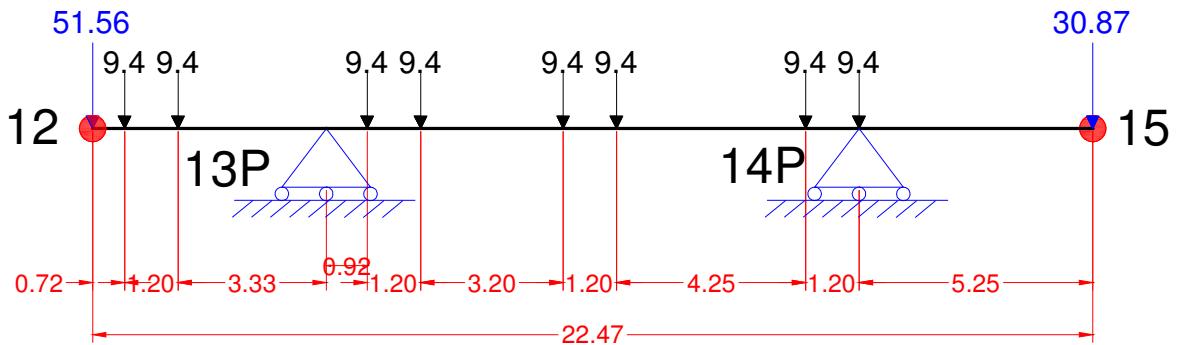
Tramo 8 – 11



R10P= 45.02 Ton

R9A= 111.78 Ton

Tramo 6B – 8A



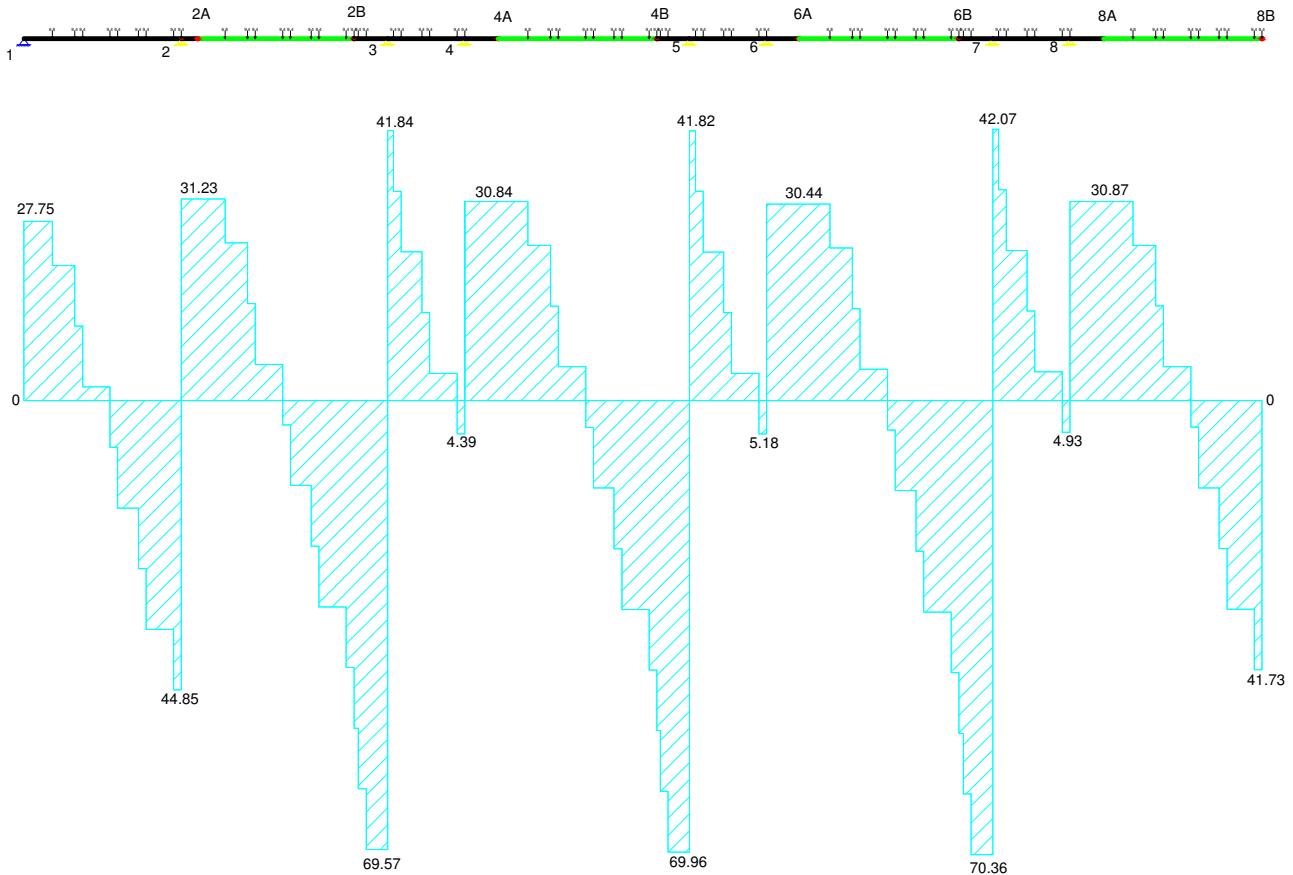
R14P= 45.20 Ton

R13P= 112.43 Ton

RESUMEN DE REACCIONES EN APOYOS Y DIAGRAMA DE CORTANTE

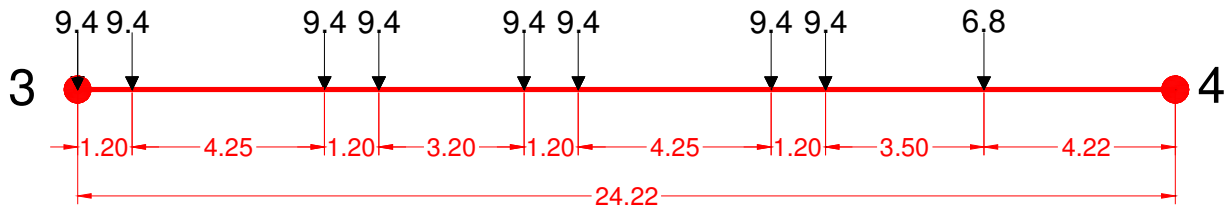
R1	27.75
R2P	85.48
R5P	111.41
R6P	45.40
R9P	111.78
R10P	45.02
R13P	112.43
R14P	45.20

Analizando los valores de las reacciones en los apoyos podemos observar que el más alto se encuentra en el apoyo número 7.



SENTIDO 2 (S2)

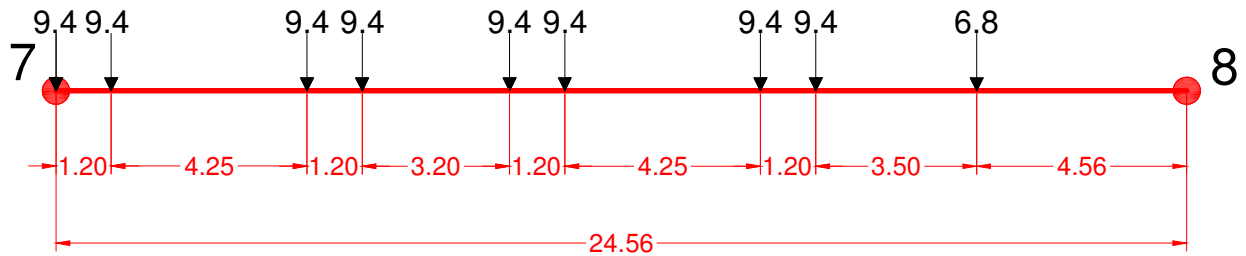
Tramo 3 – 4



R3= 50.77 Ton

R2B =31.23 Ton

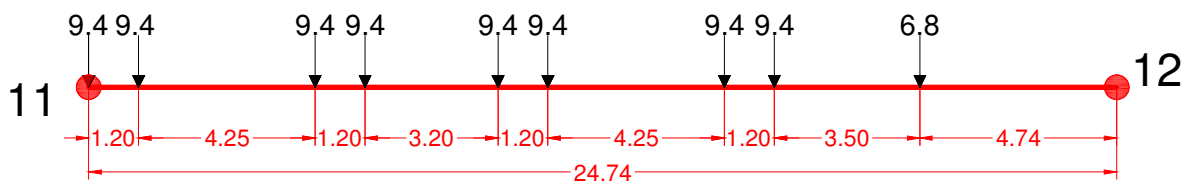
Tramo 7– 8



R7= 51.16 Ton

R8 =30.84 Ton

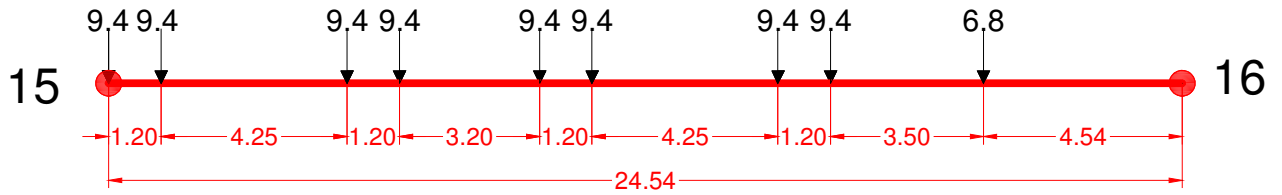
Tramo 11 – 12



R11= 51.43Ton

R12 =30.57 Ton

Tramo 15 – 16

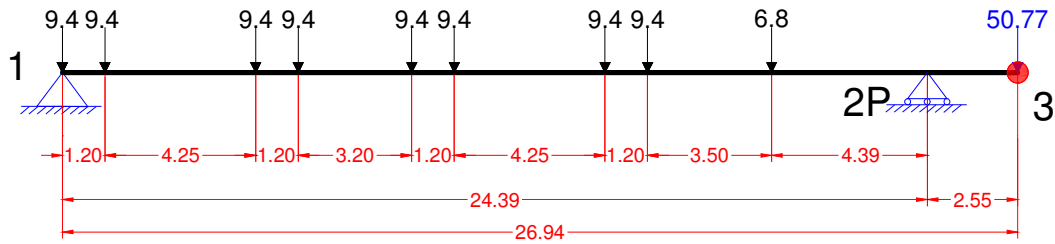


R5= 51.13 Ton

R16 =30.87 Ton

Tramo 1 - 3

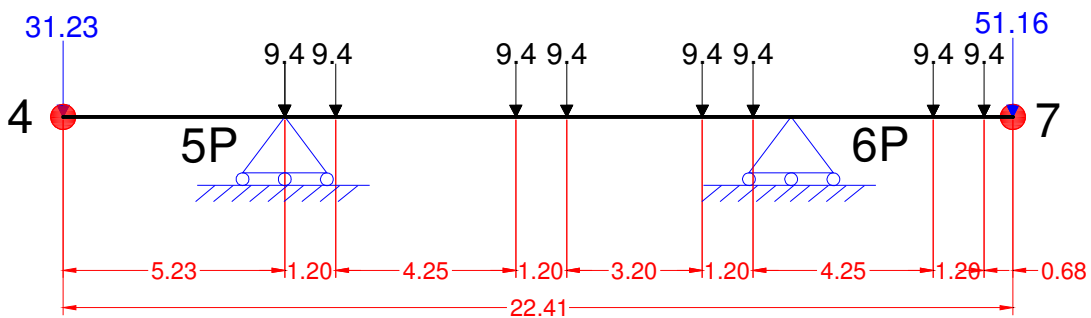
Colocando las cargas del camión de proyecto en el apoyo 2 para tener la condición más desfavorable tenemos:



R2P= 92.98 Ton

R1=39.79 Ton

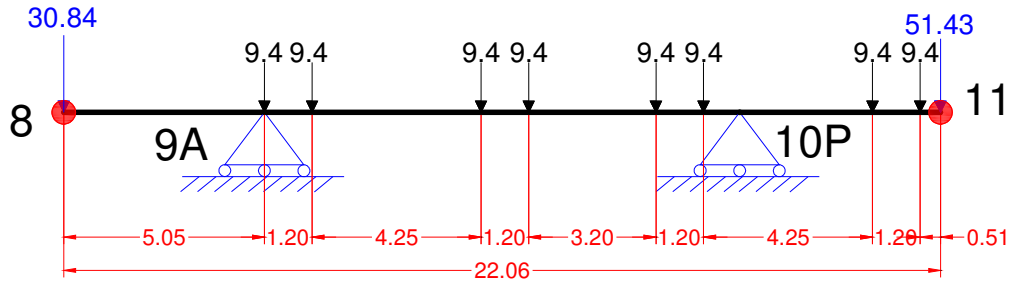
Tramo 4 – 7



R6P= 111.80 Ton

R5P= 45.80 Ton

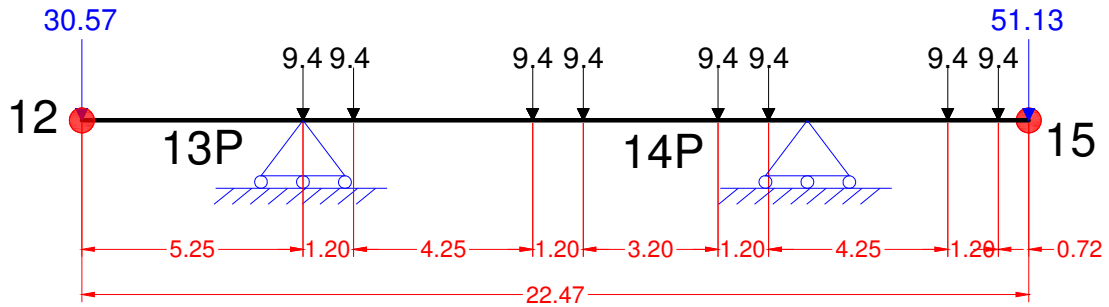
Tramo 8 – 11



R10P= 111.99 Ton

R9A= 45.48 Ton

Tramo 12 – 15



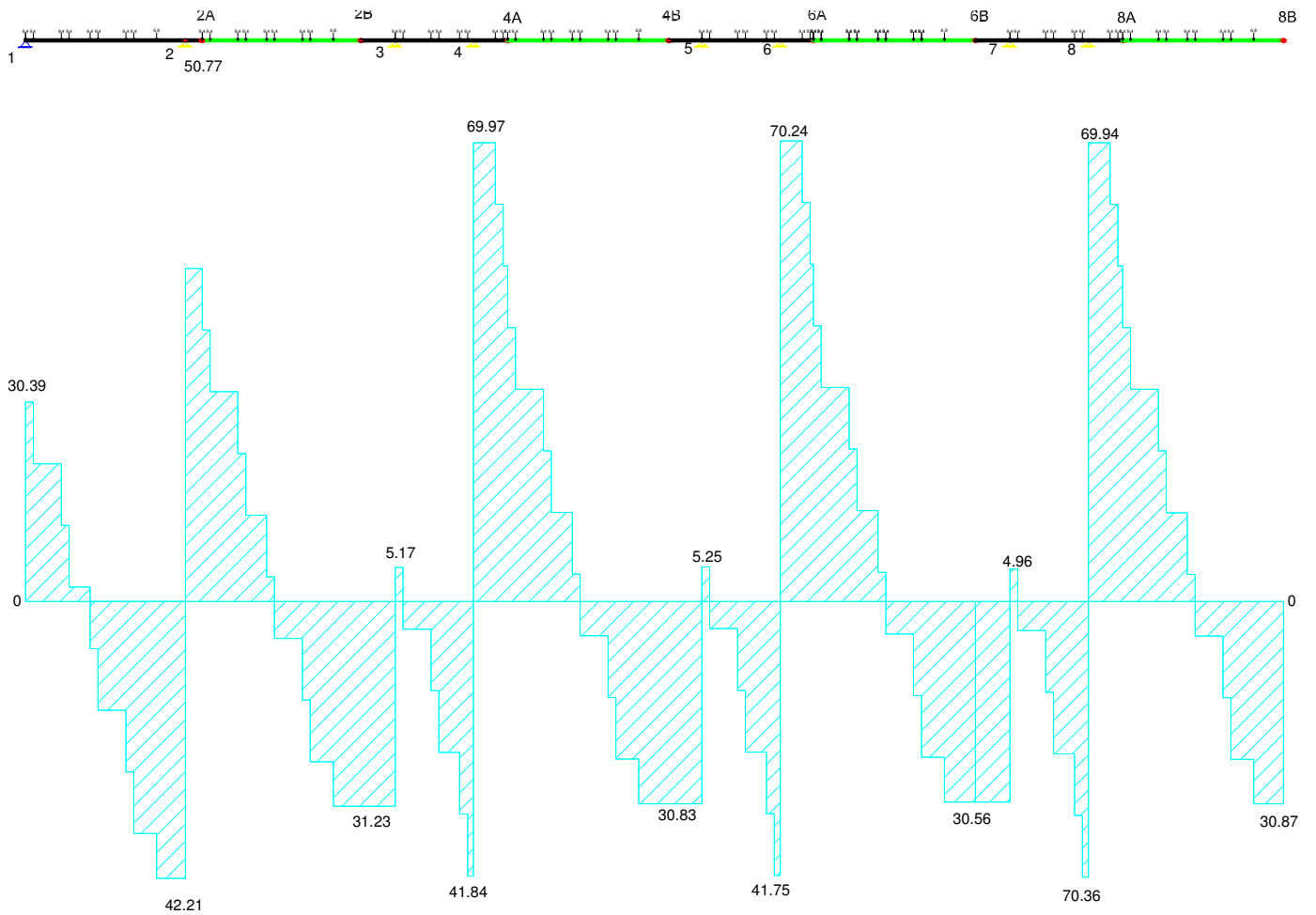
R14P= 111.98 Ton

R13P= 44.92 Ton

RESUMEN DE REACCIONES EN APOYOS Y DIAGRAMA DE CORTANTE

R1	39.79
R2P	92.98
R5P	45.80
R6P	111.80
R9P	39.80
R10P	138.04
R13P	44.92
R14P	111.98

Analizando los valores de las reacciones en los apoyos podemos observar que el más alto se encuentra en el apoyo número 8.



Tesina: Evaluación estructural del PSV "Juan Pablo II" y propuesta de reforzamiento con fibra de carbono.

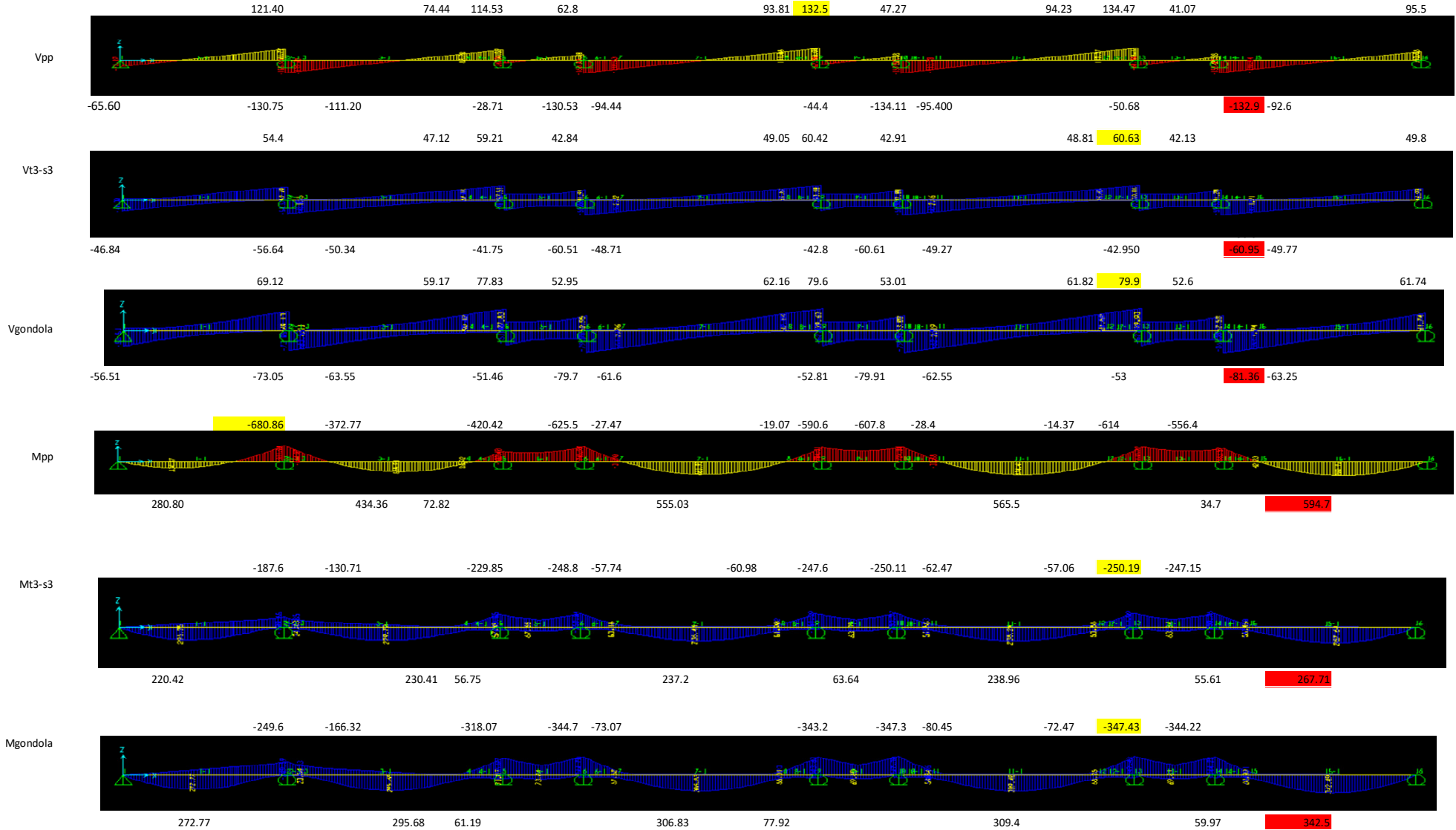


Figura 38. Diagrama de cortantes y momentos obtenidos del programa SAP 2000.

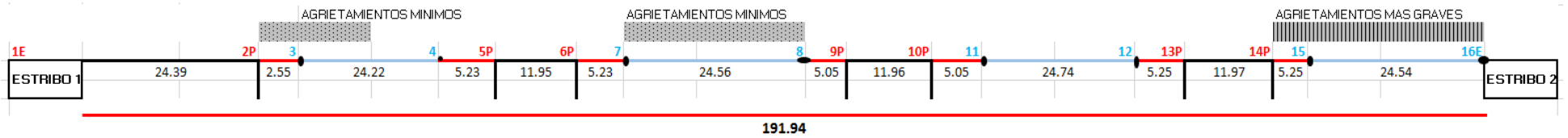


Figura 39. Localización de agrietamientos en la estructura.

De acuerdo al análisis de los elementos mecánicos se encontró que los daños más importantes se localizan en el **último tramo del puente ubicado en el claro 14P al 16** con dirección a Coacalco donde se observaron un mayor número de agrietamientos en la estructura.

Si bien en las visitas en campo se visualizaron agrietamientos en varios tramos del puente son mínimos y muy aislados, para una propuesta de reforzamiento no tendría caso hacer una revisión, por lo que se pondrá atención en el tramo más afectado realizando un análisis más completo que sea interesante para aplicar el procedimiento de reforzamiento por fibra de carbono.

Análisis de Cargas en Tramo de Salida

1.-Peso Propio de Trabe

W =4.82 Ton/m
Ma=534.69 Ton-m/m
V= 71.79 Ton

2. – Losa

W=3.03 Ton/m
M=327.24 Ton-m/m
V= 43.94 Ton

3.- Carpeta Asfáltica, Parapeto y Guarnición

W asfalto= 1.90 Ton/m
W guarnición=0.47 Ton/m
W parapeto= 0.40 Ton
W total = 2.77 Ton/m

M= 2.77 x 29.79²/8 = 307.28 Ton/m
V= 2.77 x 29.79/2= 41.26 Ton/m

4.-Carga Viva + Impacto

De acuerdo a las normas AASHTO el impacto se calcula con la siguiente fórmula.

$$I = \frac{15.24}{S + 38.10} < 0.30$$

I= 0.22

M+I= **=326.48 Ton-m**
V+I= **= 60.76Ton**

$$M1=534.69 + 327.24 = \mathbf{583.72 \text{ Ton-m}}$$

$$M2=307.28 + 326.48 = \mathbf{633.76 \text{ Ton-m}}$$

Para revisar el elemento se calcula el No. De Torones, ya que no se tienen los de proyecto.

Estimación de la fuerza de Presfuerzo con la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\left(\frac{M1}{S_{is}} + \frac{M2}{S_{ic}} - f_{p^+}\right)}{\frac{1}{A_{ss}} + \frac{e}{S_{is}}}$$

$$f_{p^+} = 1.6\sqrt{f'_c} = 29.93 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{prop} = 7.5 \text{ cm}$$

$$e_{ss} = y_i - e_{prop} = 106 - 7.5 = 98.5 \text{ cm}$$

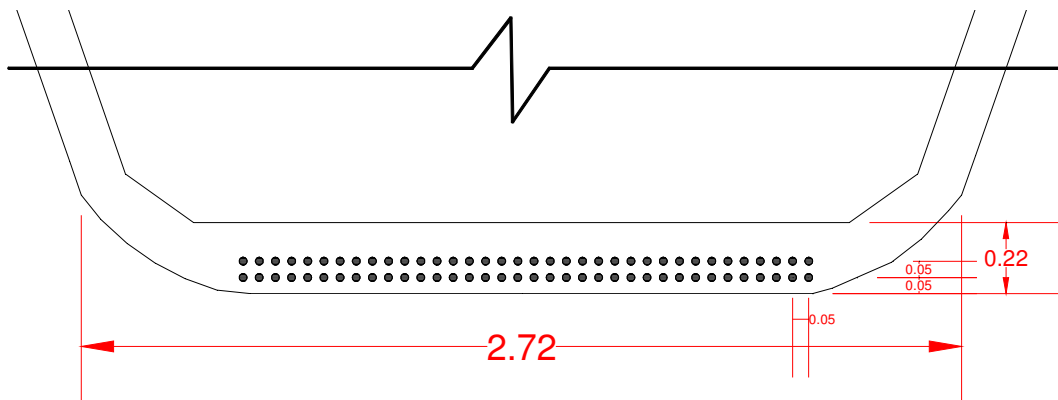
$$P=787,481.83 \text{ kg}$$

Se propone un esfuerzo de tensado de $0.78f_{sr}$ unas pérdidas del 20%.

$$N = \frac{P}{(0.78 - 0.20)f_{sr} \times A_{sp}}$$

$$N= 71.46 = 72 \text{ Torones}$$

Se define cuantía de acero con torones de $\varnothing \frac{1}{2}$ " en 2 camadas de 36 con una separación de 5cm.



$$e' = 7.5 \text{ cm}$$

$$e_{ss} = (106 - 7.5) = 98.5 \text{ cm}$$

3.3.- Evaluación del comportamiento considerando la reducción de la resistencia del Concreto

Podemos observar que los resultados obtenidos en laboratorio de las pruebas con Esclerómetro y extracción de corazones nos arrojan valores por debajo de las resistencias normales que se esperan para los elementos considerados en el diseño, es lógico que las cargas que actúan dañarían las condiciones de servicio de estas estructuras.

Por ejemplo, la resistencia considerada es trabes y losa en proyecto original son:

$F'c$ Losa= 250 Kg/cm²
 $F'c$ Trabes= 350 kg/cm²

Y las resistencias promedio obtenidas en las pruebas en Laboratorio son, para el claro analizado:

Extracción de Corazones:

$F'c$ Losa= 184.88 Kg/cm²
 $F'c$ Trabes= 290.575 kg/cm²

Esclerómetro:

Trabe Izquierda
 $F'c$ Trabes= 199.00 kg/cm²

Losa Inferior
 $F'c$ Trabes= 200.00 kg/cm²

Trabe Derecha
 $F'c$ Trabes= 190.00 kg/cm²

Losa Inferior
 $F'c$ Trabes= 195.00 kg/cm²

Como podemos notar las pruebas de extracción de corazones son mayores en comparación a las realizadas con esclerómetro, por esto mismo son las que se tomaron para el diseño actual, afectando principalmente las características de la sección compuesta para el cálculo del Presfuerzo, reduciendo la longitud del ancho efectivo de la losa, que como consecuencia reduce el momento de Inercia y los módulos de sección.

Otro aspecto a considerar, fue el uso del camión de diseño tipo Góndola, ya que este se acerca más al tipo de carga que circula en la estructura y es más

desfavorable que el que marcan la normas AASHTO, variando el número de ejes de carga y el peso de cada carga, aumentando la resultante de cargas.

1.- Cortante y Momento de Diseño

Datos

Carga Camión T3-S3

Tramo a analizar 14P-16

S=29.79 m

$f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$

No. De Torones: 72

Área de Torón: 0.987 cm^2

Considerando dos carriles de elementos mecánicos se considera el 100%.

$N = E_s/E_c$

$N = 8$

VD = 217.75 Ton

MD = 1,217.48 Ton-m

Cuantías de Acero

$F_s = 11400 \text{ kg/cm}^2$

$F_c = 0.4 \times f'_c$

$F_c = 0.4 \times 350 = 140 \text{ kg/cm}^2$

$S_s = 1.4354 \text{ m}^3 \dots$ Sección Simple

$S_s = 4.0796 \text{ m}^3 \dots$ Sección Compuesta

$S_i = 0.7583 \dots$ Sección Simple

$S_i = 0.8525 \dots$ Sección Compuesta

$E = 98.5 \text{ cm}$

Área Trabe = 2.01 m^2

$$k = \frac{1}{1 + \frac{11400}{nfc}}$$

$k = 0.36$

$j = 1 - k/3$

$$j=0.88$$
$$r = \frac{1}{2} fckj$$
$$r=22.18$$

$$d = \sqrt{\frac{MD}{rb}}$$

$$d = 44.92 \text{ cm}$$

Verificación del Peralte por cortante

$$V_p = 0.254x\sqrt{f'c}$$
$$V_p = 4.75 \text{ kg/cm}^2$$

$$d = \frac{VD}{V_pjb}$$

$$d = 191.51 \text{ cm}$$

$$h = 196.51 \text{ cm}$$

2.- Cargas en condiciones de servicio

Datos

Carga Camión Góndola
Tramo a analizar 14P-16E
S=29.79 m
F'c=184.88 kg/cm²

Considerando dos carriles de elementos mecánicos se considera el 100%.

$$N = E_s/E_c$$
$$N = 10.71 = 11$$

Cortante y Momento por Carga muerta

W=Peso Propio Trabe + Peso Losa + Peso Guarnición y Parapeto + Peso Carpeta

$$W = 10.62 \text{ Ton}$$

$$V_{cm} = 158.18 \text{ Ton}$$

$$M_{cm} = 1178.08 \text{ Ton/m}$$

Cortante y Momento por Carga viva

$$I = \frac{15.24}{S + 38.10} < 0.30$$

$$I = 0.22$$

$$V_{cv+l} = 99.26 \text{ Ton}$$

$$M_{cv+l} = 417.84 \text{ Ton/m}$$

$$V_A = V_{cm} + (V_{cv+l})$$

$$V_A = 257.44 \text{ Ton}$$

$$M_A = M_{cm} + (M_{cv+l})$$

$$M_A = 1595.92 \text{ Ton-m}$$

Comparando

$$V_A < V_D$$

257.44 > 217.75..... El cortante actuante es mayor al de proyecto

$$M_A < M_D$$

1,595.92 > 1,217.48..... El momento actuante es mayor al de proyecto

3.- Momento y Cortante Resistente Ultimo

Datos:

$$f'_c = 184.88 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_u = 1.3 (C_M + 5/3 (C_V + l))$$

$$M_u = 2,288.70 \text{ Ton-m}$$

$$F_{sp} = f_{sr} (1 - 0.5 P_p \times f_{sr} / f'_c)$$

$$P_p = A_{sp} / b d$$

$$P_p = 0.00047$$

$$F_{sp} = 18,382.78 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = (A_{sp} \times 9,317.44) (d - a/2)$$

$$M_n = 2291.50 \text{ Ton-m}$$

$$M_R = 0.9 M_n$$

MR= 2,162.35 Ton-m

MR < MD

2,062.35 Ton-m > 1,217.48 Ton-m

Vu= 1.3 (CM + 5/3 CV)

$V_{umax} = 2.5 FR bd \sqrt{f_c} *$

VR= 222.92Ton

4.- Comparado Momento y Cortante actuante contra Momento y Cortante Resistente

MA > MR

1,595.92 Ton-m < 2,162.35 Ton-m...La sección es suficiente

VA > VR

257.44 Ton > 222.92Ton...La sección requiere reforzamiento

3.4.- Conclusiones de Análisis Estructural.

Como resultado de los análisis realizados en la superestructura, se tienen los siguientes comentarios, los cuales se desprenden de los daños observados y descritos en los reportes fotográficos, planos e inspecciones adjuntos en el presente informe.

Este trabajo se enfocó en la superestructura, la cual presenta daños debido a las cargas actuantes y el análisis realizado indica en que elemento es donde se tiene el problema.

1.- Se encontró problemas graves en trabes por efecto de cargas vivas las cuales rebasan lo permitido considerando la resistencia promedio del concreto en trabes presforzadas y las cargas actuantes.

2.- El último tramo suspendido presenta fisuras principalmente por cortante, debido a las cargas móviles excesivas.

En base a los resultados obtenidos por el análisis se recomienda considerar realizar reparaciones en las trabes dañadas con elementos que mejoren la capacidad de carga y que reduzcan los efectos negativos a corto plazo.

De acuerdo a los resultados del análisis se obtuvo lo siguiente:

MA > MR

1,595.92 Ton-m < 2,162.35 Ton-m

VA > VR

257.44 Ton > 222.92 Ton

Lo cual demuestra que el problema principal a solucionar es el cortante.

CAPITULO 4: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

4.1.- Factor de reducción de resistencia

Considerando que la viga cajón que se está revisando presenta agrietamientos y en este caso se considera incluir un factor de reducción de resistencia. Para la definición del factor se deberá tomar en cuenta.

Recurriendo a la bibliografía existente se va a considerar el siguiente factor:

Acción o Elemento Estructural		ϕ	Excepciones
(a)	Momento, fuerza axial o momento y fuerza axial combinados	0.65 a 0.9 de acuerdo con 21.2.2	Cerca de los extremos de elementos pretensados donde los torones no se han desarrollado totalmente, ϕ debe cumplir con 21.2.3.
(b)	Cortante	0.75	Se presentan requisitos adicionales en 21.2.4 para estructuras diseñadas para resistir efectos sísmicos.
(c)	Torsión	0.75	—
(d)	Aplastamiento	0.65	—
(e)	Zonas de anclajes de postensado	0.85	—
(f)	Cartelas y ménsulas	0.75	—
(g)	Puntales, tensores, zonas nodales y áreas de apoyo diseñadas de acuerdo con el método puntal-tensor del Capítulo 23	0.75	—
(h)	Componentes de conexiones de miembros prefabricados controlados por fluencia de los elementos de acero a tracción	0.9	—
(i)	Elementos de concreto simple	0.6	—
(j)	Anclajes en elementos de concreto	0.45 a 0.75 de acuerdo con el Capítulo 17	—

Figura 40. Factores de Reducción de Resistencia de la norma del ACI-318-14.

4.2.- Momento y Cortante reducidos.

Cálculo de Momento y Cortante afectados por el factor de reducción

Tomamos el factor de 0.75 de la tabla anterior. Y se afectan los valores.

$$\text{MRF} = 1,621.76 \text{ Ton-m}$$

$$\text{VRF} = 167.19 \text{ Ton}$$

6.- Comparación de Momentos y Cortantes Resistentes con reducción contra los Actuantes

Ahora comparando con las fuerzas actuantes tenemos:

$$\text{MRF} = 1,621.76 \text{ Ton-m} > \text{MA} = 1,595.92 \text{ Ton-m}$$

$$\text{VRF} = 167.19 \text{ Ton} < \text{VA} = 257.44 \text{ Ton}$$

Como se observa en la comparación los cortantes son los que no cumplen los valores permisibles, mientras que los momentos actuantes son prácticamente menores.

4.3.- Diferencias entre elementos mecánicos de Servicio vs Resistencia

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis empleando las cargas de proyecto como las actuantes se concluyó que existe una diferencia enorme, la cual se refleja en agrietamientos en las traveses de la superestructura.

Las reacciones en los apoyos de acuerdo a los diagramas de cortante muestran como en los tramos de anclaje se tienen valores muy altos, ya que en la transición con los tramos suspendidos las cargas son bastante grandes cuando se emplea el camión tipo góndola.

Evaluando los resultados obtenidos apoyados de la inspección realizada en campo, se puede concluir que los efectos de cortante en el alma de las traveses tipo cajón de puente Juan Pablo II son considerables rebasando la capacidad resistente de los elementos, mientras que los efectos de momento son menos desfavorables.

4.4.- Conclusiones de la Evaluación Estructural

La resistencia del concreto encontrada en las trabes se encuentra en un rango del 40 % menor a la requerida para elementos sometidos al Presfuerzo, por lo que el efecto del cortante se presenta naturalmente más rápido causando que el elemento no sea capaz de trabajar a su máxima capacidad reduciendo su factor de resistencia.

Con el problema localizado, ahora se debe desarrollar una solución para contrarrestar los daños en el puente, por lo que es necesario recurrir al reforzamiento, esto sin crear un problema adicional revisando cuidadosamente el análisis.

Por el tipo de problema encontrado en la superestructura es necesario realizar las reparaciones correspondientes para detener los deterioros ya que si siguen avanzando podrían afectar gravemente a los demás elementos que componen el puente y sobre todo se incrementa la posibilidad de afectar elementos que actualmente no presentan ningún daño.

Por las condiciones actuales de operación se recomienda emplear procedimientos constructivos que no afecte a los usuarios, ya que al ser una vía de mucha circulación sería difícil realizar cierres totales.

CAPITULO 5: PROPUESTA DE REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CARBONO

Una vez desarrollada la etapa de la evaluación ya estamos en posibilidades de proponer una solución al problema ya identificado plenamente tanto visualmente como numéricamente.

Pero antes de comenzar es importante identificar qué es lo que se pretende realizar a la estructura, es decir, si requiere rehabilitar, reparar o simplemente dar un mantenimiento rutinario, este último quedando descartado por el tipo de daños que se pudieron observar en sitio.

Para distinguir si pretendemos reforzar o rehabilitar un elemento, primero debemos identificar el objetivo, es decir, cuando únicamente queremos aumentar la resistencia estructural por medio de la intervención de un refuerzo o si requerimos alargar el periodo de vida útil de la estructura no por deficiencias estructurales o daños visibles, sino por modernización.

En nuestro caso, claramente lo que se recomienda realizar es un reforzamiento, ya que los resultados de los análisis nos indican que la estructura esta escasa en el aspecto de capacidad de carga que hace que sus elementos no estén trabajando como fueron proyectados y por esto mismo estén rebasados, que si no son tratados en un periodo de tiempo inmediato pueden presentar fallas de mayor riesgo afectando las condiciones de servicio de todo el puente.

A partir de los resultados obtenidos, de la capacidad de carga de la superestructura llegamos a la conclusión de que las trabes requieren un reforzamiento adicional, ya que por sí mismas ya no son capaces de transmitir adecuadamente las cargas a la subestructura.

Cualquiera que sea la opción de refuerzo, deberá cumplir los requerimientos técnicos como económicos para que sea factible, pero también es importante considerar si el procedimiento constructivo, el tipo de materiales a emplear y las características de cada solución.

5.1.- Técnicas para el reforzamiento de puentes

Existen diversas formas de dar solución a una deficiencia estructural, esto depende de los siguientes aspectos:

- 1.-Requerimientos de nuevos reglamentos
- 2.-Incremento de Cargas
- 3.-Mal Diseño de Proyecto
- 4.-Defectos y errores en el procedimiento constructivo
- 5.-Daños por agentes accidentales como sismos, inundaciones, etc.

Algunas soluciones típicas para corregir problemas de carga son: aplicación de Presfuerzo externo, Encamisados de Concreto o Acero, Adición de Travesaños y el uso de prefabricados a base de Fibras de Carbono.

Para el caso en particular del PSV Juan Pablo II, los **puntos 2 y 3** son los que se acercan a las posibles causas de los deterioros encontrados y sobre todo considerando que el periodo de vida es relativamente corto, no mayor a 15 años en donde las cargas de diseño que se utilizaron son las contenidas en la normativa vigente pero que en sitio como ya se mencionó y se revisó anteriormente las cargas reales que transitan en la vía superan las permitidas que junto a las deficiencias de diseño agravan el daño estructural.

Teniendo claro que lo que se pretende realizar en la estructura, debemos enfocarnos en dar propuestas para disminuir la vulnerabilidad de los elementos de la superestructura y adecuar la resistencia para soportar la sobrecarga generada por las cargas especiales.

Como se mencionó anteriormente existen diversos procedimientos que se pueden llevar a cabo, pero para fines prácticos se desarrolló el **método de Fibra de Carbono**, que por su practicidad y ventajas sobre los otros métodos se adapta más a las necesidades de reforzamiento del PSV Juan Pablo II.

A continuación se muestra una tabla con las ventajas y desventajas de cada técnica para evaluar la elección que más se ajusta al proyecto.

Técnica de Refuerzo	Ventajas	Desventajas
Presfuerzo Externo	<ul style="list-style-type: none"> • Se aprovechan las trabes existentes. • Su construcción es relativamente rápida sin afectar el tránsito. • Su costo es menor que el de la opción de la adición de trabes. 	<ul style="list-style-type: none"> • No puede aplicarse en elementos con baja resistencia, o que requieran gran cantidad de presfuerzo. • Los torones deben cambiarse en el futuro y presentan riesgo de corrosión en ambientes agresivos.
Adición de Trabes	<ul style="list-style-type: none"> • Es conveniente cuando las trabes existentes tienen baja capacidad de carga o han sido previamente dañadas. • Se espera una mayor vida útil que con las otras alternativas. 	<ul style="list-style-type: none"> • El procedimiento constructivo es más lento, complicado y se interrumpe el tránsito. • Se requiere demoler la losa en las zonas donde se colocarán las nuevas trabes.
Encamisados de Concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Se aprovechan las trabes existentes. • Se conserva la estructuración y el flujo de carga del proyecto original. 	<ul style="list-style-type: none"> • El refuerzo se concentra en las trabes existentes cuya resistencia y vida útil es reducida. • No es apropiada cuando se requiere un incremento significativo de resistencia.
Laminados de Fibra de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> • No se requieren trabajos de demolición. • Su costo es comparable al del Presfuerzo exterior. En algunos casos resulta ser la alternativa más económica. • Se conserva la estructuración y el flujo de carga del proyecto original. 	<ul style="list-style-type: none"> • La experiencia en su colocación es menor que en los otros sistemas y se requiere mano de obra especializada. • Se requiere una preparación de la superficie adecuada antes de la aplicación de las láminas de FRP.

5.2.- Análisis y Revisión de elementos a Reforzar

Alternativa: Fibra De Carbono (FRP)

Existen diferentes proveedores que ofrecen productos con láminas de fibra de carbono, para este caso en particular se empleó la **Ficha Técnica Refuerzo Estructural con Sistemas a base de Fibra de Carbono** de **SIKA**.

La Fibra es un material prefabricado formado por compuestos a base de polímeros reforzados con fibras de vidrio, aramida y carbono que proveen de resistencia y rigidez, confinados con una matriz que distribuye todos los esfuerzos en todas las fibras.

La flexibilidad de este material permite la aplicación sobre secciones irregulares que se presentan en vigas y otros elementos que por su geometría sería difícil tratar de reparar con otro tipo de material. Al tratarse de una fibra a base de capas puede colocarse de acuerdo al área que se requiera confinar con la finalidad de mejorar la capacidad de carga y en casos de elementos que están sometidos a cargas móviles ayuda a absorber altos niveles de energía causados por el efecto del impacto producidos por los vehículos evitando agrietamientos y fisuras.

Para poder emplear este tipo de solución es importante realizar las siguientes actividades:

- Reparar daños de superficie de contacto (inyección de grietas, limpieza de acero corroído, etc.)
- Delimitar y trazar áreas de aplicación
- Realizar pruebas de Adherencia
- Contemplar condiciones de Aplicación

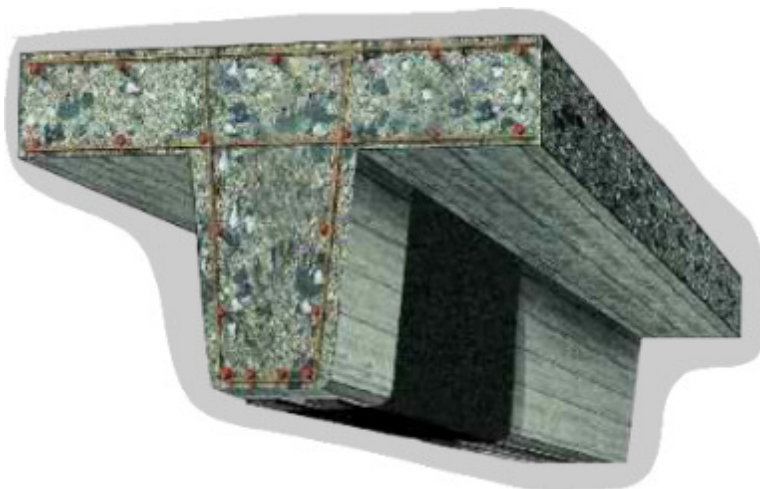


Figura 41. Uso Típico de Fibra de Carbono en Vigas de Concreto.(Ficha Técnica SIKA)

La Fibra de carbono deberán repararse grietas y fisuras Antes de aplicar la fibra se debe hacer la inyección de Grietas, es muy importante ya que prevenimos fallas por de laminación en la fibra de carbono, además de que se debe garantizar que las superficie de contacto se a la óptima para que exista una buena adherencia. Se deben hacer pruebas para verificar la calidad del concreto para que tenga una resistencia mínima de 15 kg/cm² requerida para que la unión de la fibra con la superficie de contacto sea exitosa.

La forma de aplicación de la fibra de carbono consiste básicamente en colocar franjas de dimensiones específicas de acuerdo al área de trabajo que se pretende mejorar estructuralmente, la colocación y en general el procedimiento constructivo son fáciles de realizar pero aquí es en donde el aspecto económico puede ser determinante dependiendo el área que se quiera cubrir, pero este punto se tratara más adelante.

Para el proyecto de reforzamiento del PSV Juan Pablo II se proponen a colocar franjas de fibra de carbono en los extremos de trabes y sus traslapes con los tramos siguientes que es en donde se presentan los daños por cortante, cubriendo las caras laterales e intermedias.

Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio nos mostraron que la resistencia del concreto es baja para soportar las cargas para las que se proyectó, por lo que este procedimiento a base de refuerzo tipo tejido o "wrap" es adecuado por su fácil aplicación, por lo que podemos evitar las fisuras a 45° observadas a lo largo de los elementos que conforman el puente.

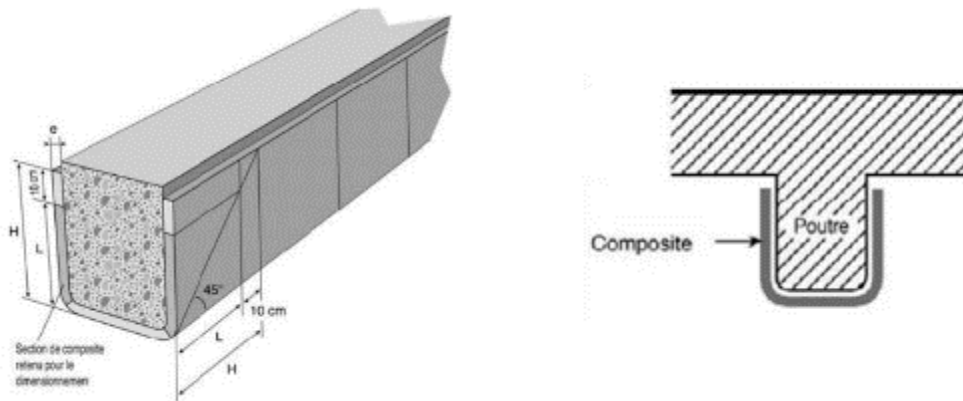


Figura 42. Área de aplicación de Fibra de Carbono por fisuras de cortante. .(Ficha Técnica SIKA)

Las especificaciones técnicas de la fibra de carbono pueden variar ligeramente de acuerdo al fabricante pero para cuestiones de diseño no influyen mucho, por lo que la elección tiene que ver con aspectos económicos y de suministro.

Otro punto importante a considerar de este procedimiento es que por la practicidad y la gran capacidad de absorber cortante se puede mejorar las características de la estructura sin tener que afectar los elementos originales del puente, agregando la parte de los trabajos a ejecutar que son relativamente sencillos la parte interesante recae en el diseño de las secciones a reforzar.

Cálculo del reforzamiento requerido de acuerdo a la Ficha Técnica con Refuerzo Estructural con Sistemas a base de Fibra de Carbono.

El tramo analizado (14P-16) tiene una longitud de 29.79 mts podemos aplicar el cálculo del refuerzo por cortante en donde debemos obtener un V_d (Cortante de Diseño) superior al V_u (Cortante Último) de la trabe.

Para esto calcularemos estados límites de agotamiento por esfuerzo cortante y por agotamiento de resistencia a tracción donde debemos cumplir la relación siguiente:

$$V_d \leq V_{u1}, \quad V_d \leq V_{u2} \text{ donde:}$$

V_{u1} = Esfuerzo Cortante de agotamiento por compresión del alma

V_{u2} = Esfuerzo Cortante de agotamiento por tracción del alma

Y para obtener el V_{u2} emplearemos la siguiente expresión:

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{ru} \dots \dots \dots (1)$$

V_{cu} = Contribución del concreto a la resistencia del esfuerzo cortante

V_{su} = Contribución de la acero del alma a la resistencia al esfuerzo cortante.

V_{ru} = Contribución de la fibra de carbono del alma a la resistencia al esfuerzo cortante.

Y el V_{ru} se obtiene de:

$$V_{ru} = \frac{0.9d}{\gamma} A_r \cdot \sigma_r (1 + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

D = sección útil de la sección

γ = coeficiente de seguridad que da el fabricante de la fibra de carbono

A_r = Área de las bandas de fibra de carbono

σ_r = Tensión de la fibra de carbono que debe limitarse al valor a una deformación del 2% (460 a 880 N/mm²).

α = Angulo de las fibras de carbono respecto a la horizontal (se usa el max 45°)

Para poder despejar el área de las fibras de carbono necesitamos conocer el V_{ru} el cual podemos obtener con esta ecuación:

$$V_{ru} = V_d - V_{cu} \dots \dots \dots (3)$$

Especificaciones Técnicas de la fibra de carbono:

- Peso: 610 g/m² +/- 15 g/m²
- Espesor: 0.337 mm
- Resistencia ultima a Tensión: 49,900 kg/cm²
- Esfuerzo Último a Tensión: 9,960 kg/cm²
- Módulo de Elasticidad o Tensión (E_{wc}): 55000 N
- Deformación Límite (ϵ_{wc}): 0.006
- $T_w = 0.335$ mm
- $\Lambda = 1$
- $A_r = 402$ mm²

De acuerdo con los cálculos previos a diferencia entre la capacidad resistente de la viga y el cortante actuante es de:

$V_d = 217.75$ Ton

Entonces se va a determinar la cantidad de placas y la extensión de trabe por intervenir.

Sustituyendo en las formulas mencionadas:

Utilizando la ecuación 2 se tiene:

$$V_{ru} = \frac{0.9 \times 162}{1 \gamma} \times 4.02 \times 46.91 (1 + 1) \times \sin 45$$

$V_{ru} = 388.83$ Ton

Empleando la ecuación 3:

$$V_{ru} = V_d - V_{cu}$$

$$V_{cu} = V_{ru} - V_d$$

$V_{cu} = 171.08$ Ton

Teniendo los valores de los cortantes, utilizamos la ecuación 1:

$$V_u2 = V_{cu} + V_{ru}$$

$$V_{U2} = 559.91 \text{ Ton}$$

Revisando la condicionante se tiene:

$$V_d \leq V_{u2}$$

$$217.75 \text{ Ton} < 559.91 \text{ Ton} \dots \text{Si cumple.}$$

Ahora determinamos el área y longitud del refuerzo que se requiere de acuerdo al cortante de diseño.

Longitud efectiva:

Se restan 10 cm que es lo que recomienda el fabricante para empezar la colocación de la fibra.

$$H = 162 - 10 = 152 \text{ cm}$$

$$L = 132 \text{ cm}$$

Numero de Capas por Cálculo

$$N_c = \frac{V_{u2} - V_d}{A_w \cdot \sigma_{wc}}$$

$$N_c = 11.30 \text{ capas}$$

Tensión de cálculo de cortante:

$$\sigma_{wc} = E_{wc} \cdot \epsilon_{wc}$$

$$\sigma_{wc} = 330 \text{ N} = 33.65 \text{ kg}$$

Sección Total de Fibra

$$A_w \text{ Total} = A_w (N_c)$$

$$A_w \text{ Total} = 101.47 \text{ cm}^2$$

Tensión Máxima por Cortante

$$T_{cmax} = \frac{V_{u2} - V_d}{A_w \text{ Total}}$$

$$T_{cmax} = 3,387.72 \text{ Ton}$$

Como se puede observar los resultados obtenidos cumplen las condiciones que plantea el uso de fibra de carbono, por lo que emplear esta solución en el tramo analizado es factible.

Disposición del FRP

Los resultados previos corresponden al siguiente esquema FRP:

11 capas

Montaje: 2 caras

Bandas discretas

Separación: 300 mm

Ángulo: 90.0 °

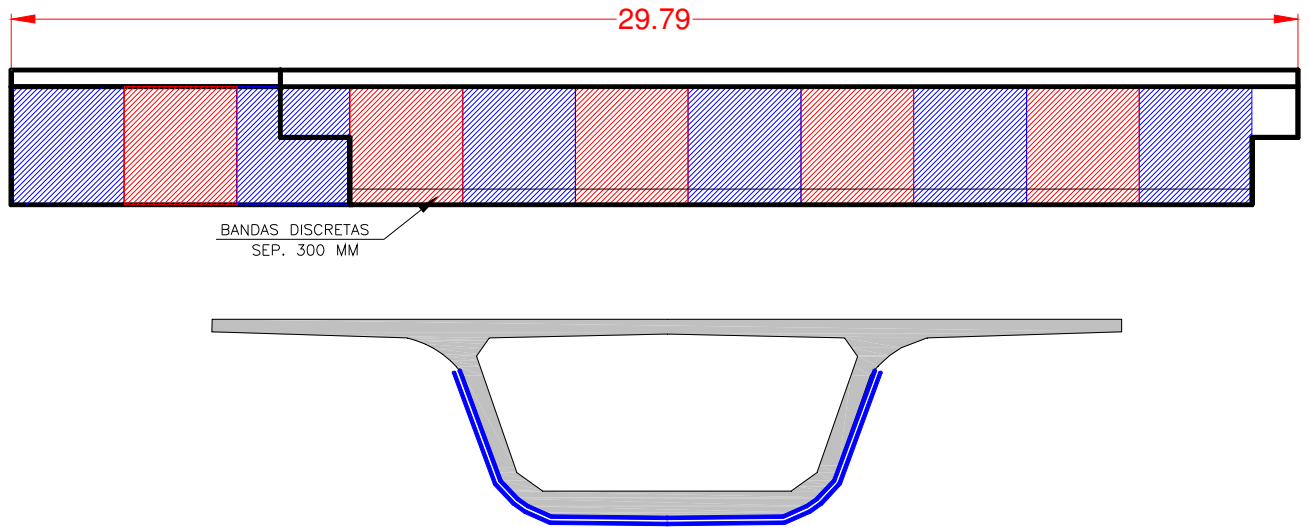


Figura 43. Detalle de aplicación de Fibra de Carbono por fisuras de cortante.

CONCLUSIONES

El uso de la Fibra **de Carbono** es una opción práctica debido al procedimiento constructivo, los materiales empleados y el volumen generado para el área que se desea cubrir, como se había mencionado el punto desfavorable de emplear este sistema sería la mano de obra que debe estar capacitada para la correcta aplicación.

Las afectaciones del PSV Juan Pablo II son considerables, pero no llegan al grado de elegir una opción más drástica, el uso de **Fibra de Carbono** por su manejabilidad se puede aplicar en la trabe para reforzar las deficiencias de carga que presenta.

El PSV Juan Pablo II es uno de los muchos casos de puentes que se ven rebasados en su capacidad de carga por la evolución del transporte en nuestro país, además de la falta de regulación del transporte en las principales vías de comunicación.

Un aspecto que claramente no se consideró en el anteproyecto es la sobrecarga ejercida por los vehículos de tipo especial.

En el análisis estructural se observó que al emplear las cargas actuantes ejercidas por la carga especial o góndola los elementos mecánicos sufrieron un incremento considerable y en conjunto con la baja resistencia del concreto que se obtuvo de las pruebas de laboratorio, los daños por cortante se hicieron presentes en la superestructura.

El refuerzo estructural en puentes es un tema muy amplio que de acuerdo a la patología que presenta cada puente en particular, se elegirá la metodología a aplicar, como se estableció en los alcances de este trabajo solo se realizó la revisión de lado estructural, pero sería interesante seguir con la aplicación constructiva para tener una visión más completa del problema.

Es importante mencionar que, a partir del problema abordado en este trabajo, se podrían retomar los análisis presentados para complementar el procedimiento de aplicación del reforzamiento, por lo que se sugiere seguir indagando sobre el tema presentado.

BIBLIOGRAFIA

Dirección General de Servicios Técnicos S.C.T. **Manual para inspección y conservación de puentes**, México 1988

Dirección General de Servicios Técnicos S.C.T. **Información Técnica del SISTEMA DE PUENTES DE MEXICO (SIPUMEX)**, D.G.C.C. México, 1995.

Dirección General de Servicios Técnicos S.C.T. **Guía de Procedimientos y Técnicas para la conservación de carreteras en México**, Primera Edición, México 2014.

CEDRIC I. ESCALANTE SAURI, **La conservación de carreteras en México, La experiencia reciente**, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C., México 2006

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Tomo 19, **Determinación del Índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como Esclerómetro**, Marzo 2009.

Dirección General de Servicios Técnicos S.C.T. **Normas Técnicas para el proyecto de puentes Carreteros**, México 1988.

Eduardo Reinoso Angulo, Mario E. Rodríguez, Rafael Betancourt Ribotta, **Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas**, Anippac, Instituto de Ingeniería UNAM, México, 2000.

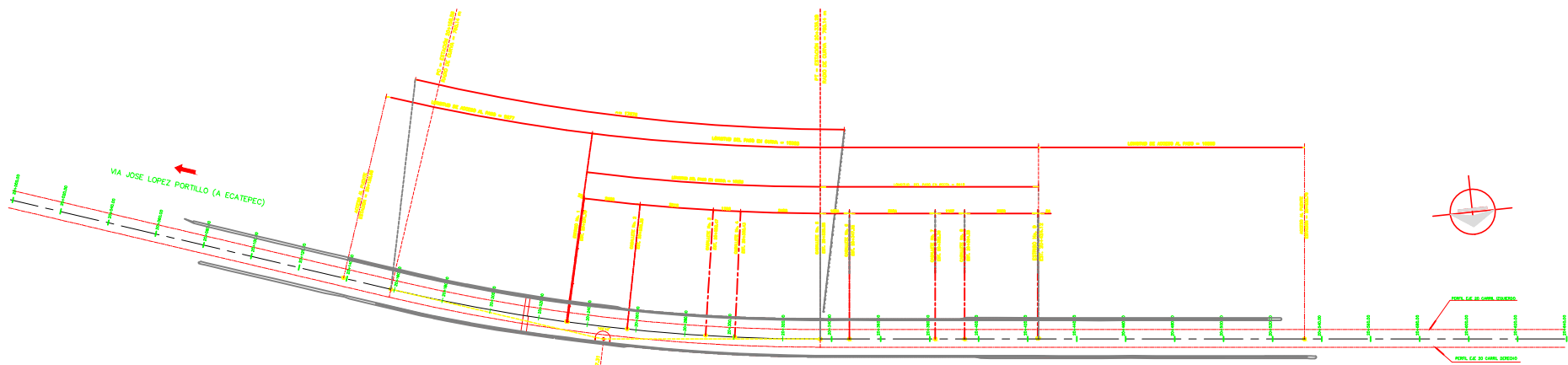
Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, **Análisis de las Técnicas de Rehabilitación de Puentes de Claros Cortos**, José Manuel Jara Guerrero.

SIKA, Ficha Técnica **Refuerzo Estructural con Sistemas a base de Fibra de Carbono**, 2012.

Avis Technique” número 3/07-502, “SIKA CARBODUR”. Commission chargée de formuler des Avis Techniques (CSTB). 2008.

Design Especifications, American Association of State Highway and Transportation Officials **AASHTO STANDARD**, 2012.

Reglamento para el Concreto Estructural, American Concrete Institute **ACI 318**, 2014.



DATOS DE LA CURVA

CURVA	Δ	Δ_c	Gc	Rc	ST o STc	Lc
	(°)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	10° 44' 00"	17.20	51.87	165.54	88.75	176.70

STc = ESTACION DEL PUNTO DE TANGENCIA
 ST = ESTACION DEL PUNTO DE INTERSECCION
 Lc = LONGITUD DE LA CURVA

PLANTA DE EJES

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD PES AMBOS
ESPECIALIDAD DE PUENTES**

PROYECTO DE PUENTE

PLANTA GEOMETRICA

AUTOR: JUAN JOSE FERRAS
 REVISOR: JUAN CARLOS GONZALEZ
 APROBADO: JUAN CARLOS GONZALEZ

FECHA DE ELABORACION: 15/06/2023
 APROBADO: JUAN CARLOS GONZALEZ

DIRECTOR DE CARRERA: JUAN CARLOS GONZALEZ
 DIRECTOR GENERAL: JUAN CARLOS GONZALEZ

ESCUELA DE PUENTES
 15/06/2023

INSPECCIÓN DEL ESTADO FÍSICO DE LOS PUENTES

JEFE DE BRIGADA: Alfonso Ramírez Abascal

FECHA : 14/05/2016

1. CARRETERA : _____

2. TRAMO: Av. José López Portillo

COLINEAL A LA CARRETERA _____ X
TRANSVERSAL A LA CARRETERA _____

3. SUBTRAMO: _____

4. KILOMETRO: _____

5. ORIGEN: Ecatepec-Tlalnepantla

6. NOMBRE: PSV JUAN PABLO II

7. TIPO DE SUPERESTRUCTURA

CONCRETO REFORZADO _____ CONCRETO PRESFORZADO _____ X

METÁLICO _____ METÁLICO - CONCRETO _____

OTRO, ESPECIFICAR _____

REPORTE DE INSPECCIÓN

8. TIPO DE SUBESTRUCTURA

CONCRETO _____ x _____

CONCRETO _____ x _____

PILA

CABALLETES

MAMPOSTERÍA _____

MAMPOSTERÍA _____

9. TRAZO GEOMÉTRICO

EN TANGENTE _____ x _____

EN PLANTA

CURVA DERECHA _____ x _____

CURVA IZQUIERDA _____

TANGENTE _____ x _____

EN ELEVACIÓN

EN CRESTA _____

EN COLUMPIO _____

NORMAL _____ x _____

TABLERO

ESVIAJADO _____

GRADOS DER.

ESVIAJADO _____

GRADOS IZQ.

(SEGÚN KILOMETRAJE CRECIENTE):

REPORTE DE INSPECCIÓN

15. ESTADO DE LA SUBESTRUCTURA

SOCAVACIÓN

SE APRECIA _____

NO SE APRECIA _____

DESCRIPCIÓN : (LUGAR Y TIPO) _____

DAÑOS POR IMPACTO:

SE APRECIAN _____

NO SE APRECIA _____ x

DESCRIPCIÓN : (LUGAR Y TIPO) _____

HUNDIMIENTOS :

SE APRECIAN _____

NO SE APRECIAN _____ x

MANDAR MEDIR _____

DESCRIPCIÓN : (LUGAR Y TIPO) N/A _____

DESPLOMES :

SE APRECIAN _____

NO SE APRECIAN _____ x

DESCRIPCIÓN : (LUGAR Y TIPO)

N/A

REPORTE DE INSPECCIÓN

AGRIETAMIENTOS:

SE APRECIAN: _____

NO SE APRECIAN: _____ **x**

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) N/A

16. REVISIÓN DE ACCESOS Y CONOS DE DERRAME:

ACCESOS:

	EN TALUD	<u> X </u>		EN TALUD	<u> X </u>
ENTRADA	EN CORTE	<u> </u>	SALIDA	EN CORTE	<u> </u>
	A NIVEL	<u> </u>		A NIVEL	<u> </u>

ESTADO DE ACCESOS Y CONOS; DESCRIPCIÓN :

Los taludes presentan efectos de socavación ligera y crecimiento de hierba.

17. DRENAJES :

SUPERESTRUCTURA:

EXISTE: _____

NO EXISTE: _____ **x**

ESTADO : El agua se filtra por espacio entre juntas y colado de ajuste entre trabes

SUBESTRUCTURA:

ESCURRE: x

NO ESCURRE: _____

REPORTE DE INSPECCIÓN

18. SEÑALAMIENTO

INDICACIÓN DE EXISTENCIA DE PUENTE Y/O REDUCCIÓN DEL ACOTAMIENTO

ENTRADA	EXISTE _____	SALIDA	EXISTE _____
	NO EXISTE <u> x </u>		NO EXISTE <u> x </u>

19. ALUMBRADO EN EL INTERIOR DEL PASO:

EXISTE x NO EXISTE _____

ESTADO : Alumbrado en buen estado.

20. MANTENIMIENTO

DESCRIPCIÓN : Se recomienda mantenimiento menor ya que el puente en general se observa en condiciones normales En cuanto a limpieza y aspecto visual.

21. REPARACIÓN:

DESCRIPCIÓN : Se requiere realizar reparaciones a la superestructura debido a los agrietamientos y fisuras visibles en Trabes. Además de realizar estudios más detallados para descartar otro tipos de fallas en losas y subestructura.

22. OTRAS PARTICULARIDADES

DESCRIPCIÓN : Se observó que los tipos de camiones que circulan sobre el puente son muy pesados por lo que al ser una Vía muy concurrida se requiere de atención inmediata ya que si no se acrecentaran los daños ya descritos.

23.- EVALUACIÓN DE DAÑOS Y CALIFICACIÓN DEL ESTADO FÍSICO DE ACUERDO A LOS GRADOS A, B Y C

CALIFICACIÓN: B

GRADO A Puentes o estructuras que presentan una o más deficiencias graves que impliquen un peligro inminente para la seguridad pública o que puedan ocasionar la interrupción prolongada del tránsito sobre el puente. Estos puentes requieren de atención inmediata.

GRADO B Aquellos que presenten una o varias deficiencias importantes, que de no atenderse pueden evolucionar hacia deficiencias graves. Estos puentes requieren atención a mediano plazo.

GRADO C Los que solo presenten deficiencias menores con evolución lenta y únicamente requieren de trabajos rutinarios de conservación.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES -FES ARAGON
ESPECIALIDAD DE PUENTES

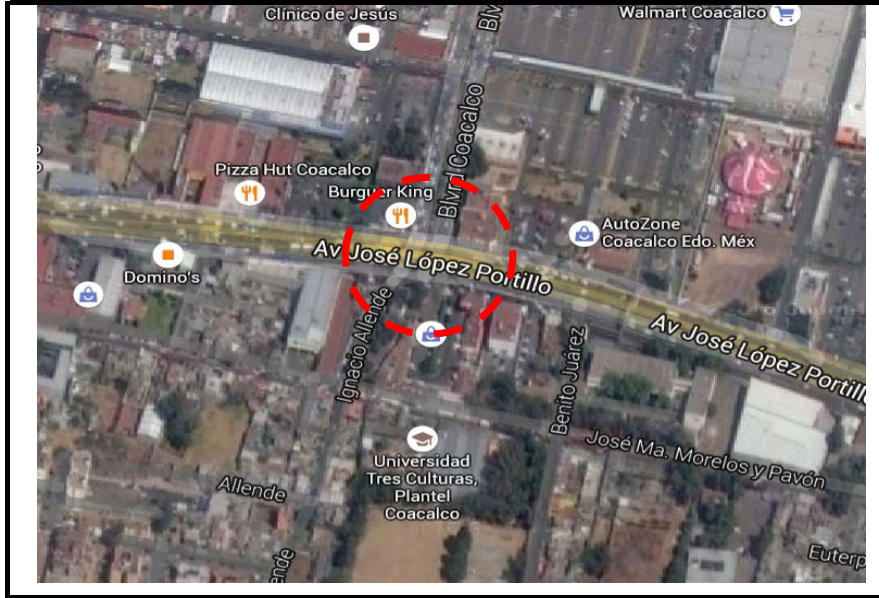
INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS TRADICIONALES UBICADAS EN LA AUTOPISTA:

REPORTE FOTOGRÁFICO
(FORMATO F-003A)

Estructura No. 1

Foto No. 1

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



VISTA SATELITAL-PSV Juan Pablo II con coordenadas
19°38'05.7"N, 99°05'59.0" W

Foto No. 2



VISTA PANORAMICA- Vista del Cuerpo Derecho con dirección hacia Coacalco. Tramo de acceso a puente en curva. Se observan marcas de escurrimiento en los laterales.

REPORTE FOTOGRÁFICO
 (FORMATO F-003A)

Estructura No. 1

Foto No. 3

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



FOTO PRIMER TRAMO DE ANCLAJE con dirección Ecatepec-Coacalco. Se observan agrietamientos en las traveses de distintos espesores y longitudes.

Foto No. 4



FOTO SUBESTRUCTURA- Se observan pilas donde apoya el primer tramo de anclaje que son de sección circular se encuentran en buen estado. También se observa parte de la articulación en donde se notan las marcas de escurrimientos.

REPORTE FOTOGRAFICO

Estructura No. 1

Foto No. 5

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



FOTO SUPERESTRUCTURA- Se observa primer tramo suspendido de estado fisico regular con algunos agrietamientos, tambien se aprecian las articulaciones donde se conecta con los tramos de anclaje.

Foto No. 6



FOTO PANORAMICA- Se observa la parte inferior del puente donde se aprecian las 2 traveses tipo ballena que soportan la losa, su colado de ajuste intermedio, las pilas circulares donde se apoya cada tramo.

REPORTE FOTOGRAFICO

Estructura No. 1

Foto No. 7

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



FOTO SUPERESTRUCTURA-Se observan las traveses del segundo tramo de anclaje con sus respectivas pilas de apoyo, se puede notar fisuras en las laterales con algunos desconchamientos de concreto, tambien se ven marcas de escurrimientos. Las pilas se ven en buen estado.

Foto No. 8



SUPERESTRUCTURA-Foto tomada por la parte inferior de la superestructura en el segundo tramo de anclaje, en donde se observan marcas de filtraciones de agua en la parte del colado de ajuste entre traveses y algunas grietas en las mismas elementos .

REPORTE FOTOGRAFICO

Estructura No. 1

Foto No. 9

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



FOTO SUPERESTRUCTURA-Se observan traveses del segundo tramo suspendido del puente con ligeras grietas y escurrimientos ,se puede apreciar que debajo de este tramo se ubica una intersección vehicular de la via inferior.

Foto No. 10



FOTO SUPERESTRUCTURA-Imagen a detalle de articulación en tramo suspendido que presenta daños por escurrimiento y desprendimiento de concreto en unión con losa.

REPORTE FOTOGRAFICO

Estructura No. 1

Foto No. 11

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



FOTO SUPERESTRUCTURA-Se observan traveses del tercer tramo de anclaje del puente con ligeras grietas y escurrimientos, las pilas que soportan este tramo se encuentran en buen estado.

Foto No. 12

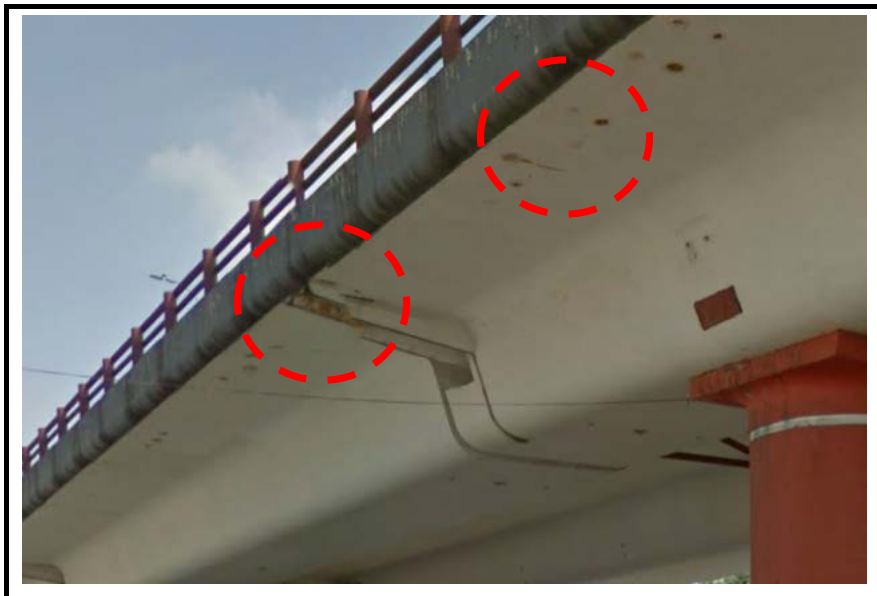


FOTO SUPERESTRUCTURA.- Acercamiento a volados en traveses con desconchamientos y filtraciones.

REPORTE FOTOGRÁFICO

Estructura No. 1

Foto No. 13

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



FOTO SUPERESTRUCTURA-Se observan traveses del tercer tramo suspendido del puente con ligeras grietas y escurrimientos, las pilas que soportan este tramo se encuentran en buen estado.

Foto No. 14



FOTO SUPERESTRUCTURA.- Detalle de articulación entre tramo de anclaje y tramo suspendido donde se observan fisuras y marcas de escurrimientos.

REPORTE FOTOGRAFICO

Estructura No. 1

Foto No. 15

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



FOTO SUPERESTRUCTURA-Se observan traveses del cuarto tramo de anclaje del puente con ligeras grietas y escurrimientos, las pilas que soportan este tramo se encuentran en buen estado.

Foto No. 16



FOTO SUPERESTRUCTURA.-Detalle de traveses bajo tramo de anclaje y tramo suspendido donde se observan fisuras y marcas de escurrimientos.

REPORTE FOTOGRAFICO

Estructura No. 1

Foto No. 17

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



FOTO CUARTO TRAMO
 SUSPENDIDO- Se observan
 traves de ultimo elemento que
 forman la superestructura que
 apoyan con tramo de anclaje y
 caballete extremo.

Foto No. 18



FOTO SUPERESTRUCTURA.-
 Detalle de traves en ultimo tramo
 suspendido donde se observan
 parte de los agrietamientos del
 puente.

REPORTE FOTOGRÁFICO

Estructura No. 1

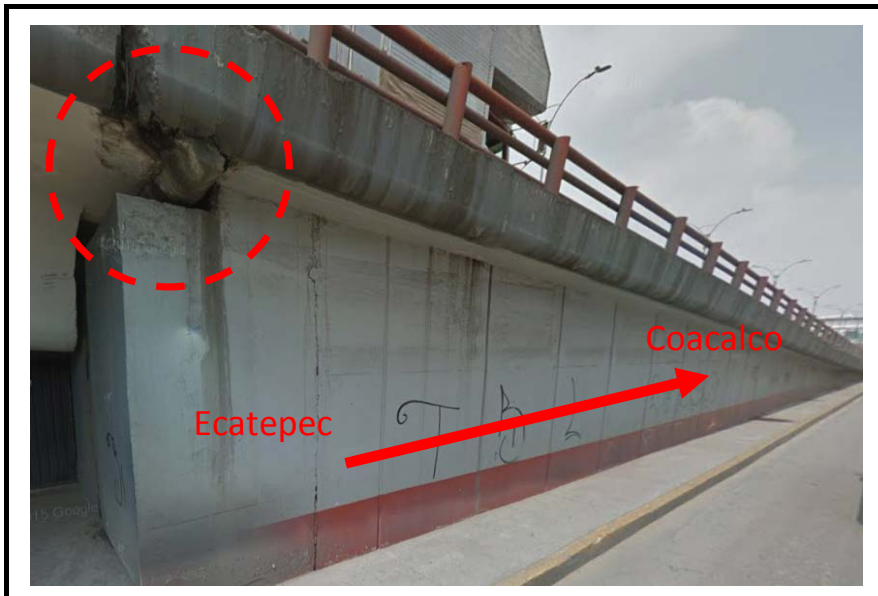
Foto No. 19

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



FOTO PANORAMICA.- Detalle de agrietamientos en ultima trabe de tramo suspendido en donde se ubica placa de inauguración del PSV Juan Pablo II.

Foto No. 20



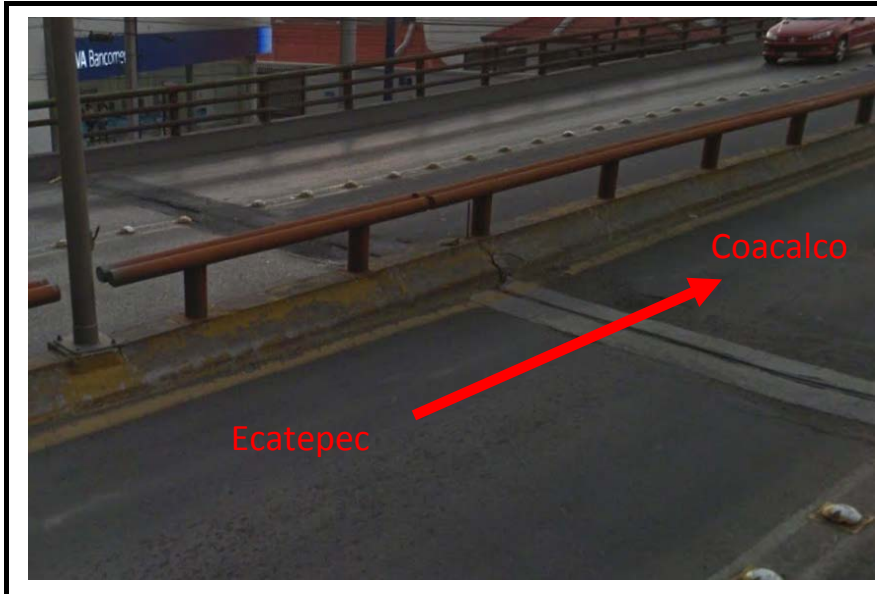
VISTA PANORAMICA- Vista del Cuerpo Derecho con dirección hacia Coacalco. Tramo de salida de puente en tangente. Se observan marcas de escurrimiento en los laterales.

REPORTE FOTOGRAFICO

Estructura No. 1

Foto No. 21

Fecha de Elaboración: Mayo 2016



DETALLE DE JUNTAS. Se observan juntas en mal estado de cuerpo izquierdo y derecho de puente, tambien se aprecian guarniciones y parapetos en buenas condiciones. Ubicación en primer tramo de acceso al puente.

Foto No. 22



DETALLE DE CARPETA ASFALTICA. Se observan grietas y algunos baches en pavimento en condiciones similiares a los largo de puente.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESPECIALIDAD DE PUENTES

COMPRESION SIMPLE EN NÚCLEOS DE CONCRETO

OBRA: **PASO SUPERIOR VEHICULAR (PSV) "JUAN PABLO II"**

UBICACIÓN: VIA JOSE LOPEZ PORTILLO EN EL MUNICIPIO DE COACALCO DE BERRIOZABAL, EDOMEX

DETALLE: **RESULTADOS DE RESISTENCIAS DE LOS CORAZONES DE CONCRETO**

FECHA: ene-16

MUESTRA No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (cm)	LECTURA CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CORRECCION POR ALTURA (kg/cm ²)	AREA (cm ²)	ELEMENTO DE LA MUESTRA
1	4.39	6.46	232.95	5000	330.2	303.8	15.14	Aleta izquierda de trabe derecha, tramo suspendido del claro 2a-2b.
2	4.45	7.77	241.17	4200	270.1	248.5	15.55	Aleta derecha de trabe izquierda en el claro del tramo suspendido 2a-2b
3	4.41	5.73	214.56	5400	353.6	325.3	15.27	Aleta izquierda de trabe derecha, tramo suspendido del claro 2a-2b.
4	4.49	5.2	182.39	4900	309.5	284.7	15.83	Aleta derecha de trabe izquierda en el claro del tramo suspendido 2a-2b
RESISTENCIA PROMEDIO PARA ALETAS DE TRABES CAJON						290.575		
5	4.4	5.16	176.63	2800	184.1	171.2	15.21	Losa inferior de trabe cajón izquierda en el claro del tramo suspendido 8a-9
6A	4.46	4.64	161.08	2700	172.8	160.7	15.62	Losa inferior de trabe cajón izquierda en el claro del tramo suspendido 8a-9
6B	4.43	5.2	156.36	2900	188.2	175	15.41	Losa inferior de trabe cajón izquierda en el claro del tramo suspendido 8a-9
7	4.43	6.23	204.08	3300	214.1	199.1	15.41	Losa inferior de trabe cajón derecha en el claro del tramo suspendido 8a-9
8	4.48	6.15	236.87	3700	234.8	218.4	15.76	Losa inferior de trabe cajón izquierda en el claro del tramo suspendido 8a-9
RESISTENCIA PROMEDIO PARA LOSA INFERIOR DE TRABES CAJON						184.88		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESPECIALIDAD DE PUENTES

RESUMEN DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO EN TRABES CAJON MEDIANTE LA PRUEBA DEL ESCLEROMETRO

DEL EJE A AL EJE E	ELEMENTO	TRABE	UBICACIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO Kg/cm ²
1 a la 6	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	1		190
7 a la 12	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	1		195
13 a la 18	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	2		192
19 a la 24	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	2		200
25 a la 29	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	3		194
30 a la 34	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	3		190
35 a la 40	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	4		199
41 a la 45	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	4		191
46 a la 50	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	5		190
51 a la 55	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	5		196
56 a la 61	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	6		194
62 a la 67	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	6		196
68 a la 73	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	7		205
74 a la 78	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	7		198
79 a la 84	CARA LATERAL DE TRABE DERECHA	8		203
85 a la 89	CARA INFERIOR DE TRABE DERECHA	8		204
			fc promedio=	196



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESPECIALIDAD DE PUENTES

RESUMEN DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO EN TRABES CAJON MEDIANTE LA PRUEBA DEL ESCLEROMETRO

DEL EJE A AL EJE E	ELEMENTO	TRABE	UBICACIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO Kg/cm ²
1 a la 6	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	1		199
7 a la 12	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	1		200
13 a la 18	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	2		198
19 a la 24	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	2		200
25 a la 29	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	3		202
30 a la 34	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	3		198
35 a la 40	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	4		203
41 a la 45	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	4		206
46 a la 50	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	5		198
51 a la 55	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	5		197
56 a la 61	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	6		200
62 a la 67	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	6		201
68 a la 73	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	7		203
74 a la 78	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	7		202
79 a la 84	CARA LATERAL DE TRABE IZQUIERDA	8		207
85 a la 89	CARA INFERIOR DE TRABE IZQUIERDA	8		211
			fc promedio=	202

CONCLUSION:

Como se puede observar en la tabla anterior, los resultados obtenidos en campo mediante la prueba del esclerómetro de resistencia en el concreto, son considerablemente superiores a la resistencias que se indican en la información existente recabada para el proyecto, esto se justifica ya que el concreto tiende a incrementar su resistencia conforme adquiere mayor edad.