



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

**ELABORACIÓN DE DICTAMEN TÉCNICO DE REVISIÓN ESTRUCTURAL
DE UN PSV**

TESINA
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN PUENTES

PRESENTA EL ALUMNO
ING. DANIEL IVÁN COBAXIN FERMAN

TUTOR PRINCIPAL
E. EN P. ALFREDO P. MORALES NETZAHUALCÓYOTL, FES ARAGÓN

NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO, MARZO DE 2020



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.



Resumen

Actualmente en México, no existe un manual, especificaciones o normativa completa en el diseño de puentes y estructuras similares por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) la cual, es la dependencia que tiene dentro de sus funciones, construir y conservar los caminos y puentes federales.

Como apoyo, se recurre al empleo de documentación extranjera de diseño (AASHTO, AREMA, ACI, AWS, etc.) o de manuales y reglamentos de distintas empresas o instituciones especializadas del país (ANNIPAC, CFE, NTC del DF, SEPSA, UNAM, publicaciones técnicas del IMT, etc.).

Todo ello, provoca que los proyectistas en puentes tengan distintos criterios de diseño, que en ocasiones, realizan un análisis deficiente en el proyecto estructural, se ve reflejado en incongruencias en planos, problemas de construcción, mal funcionamiento y altos costos de mantenimiento de la estructura, entre otros.

Aunado a este problema, se han detectado vicios durante el diseño de este tipo de estructuras, como memorias de cálculo con parámetros que no corresponden, mezcla de fórmulas de diferentes filosofías y criterios de diseño, mal uso de software de análisis estructural, mala aplicación de normativa de otro país, así como la copia y adaptación de otros proyectos.

En ocasiones, se efectúa la revisión de un proyecto estructural para verificar que cumpla con la normativa vigente de diseño; sin embargo, el revisor posiblemente puede obtener diferentes dimensiones y armados a los del proyectista, por lo que determinar si el proyecto tiene un diseño correcto, puede ser complicado si no está bien justificada dicha decisión.

El objetivo de la tesina es elaborar un dictamen técnico, producto de una revisión estructural de los elementos principales de concreto de un paso vehicular, determinando la aceptación o rechazo de diseño del mismo.

Para la revisión, se tomará en cuenta la normativa disponible de la SCT para el proyecto de puentes; adicionalmente, se recurrirá a manuales y criterios aplicables en el país, así como a normativa extranjera para complementar la revisión.

INDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Justificación del tema.....	3
1.2. Objetivos.....	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Aspectos de Dictamen	6
2.2. Metodología para la elaboración del dictamen.....	9
a) Recepción de información.....	9
b) Elección del tipo de dictamen.....	9
c) Revisión estructural.....	9
d) Conclusiones y recomendaciones.....	11
2.3. Consideraciones	11
a) Ingeniería de tránsito.....	12
b) Proyecto geométrico	12
c) Mecánica de Suelos	12
d) Análisis estructural	13
e) Diseño estructural	13
CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE CASO.....	14
3.1. Descripción del problema de estudio	15
3.2. Proyecto estructural	16
3.3. Alcances de revisión estructural.....	19
3.4. Definición de Términos de Referencia	19
3.5. Justificación de Términos de Referencia.....	20
CAPÍTULO 4: ESTUDIOS PREVIOS PARA PROYECTO	22
4.1. Estudios de vialidad	23
a) Ingeniería de Tránsito	23
b) Proyecto geométrico	25
4.2. Estudio para cimentación.....	26
CAPÍTULO 5: REVISIÓN ESTRUCTURAL	27
5.1. Revisión de superestructura	28
a) Revisión de losa sobre trabes	28
b) Revisión de trabes de concreto presforzado	32
c) Revisión de losa de acceso.....	47

5.2. Revisión de subestructura.....	49
a) Revisión de apoyo extremo.....	51
b) Revisión de apoyo intermedio.....	59
5.3. Revisión de infraestructura.....	63
a) Revisión de apoyo extremo.....	63
b) Revisión en apoyo intermedio.....	64
CAPÍTULO 6: DICTAMEN TÉCNICO.....	66
6.1. Estructuración.....	67
6.2. Presentación de dictamen técnico.....	67
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	99

Índice de figuras

Figura 2.1.1. Orientación para selección de inspección.....	7
Figura 2.1.2. Pasos básicos para elaboración de dictamen.....	8
Figura 2.2.1. Documentación para obtener parámetros de diseño para paso vehicular.....	9
Figura 2.2.2. Metodología de revisión estructural propuesta.....	10
Figura 3.1.1. Vista de ubicación de proyecto.....	15
Figura 3.1.2. Vista de sección transversal de Av. Presidente Juárez.....	15
Figura 3.1.3. Vista de sección transversal de Blvd. Abraham Lincoln.....	16
Figura 3.2.1. Planta general de estructura.....	16
Figura 3.2.2. Elevación de estructura.....	17
Figura 3.2.3. Sección transversal de claro 1,2,3,4,6 y 7.....	17
Figura 3.2.4. Sección transversal de claro 5.....	17
Figura 3.2.5. Sección tipo de apoyo extremo no. 1 y 8.....	18
Figura 3.2.6. Sección tipo de apoyo intermedio no. 2 al 7.....	18
Figura 3.2.7. Vista de elevación de accesos de proyecto.....	19
Figura 4.1.1. Ubicación de estaciones de aforo.....	24
Figura 4.1.2. Vista en planta de adecuaciones por implementación de proyecto.....	25
Figura 5.1.1. Ubicación del acero de refuerzo en losa intermedia y volado.....	28
Figura 5.1.2. Proceso de diseño de una losa sobre traveses de concreto (1 de 3).....	29
Figura 5.1.3. Proceso de diseño de una losa sobre traveses de concreto (2 de 3).....	30
Figura 5.1.4. Proceso de diseño de una losa sobre traveses de concreto (3 de 3).....	31
Figura 5.1.5. Armados para losa tipo I (lado izquierdo) y losa tipo II (lado derecho).....	31
Figura 5.1.6. Metodología para revisión de trabe pretensada.....	32
Figura 5.1.7. Modelo de carga viva vehicular empleado para la longitud de trabe tipo 1.....	34
Figura 5.1.8. Croquis y resultados de factores de distribución para 1 carril cargado.....	35
Figura 5.1.9. Croquis y resultados de factores de distribución para 2 carriles cargados.....	35
Figura 5.1.10. Factores de reducción en carriles múltiples de acuerdo a IMT y AASHTO 2002.....	36
Figura 5.1.11. Distribución de cargas por trabe tipo 1.....	36
Figura 5.1.12. Diagrama de momentos por etapas en trabe tipo 1.....	37
Figura 5.1.13. Diagrama de cortantes en trabe tipo 1.....	38
Figura 5.1.14. Modelo de carga viva vehicular empleado para la longitud de trabe tipo 2.....	42
Figura 5.1.15. Distribución de cargas por trabe tipo 2.....	42
Figura 5.1.16. Diagrama de momentos en trabe tipo 2.....	43
Figura 5.1.17. Diagrama de cortantes en trabe tipo 2.....	43
Figura 5.1.18. Esquema de carga viva vehicular IMT 66.5 y carga muerta (concreto y asfalto).....	48
Figura 5.1.19. Modelo de rigideces (kg/m) para análisis de losa de acceso.....	48
Figura 5.1.20. Diagrama de momentos en losa de acceso.....	48
Figura 5.1.21. Diagrama de cortantes en losa de acceso.....	49
Figura 5.2.1. Gráfica del espectro sísmico de diseño.....	52
Figura 5.2.2. Cargas para grupo I de apoyo extremo.....	53
Figura 5.2.3. Cargas para grupo VII de apoyo extremo.....	53
Figura 5.2.4. Modelos de apoyo extremo en programa SAP2000.....	54
Figura 5.2.5. Solicitaciones en apoyos elastoméricos reforzados con acero.....	55
Figura 5.2.6. Elementos mecánicos actuantes en un tope sísmico.....	57

Figura 5.2.7. Momento para el grupo I de normativa IMT de apoyo extremo.	59
Figura 5.2.8. Cortante para el grupo I de normativa IMT de apoyo extremo.	59
Figura 5.2.9. Cargas para grupo I de apoyo intermedio.	60
Figura 5.2.10. Cargas para grupo VII de apoyo intermedio.	60
Figura 5.2.11. Modelos de apoyo intermedio en programa SAP2000.	61
Figura 5.2.12. Momento para el grupo I de normativa IMT de apoyo intermedio.	63
Figura 5.2.13. Cortante para el grupo I de normativa IMT de apoyo intermedio.	63
Figura 5.3.1. Diagrama de interacción para pila-columna de apoyo extremo.	64
Figura 5.3.2. Diagrama de interacción para pila-columna de apoyo intermedio.	65
Figura 6.1.1. Estructuración propuesta para dictamen técnico.	67

Índice de tablas

Tabla 4.1.1. Características geométricas de acuerdo al MPGC 2016.....	23
Tabla 4.1.2. Velocidad de proyecto en base a la clasificación funcional de la carreteras.....	23
Tabla 4.1.3. Clasificación de las vialidades en base al tipo de camino.	24
Tabla 4.1.4. Estaciones de aforos y clasificación vehicular en intersección de estudio.	24
Tabla 4.2.1. Recomendación de las pilas de cimentación.	26
Tabla 5.1.1. Resumen de armados en losa obtenidos en revisión.	31
Tabla 5.1.2. Resumen de acero de refuerzo y presfuerzo de trabes.....	33
Tabla 5.1.3. Metodos para determinar el reparto transversal provocado por la carga viva.	34
Tabla 5.1.4. Elementos mecánicos de diseño por carga viva en trabe tipo I.....	37
Tabla 5.1.5. Resumen de revisión de estado de esfuerzos en losa y trabe tipo I.....	39
Tabla 5.1.6. Revisión a flexión de trabe tipo 1.	40
Tabla 5.1.7. Revisión a cortante de trabe tipo 1.....	40
Tabla 5.1.8. Elementos mecánicos de diseño por carga viva en trabe tipo 2.....	43
Tabla 5.1.9. Resumen de revisión de estado de esfuerzos en losa y trabe tipo 2.....	45
Tabla 5.1.10. Revisión a flexión de trabe tipo 2.	46
Tabla 5.1.11. Revisión a cortante de trabe tipo 2.....	46
Tabla 5.1.12. Resumen de armados en losa de acceso obtenidos en revisión.....	49
Tabla 5.2.1. Resumen de cargas de servicio de superestructura.	51
Tabla 5.2.2. Elementos mecánicos y desplazamiento de apoyo extremo.	54
Tabla 5.2.3. Resumen de características de neoprenos fijo y móvil de apoyo extremo.....	56
Tabla 5.2.4. Descarga por trabe para análisis de banco en apoyo extremo.....	56
Tabla 5.2.5. Resumen de armado en banco de apoyo extremo.....	56
Tabla 5.2.6. Resumen de armados en tope sísmico de apoyo extremo.....	57
Tabla 5.2.7. Resumen de armados en muro de respaldo de apoyo extremo.....	58
Tabla 5.2.8. Resumen de armados en cabezal de apoyo extremo.	59
Tabla 5.2.9. Elementos mecánicos y desplazamiento de apoyo intermedio.	61
Tabla 5.2.10. Resumen de características de neopreno fijo y móvil de apoyo intermedio.	62
Tabla 5.2.13. Descarga por trabe para análisis de banco de apoyo intermedio.	62
Tabla 5.2.14. Resumen de armado en banco de apoyo intermedio.....	62
Tabla 5.2.13. Resumen de armados en tope sísmico de apoyo intermedio.....	62
Tabla 5.2.14. Resumen de armados en cabezal de apoyo intermedio.....	63
Tabla 5.3.1. Resumen de armados en pila-columna de apoyo extremo.	64
Tabla 5.3.2. Resumen de armados en pila-columna de apoyo intermedio.....	65

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación del tema

Las carreteras son elementos indispensables para el desarrollo económico de nuestro país, dentro del ámbito económico las vías de comunicación han permitido conectividad entre diferentes puntos de producción de la República Mexicana permitiendo el comercio y la productividad, y por ende, la generación de empleos e inversiones. En el ámbito social, los caminos han permitido el acceso de servicios en aquellos lugares que se creían inaccesibles, han fortalecido el turismo y han mejorado el nivel de vida de las personas al permitir desplazamientos cómodos, seguros y en menores tiempos.

El sector carretero es un ramo de la ingeniería civil tan importante en el que intervienen ingenieros diseñadores y calculistas dedicados a un aspecto o etapa en específico; dentro de estas etapas se pueden mencionar las siguientes: anteproyecto, topografía, geotecnia, mecánica de suelos, diseño de pavimento, costo beneficio, ingeniería de tránsito, impacto ambiental, hidrología, proyecto geométrico, drenaje menor y obras complementarias, ingeniería de puentes, señalamiento definitivo, señalamiento para protección de obra, alumbrado, obras inducidas, costos, entre otras. Estas son etapas que van ligadas entre sí, por lo que si se tiene un mal análisis en cualquiera de ellas desde un principio, impacta considerablemente en la construcción y operación de la carretera.

Un puente o una estructura similar se diseña con la finalidad de permitir la continuidad del flujo vehicular sobre un obstáculo con seguridad y eficiencia; dichos obstáculos pueden ser cuerpos de agua, barrancas, zonas urbanas, vialidades, intersecciones, ferrocarriles, etc.

Lo anterior demuestra que en ingeniería de puentes se necesita personal con un nivel de conocimientos y criterios amplios para encontrar soluciones factibles y económicas. Lamentablemente, en ocasiones los proyectistas no cuentan con este nivel óptimo de preparación, por lo que sus malos análisis o criterios realizados se ven reflejados en la operación de la estructura y en sus costos de mantenimiento.

Un factor que influye en este problema es la falta de una normatividad con una metodología completa para el diseño de puentes y/o estructuras similares, elaborada con resultados obtenidos de investigaciones en el país. La mayoría de los parámetros de diseño empleados actualmente en el sector carretero se basan en fragmentos traducidos de diferentes normativas extranjeras o aún se utilizan normativas que no se han actualizado en años.

En el caso de puentes y pasos vehiculares, se emplea la normativa y las especificaciones para el proyecto de puentes carreteros de la SCT; además, se han utilizado fragmentos de diferentes normativas y formulas sin un criterio adecuado como lo es AASHTO Standard, AASHTO LRFD, ACI, Normas Técnicas Complementarias del RCDF, entre otros. También se recurre al uso de uno o varios programas a la vez para el análisis de un puente, cuyos resultados, en ocasiones, no son interpretados de la manera correcta o son producto de utilizar códigos de diseño extranjeros sin adecuar los parámetros necesarios a los requerimientos de este país.

Aunado a este problema, también se han observado vicios como la adaptación de un proyecto a otro sin un previo cálculo, el ingresar datos a hojas de cálculo sin realizar un análisis minucioso,

copia de planos sin adecuar a los datos del proyecto y entrega de memorias de cálculo incompletas, sin establecer criterios para el diseño de los elementos de la estructura.

En ocasiones, un proyecto estructural es enviado a revisión antes de su construcción. En caso de que el revisor encuentre una discrepancia, hace una observación escrita en un documento elaborado a criterio, careciendo muchas veces de una estructuración ideal para justificar alguna conclusión y/o comentario.

Tomando en cuenta lo realizado en ciertas edificaciones, un documento que podría ayudar a evaluar un proyecto estructural de puentes sería un dictamen, el cual por su naturaleza, tiene una metodología de procedimientos para determinar la aceptación o rechazo de un diseño, con validez de carácter técnico para la posterior toma de decisiones; sin embargo, en ingeniería de puentes, no existe este concepto.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es proponer y realizar un dictamen técnico después de efectuar una revisión del proyecto estructural a nivel de diseño con base a la información proporcionada por un cliente.

El trabajo de tesina se desarrolla suponiendo que el cliente (dependencia o empresa) subcontrata a personal externo para hacer una revisión de un diseño estructural de un paso vehicular, porque notó incongruencias en los planos y requiere verificar que el diseño cumpla con la normativa vigente de diseño antes de su construcción.

Durante el desarrollo de este trabajo, se pretenden alcanzar los siguientes objetivos complementarios a nivel académico:

1. Interpretar y revisar la información plasmada en planos.
2. Hacer una revisión estructural empleando la normativa vigente de diseño de la SCT para el proyecto de puentes y en dado caso, usar normativa extranjera como apoyo.
3. Entender si hay justificación por la aplicación de diversas normativas, manuales o códigos de diseño (AASHTO, ACI, NTC, CFE, ANNIPAC, etc.) para el proyecto estructural de pasos vehiculares.
4. Comprender el origen de los elementos mecánicos y la función de cada una de las partes que conforman un paso vehicular.
5. Emplear con criterio las fórmulas de cada normativa, manual o especificaciones empleadas.
6. Elaborar un dictamen de carácter técnico para un paso vehicular, justificando la aceptación o rechazo del proyecto estructural.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Aspectos de Dictamen

Los dictámenes que se utilizan en el ámbito de la ingeniería civil, son veredictos que suelen tener un enfoque técnico, económico o legal, para la posterior toma de decisiones; actualmente, este tipo de documento se aplica regularmente a **estructuras existentes** de tipo edificación.

Un dictamen estructural es un documento que tiene como finalidad dar a conocer las condiciones de la estructura de un edificio, sus elementos, materiales que lo conforman y conocer las circunstancias de servicio actuales. El dictamen puede ser de dos tipos:

Cualitativo: es aquel que se basa en la experiencia del revisor y donde se emite una opinión técnica con base a una inspección ocular y observación del inmueble. No se realiza ningún tipo de análisis de laboratorio, solo se revisan planos y memorias en caso de existir; este tipo **se utiliza en caso de emergencia**, siendo válido aun cuando el inmueble no tiene daños o afectaciones.

El proceso consiste básicamente en una visita técnica al inmueble donde se observa los asentamientos diferenciales, la cimentación y cada uno de los elementos estructurales del inmueble; con lo anterior se evalúan los daños para poder emitir el dictamen con la firma autorizada.

Este tipo de documento también se conoce como dictamen de seguridad estructural.

Cuantitativo: Es aquel en donde se evalúan las necesidades particulares de cada inmueble para determinar las pruebas que se requieren como lo son:

Inspección física de la estructura, levantamiento de daños, revisión del levantamiento de la estructura, levantamiento de armados, levantamiento de estructuración, análisis estructural de la estructura, revisión de diseño de los elementos estructurales, memoria fotográfica, entre otros.

Finalmente se elabora el dictamen técnico y se firma por un director responsable de obra o corresponsable en Seguridad estructural. Este tipo de dictámenes se conocen en ocasiones como dictamen técnico estructural.

En la Ciudad de México, existe el "Instituto para la Seguridad de las Construcciones", el cual tiene lineamientos que indican de forma general, los trabajos necesarios para elaborar el dictamen de Seguridad estructural en edificaciones existentes. Este tipo de documentos deben ser firmados por un director Responsable de Obra (DRO) o un Corresponsable en Seguridad Estructural.

Se hace hincapié que el concepto de dictamen regularmente se aplica para la inspección ocular y revisión estructural en edificios.

Hablando en el contexto de puentes, no se tienen lineamientos para hacer dictámenes. Lo más parecido son las inspecciones que se realizan a obras de drenaje menor y mayor, en donde se

manejan acciones o recomendaciones plasmadas en un formato llamado “Reporte de inspección”. Se hace énfasis, de que este procedimiento se aplica a estructuras existentes.

En el ámbito de puentes o estructuras que permiten el paso vehicular a través de éstas, se tienen inspecciones, las cuales son un conjunto de acciones técnicas que proporcionan los datos necesarios para conocer el estado físico de la estructura.

Dicho estado físico se evalúa con una calificación asignada por el inspector en cuestión. A partir de la calificación asignada a la estructura se dan lineamientos generales sobre la urgencia de atención y medidas de mantenimiento, reparación, readecuación o remplazo.

Las inspecciones se dividen generalmente en dos tipos: visuales y detalladas, que en términos de dictamen, serían en inspecciones cualitativas y cuantitativas. La selección de una determinada inspección se muestra a continuación en la figura 2.1.1¹:

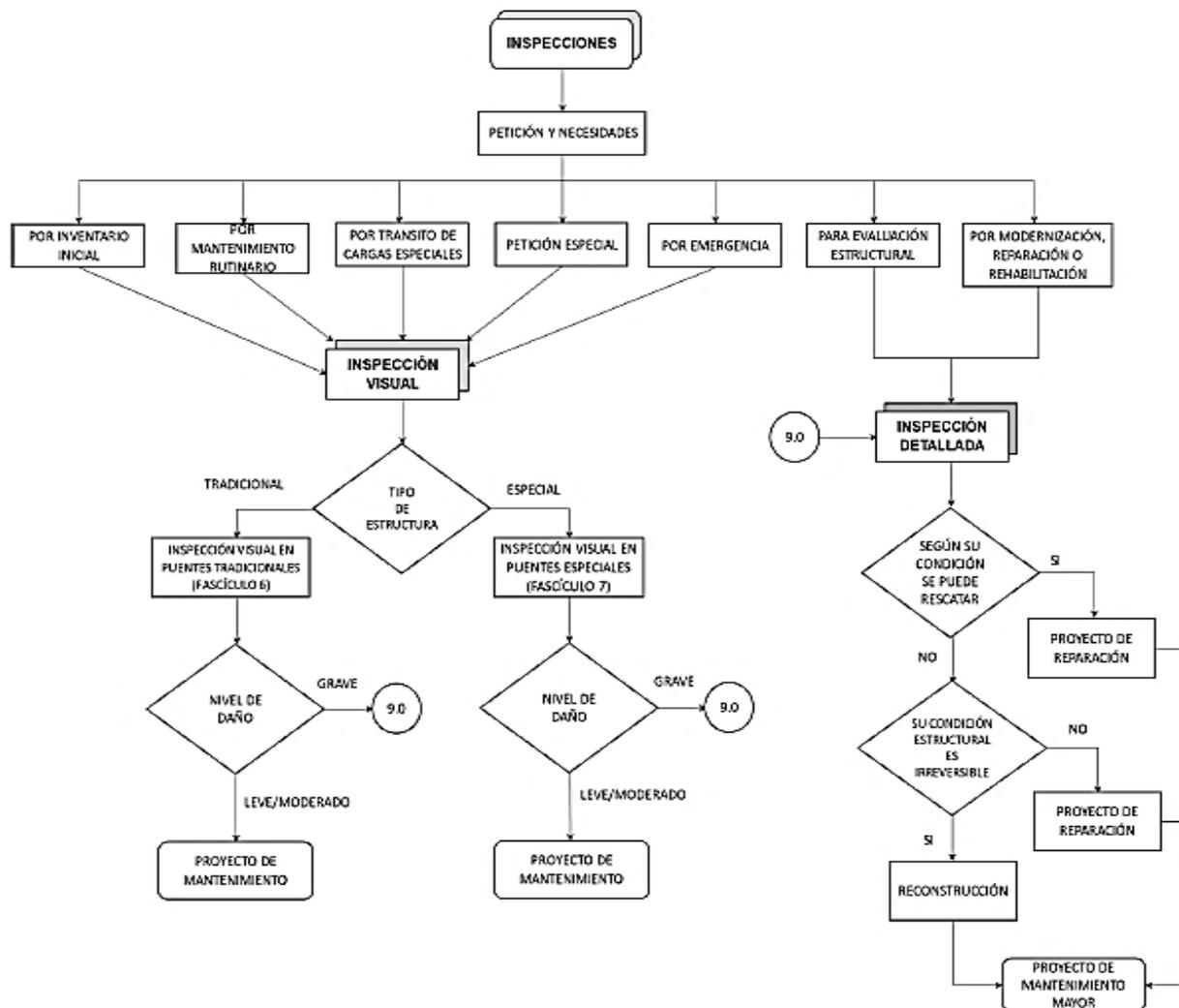


Figura 2.1.1. Orientación para selección de inspección.

¹ Manual de Inspección de Puentes 2018, DGST, SCT

La inspección detallada viene precedida en la mayoría de las veces por una inspección visual, es decir de lo cualitativo a lo cuantitativo.

Como se observa, tanto el reporte de inspección y el dictamen estructural emiten una evaluación de la estructura existente para conocer si tiene las características estructurales y funcionales para garantizar la seguridad del usuario y sus posibles acciones y/o recomendaciones para que ésta cumpla con dichas características.

Actualmente, a nivel de proyecto en el ramo de puentes, no se cuenta con un procedimiento para presentar un dictamen en donde se plasme el veredicto de la revisión un proyecto estructural.

¿Porque realizar un dictamen de proyecto? Como se comentó anteriormente, en ocasiones los proyectistas no cuentan con un nivel óptimo de preparación, por lo que sus malos análisis o criterios realizados se ven reflejados durante la construcción, operación y/o costos de mantenimiento en la estructura. La falta de una normatividad, manual o especificaciones completas, en conjunto con el uso de fragmentos de diferentes normativas y formulas sin un criterio adecuado, influyen en este tipo de diseños deficientes. Además, el uso de uno o varios programas, cuyos resultados, no son interpretados de la manera correcta o son producto de utilizar códigos de diseño extranjeras sin adecuar los parámetros necesarios a los requerimientos de este país, es una práctica que se suma a un mal diseño estructural.

Aunado al problema, también se ha observado vicios como la copia y adaptación de planos y memorias de cálculo de un proyecto a otro sin un previo análisis o el ingresar datos a hojas de cálculo sin realizar un análisis minucioso. En ocasiones, se tienen que revisar los diseños realizados por empresas extranjeras, ya que éstas no están familiarizadas con los parámetros empleados en el país.

Por lo expuesto anteriormente, se justifica el realizar un dictamen para aceptar o rechazar un diseño estructural antes de su construcción, para evitar altos gastos de mantenimiento y funcionalidad deficiente durante su operación.

Importancia del dictamen de proyecto. Un dictamen puede tener el carácter de un veredicto técnico, legal o económico. Para este trabajo, el dictamen técnico se deberá entender como el documento en donde se presenta un veredicto o juicio por parte del revisor con la finalidad de aprobar, condicionar o rechazar el diseño de la estructura justificando dicha decisión con cálculos o criterios basados en normativas, manuales y especificaciones, para posteriormente servir como una herramienta para toma de decisiones como estudiar su pre o factibilidad técnica, realizar su presupuesto, iniciar trabajos de construcción o rediseño del mismo.

La elaboración para realizar este tipo de dictamen se puede resumir a continuación:

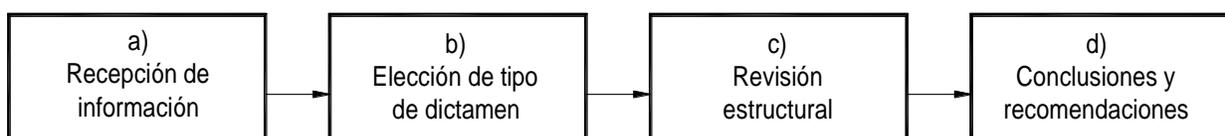


Figura 2.1.2. Pasos básicos para elaboración de dictamen.

Para ello, se procederá a proponer los criterios para aplicar un dictamen de tipo cualitativo o cuantitativo, tomando en cuenta la información entregada al revisor.

2.2. Metodología para la elaboración del dictamen.

a) Recepción de información

En esta etapa, se solicita la mayor información posible para posteriormente recibir por parte del cliente documentación (estudios, informes o planos) para obtener los parámetros de diseño con los que se realizó el proyecto estructural. Dicha información puede provenir de los siguientes documentos:

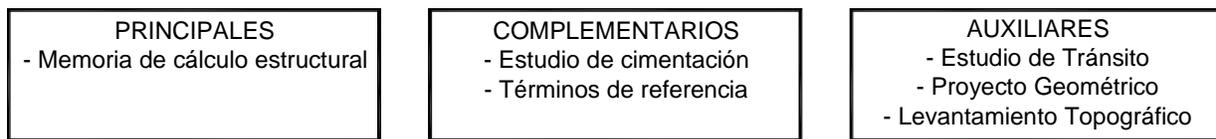


Figura 2.2.1. Documentación para obtener parámetros de diseño para paso vehicular.

b) Elección del tipo de dictamen

En base a la información entregada, se definirá si el dictamen será cualitativo o cuantitativo.

Cualitativo: es aquel donde se emite una opinión técnica que se basa en la revisión ocular de la memoria de cálculo estructural y planos sin la necesidad de realizar cálculos complejos o modelos y verificación de datos en estudios complementarios en caso de haber.

Cuantitativo: es aquel donde se emite una opinión técnica que se basa en una revisión detallada por falta de memoria de cálculo estructural, en donde se realizan cálculos más completos por falta de información y una revisión más exhaustiva en los estudios para obtener, estimar y/o proponer los parámetros de diseño.

Se considera que la memoria de cálculo estructural es imprescindible para la elección del tipo, ya que dicho documento es elaborado tomando en cuenta los términos de referencia, la mecánica de suelos y todos los parámetros necesarios para su diseño.

c) Revisión estructural

De acuerdo a la empresa BDL², “una revisión estructural se refiere a la verificación del cumplimiento de todas las leyes de construcción de un proyecto y de todas las normas de construcción, sean sísmicas, de los materiales de construcción, etc.”

² BDL Consultores de Ingeniería Civil (www.bdl.cl)

La revisión estructural a nivel de diseño, podría resumirse como el análisis a la cual se somete el proyecto estructural de gabinete en cuestión, con la finalidad de verificar que las dimensiones y armados de los elementos estructurales cumplan con las normas y/o especificaciones de diseño y/o construcciones vigentes.

La revisión estructural debe ser llevada a cabo por un profesional con experiencia y con dominio en el tema. En teoría, las conclusiones, observaciones y recomendaciones, productos de la revisión estructural para proyectos viales, deberían plasmarse en un informe, aunque en la práctica no siempre se realiza. Este informe debería tener una estructuración e importancia similar al de un dictamen técnico emitido para una edificación.

Sin embargo, no se cuenta con una guía para la revisión del proyecto estructural de puentes; así mismo, no se cuenta con información para elaboración de una revisión estructural enfocada a estructuras empleadas en vías terrestres. Debido a esta situación, se muestra la metodología propuesta para la revisión del proyecto que se empleara en este trabajo:

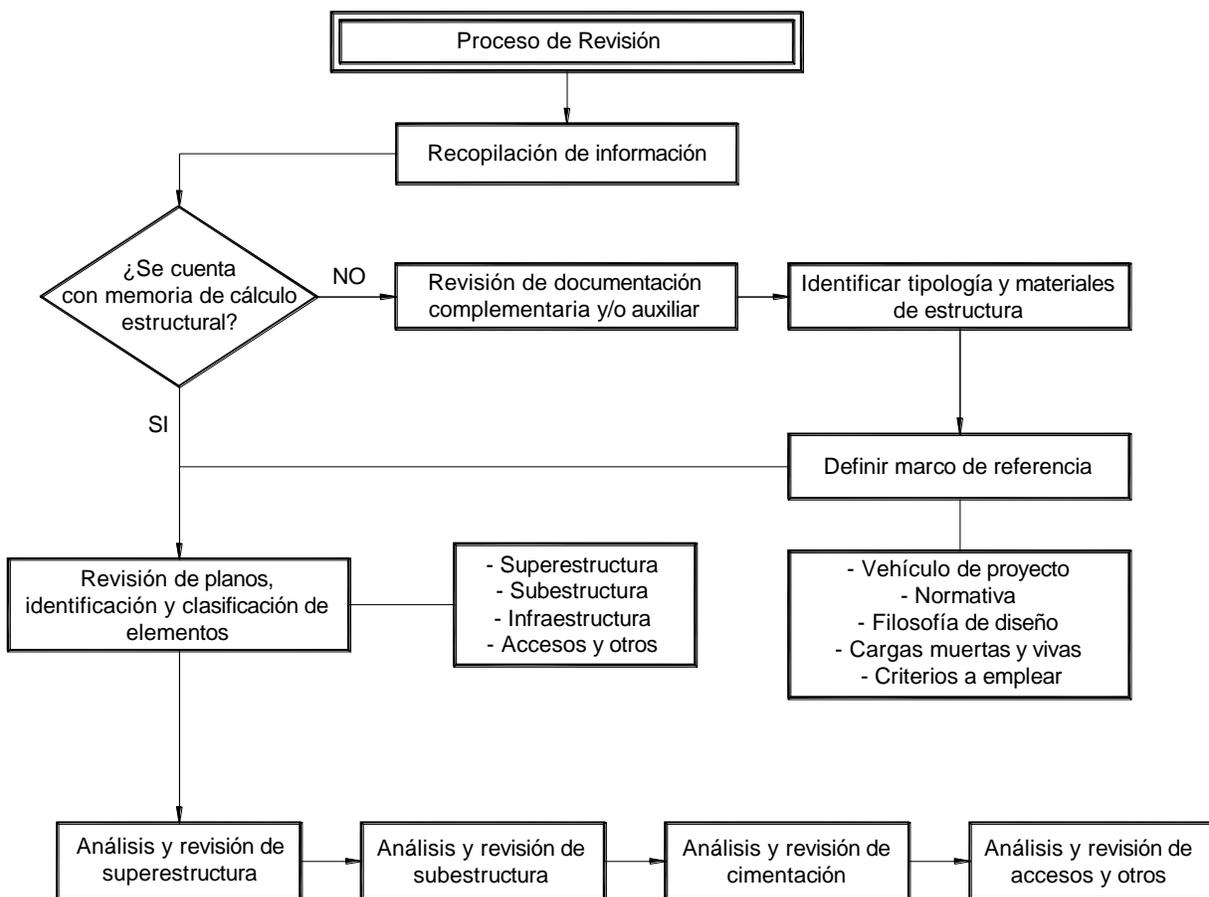


Figura 2.2.2. Metodología de revisión estructural propuesta.

d) Conclusiones y recomendaciones

Una vez obtenidos las dimensiones y armados en el proceso de revisión, se procede a realizar la comparativa con respecto al diseño del elemento plasmado en el proyecto a revisar. Si el elemento es igual al obtenido, se considera que dicho elemento cumple con la normativa de diseño empleada. En casos donde se presente un diseño parecido o similar, se pueden tomar las siguientes recomendaciones para determinar si un elemento cumple con la normativa:

Para variaciones en el acero: debe tomar en cuenta que generalmente se presentan cuantías mínimas y máximas, por lo que si existen variaciones, se deberá revisar si el armado se encuentra dentro estos parámetros.

Para variaciones en dimensiones de concreto: en el ámbito de puentes, se tienen dimensiones por práctica o por procedimiento constructivo, por lo que si dichas dimensiones no coinciden, el revisor deberá tener un amplio criterio para determinar aceptar el diseño de dicho elemento, tomando en cuenta las cuantías de acero correspondientes.

Se podrán hacer recomendaciones para modificar o rediseñar el elemento que no cumpla con la normativa de diseño, observaciones de incongruencia en planos o en datos que pueden dificultar al constructor su interpretación. Así mismo, en el caso de un análisis tipo cualitativo, se puede recomendar un dictamen tipo cuantitativo o en el caso de un dictamen cuantitativo se puede recomendar una revisión más detallada en cierto tema o área.

2.3. Consideraciones

El diseño de un puente o un paso vehicular generalmente se basa en un documento llamado Términos de Referencia. De acuerdo a la Secretaría de la Función Pública, en dicho documento se describen de manera detallada las características que se pretende tenga el servicio prestado, a través del señalamiento minucioso de la actividades que lo configurarán, las características técnicas de dichas actividades y los procedimientos que se espera utilice el prestador del servicio, así como el resultado final esperado de cada actividad; suele ser dividido, para facilitar la descripción del servicio, en diversos apartados, que a veces por su volumen son separados en anexos. Dichos apartados se refieren a los siguientes aspectos: descripción del servicio, metodología o forma en que se prestará el servicio, actividades a realizar por el prestador del servicio, productos o resultados esperados e informes a entregar por el prestador del servicio.

Por lo tanto, los estudios previos, apoyo de otras disciplinas del ramo, la normativa y la metodología de diseño a emplear, se especifican regularmente en dicho documento. Sin embargo, cuando se carece de dicho documento, se recurre directamente a todo estudio o información para determinar todos los parámetros para el diseño de la estructura. De toda la información que interviene en la totalidad del proyecto ejecutivo, la ingeniería de tránsito, el proyecto geométrico y la geotecnia son los estudios principales de donde se obtienen los parámetros para el diseño estructural del puente. A continuación, se mencionan brevemente algunos conceptos para su comprensión e identificación:

a) Ingeniería de tránsito

La ingeniería de Tránsito es una rama de la Ingeniería de Transporte que trata el planeamiento, diseño geométrico y operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales y su relación con otros medios de transporte; entendiéndose diseño geométrico, en este contexto, como la correlación existente entre los elementos físicos de la vía y las características de operación de los vehículos.

Los estudios de ingeniería de tránsito sirven para identificar las características relevantes y definir los problemas relacionados con la planeación y la operación del tránsito y la infraestructura de vías, carreteras y destinos; además el flujo del tránsito es fundamental para el desarrollo y el diseño de estrategias para el control de intersecciones, carreteras rurales y tramos de carretera.

Los aforos vehiculares, como parte de la ingeniería de tránsito, son el conteo de vehículos para mostrar sus volúmenes y tipo que pasan por un punto o intersección. Dichos aforos determinan el vehículo crítico, el cual es un vehículo representativo cuyas dimensiones y características operativas se usan para dimensionar los elementos de la carretera.

b) Proyecto geométrico

El proyecto geométrico de la carretera es la ordenación y dimensionamiento de los alineamientos de la carretera. La ordenación corresponde a la relación de estos elementos entre sí y con respecto al terreno natural. El dimensionamiento corresponde a la cuantificación de los parámetros que definen a cada uno de los elementos. Estas dos características, ordenamiento y dimensionamiento, se expresan en planta, perfil y sección, que corresponden a los llamados alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal.

Es de importancia determinar la clasificación de la carretera en donde se va a ubicar una estructura, porque la normativa maneja factores que incrementan ciertos valores de diseño.

c) Mecánica de Suelos

Es una disciplina de la ingeniería que el Dr. Karl Terzaghi definió como la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería relacionados con depósitos no consolidados de partículas sólidas. Como objetivos de la mecánica de suelos, está la de determinar el tipo de cimentación y la capacidad de carga según la estructura de proyecto.

Las cimentaciones constituyen un elemento de transición entre la estructura y el terreno en que se apoya. Su función es lograr que las fuerzas que se presentan en la base de la estructura se transmitan adecuadamente al suelo en que ésta se apoya. Una parte esencial del diseño consiste en definir, de manera compatible con el costo, cuáles son los estratos de suelo más adecuados para aceptar las cargas transmitidas por la estructura, tipo de elemento (superficial o

profundo) que mejor se presta a realizar dicha transmisión y cuál es el procedimiento de construcción más adecuado.

La capacidad de carga es la presión de contacto entre la cimentación y el terreno para que no se produzca un fallo y dicho valor dependerá de las características geotécnicas de la zona.

d) Análisis estructural

El análisis estructural es la determinación de las fuerzas internas en los elementos de la estructura, por lo que es de suma importancia ingresar o analizar correctamente el modelo de la estructura, pues los elementos serán diseñados para soportar los esfuerzos, elementos mecánicos y desplazamientos producto del resultado de dicho análisis.

e) Diseño estructural

Consiste en determinar las dimensiones y características de los elementos de una estructura para que esta cumpla cierta función con un grado de seguridad razonable, comportándose además satisfactoriamente una vez en condiciones de servicio. Este trabajo, se enfoca más a la revisión de elementos de concreto reforzado y presforzado.

El diseño de elementos de concreto reforzado consiste en determinar las dimensiones del elemento y la cantidad y posición del acero de refuerzo.

El diseño de elementos de concreto presforzado consiste en crear deliberadamente esfuerzos permanentes en un elemento estructural para mejorar su comportamiento de servicio y aumentar su resistencia; generalmente, se crea un estado de esfuerzos de compresión en el concreto antes de la aplicación de las acciones, para que, de este modo, los esfuerzos de tensión producidos por las acciones quedan contrarrestadas o reducidos, teniendo dos métodos: el pretensado y el postensado. El pretensado es el método en el cual los tendones se tensan antes de colar el concreto, mientras que el postensado es el método que consiste en tensar los tendones y anclarlos en los extremos de los elementos después de que el concreto ha fraguado y alcanzado su resistencia necesaria.

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE CASO

3.1. Descripción del problema de estudio

Para ejemplificar el proceso para elaborar un dictamen y revisión, se toma como objeto de estudio el paso superior vehicular proyectado en el cruce de la avenida Presidente Juárez y el boulevard Abraham Lincoln, en el municipio de Tlalnepantla, estado de México.

La ubicación de dicha intersección tiene las siguientes coordenadas: latitud: 19°31'27.78", 19°31'16.78"; longitud: 99°12'9.35", 99°12'24.15"; el croquis de localización se muestra en la figura 3.1.1:

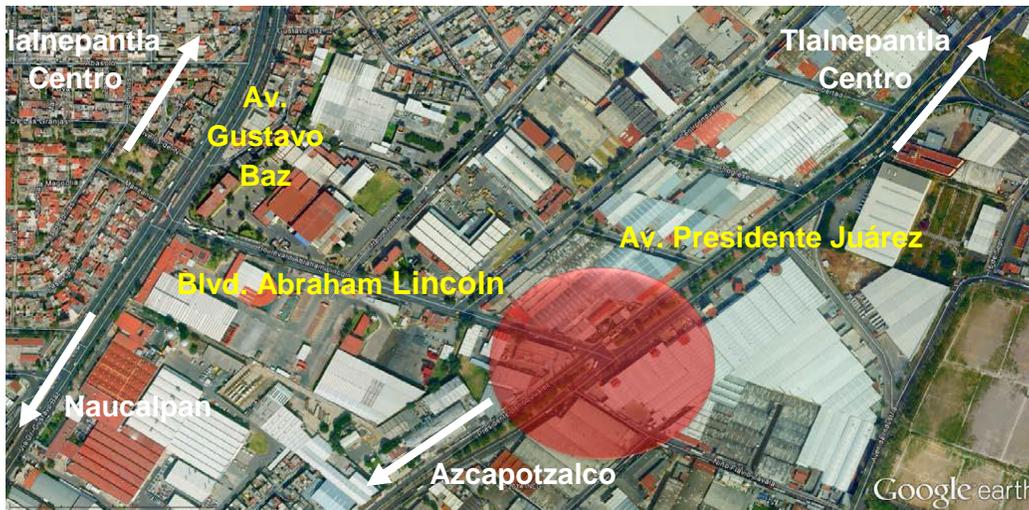


Figura 3.1.1. Vista de ubicación de proyecto.

La avenida Presidente Juárez se conforma de 2 cuerpos de circulación como se muestra en la figura 3.1.2, observando en el lado izquierdo, el cuerpo 1 con dirección a Azcapotzalco y en el lado derecho, se observa el cuerpo 2 con dirección a Tlalnepantla centro, cada uno con 3 carriles de circulación, divididos por un camellón central de ancho variable que van de 1 m hasta 3.50m y banquetas en los extremos de la calzada de rodamiento; en el sentido sur-oeste se tiene habilitado un carril para vuelta izquierda hacia Blvd. Abraham Lincoln.



Figura 3.1.2. Vista de sección transversal de Av. Presidente Juárez.

El boulevard Abraham Lincoln presenta una sección de 14m que aloja 2 carriles de 3.50m por sentido de circulación presentando banquetas en los extremos de la superficie de rodamiento; en la figura 3.1.3 se muestran las características geométricas de la sección transversal con dirección hacia Blvd. Abraham Lincoln (lado izquierdo) y hacia Av. Gustavo Baz (lado derecho).



Figura 3.1.3. Vista de sección transversal de Blvd. Abraham Lincoln.

Actualmente, se tiene un entronque a nivel semaforizado en la intersección de las vialidades mencionadas anteriormente, que debido a sus características geométricas y al incremento de vehículos de la zona, proporciona un nivel de servicio F en horas pico.

3.2. Proyecto estructural

Se cuenta con el proyecto de un paso superior vehicular para mejorar la circulación de la zona para 2 carriles de circulación de 3.50m con guarnición, parapeto y banqueta dando un ancho de 0.70m en cada extremo, dando un total de 8.40m de ancho total, conformado por 7 claros: claro 1 de 26.67m, claro 2 de 27.05m, claro 3 de 27.05m, claro 4 de 27.05m, claro 5 de 36.05m, claro 6 de 27.05m y claro 7 de 26.67m, dando un total de 197.59m; el conjunto de claros está conformado por traveses pretensados simplemente apoyados, con losas de longitud de 27.00m y 36.00m.

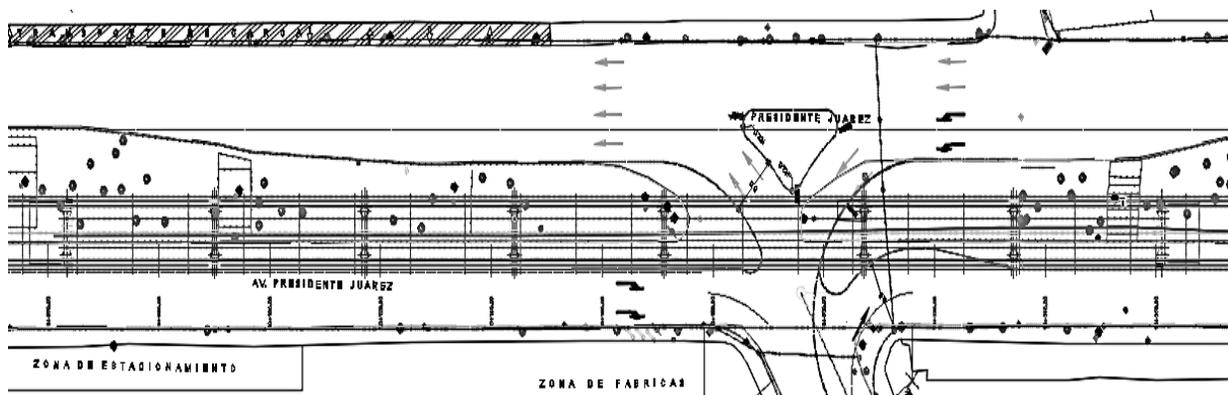


Figura 3.2.1. Planta general de estructura.

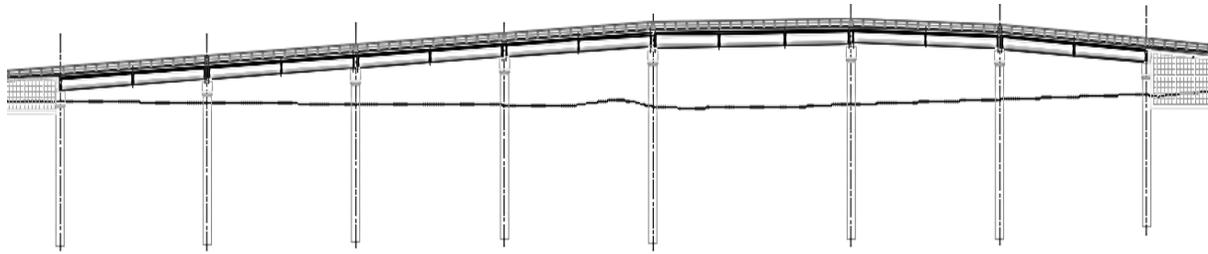


Figura 3.2.2. Elevación de estructura.

La superestructura de los claros 1, 2, 3, 4, 6 y 7 está constituido por un sistema de piso conformado por una losa de concreto reforzado y el elemento portante conformado por traveses AASHTO tipo IV (figura 3.2.3) separadas a distancias de 1.55m y 1.80m, rigidizadas por dos diafragmas extremos y uno intermedio; la superestructura del claro 5 está constituido por un sistema de piso conformado por una losa de concreto reforzado y el elemento portante conformado por traveses AASHTO tipo V (figura 3.2.4) con las separaciones mencionadas anteriormente, rigidizadas por dos diafragmas extremos y dos intermedios.

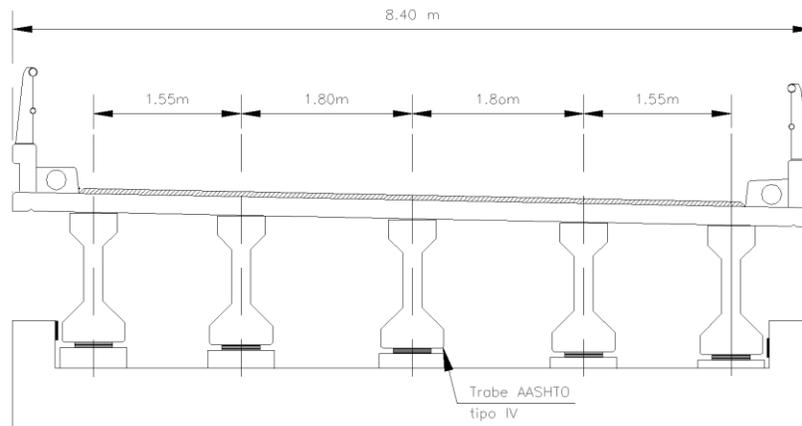


Figura 3.2.3. Sección transversal de claro 1,2,3,4,6 y 7.

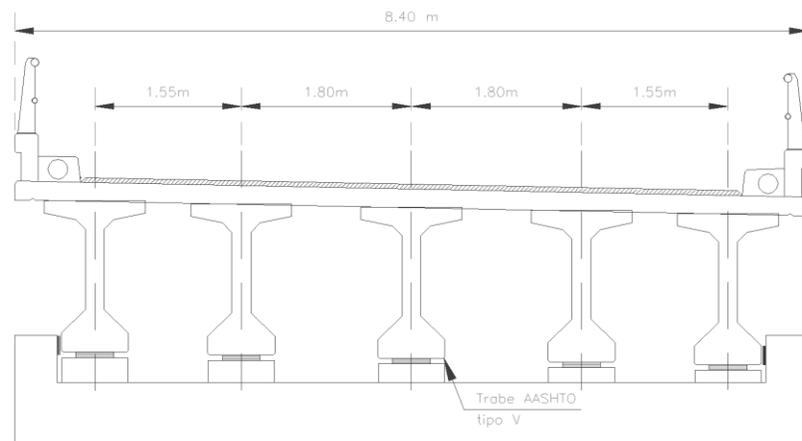


Figura 3.2.4. Sección transversal de claro 5.

La subestructura está conformada por 8 apoyos (2 extremos y 6 intermedios). Cada apoyo cuenta con un cabezal de concreto de 1.3m x 1.8m x 8.40m que se apoya sobre 2 pila-columna de concreto. A su vez, cada cabezal tiene topes sísmicos laterales, bancos y apoyos de neopreno integral, a excepción de que el cabezal del caballete cuenta con muro de respaldo y ménsula.

La infraestructura consiste en las 2 pila-columnas de concreto de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ de 1.50m de diámetro cada una, separadas a 5.6m entre ejes de las mismas.

En todos los apoyos, la longitud de la columna se prolonga hasta el estrato resistente, como se muestra en la figura 3.2.5 y 3.2.6; en el proyecto estructural de revisión, este elemento lo denominaron como “pila-columna”. Cabe mencionar que se emplean capiteles como elemento decorativo.

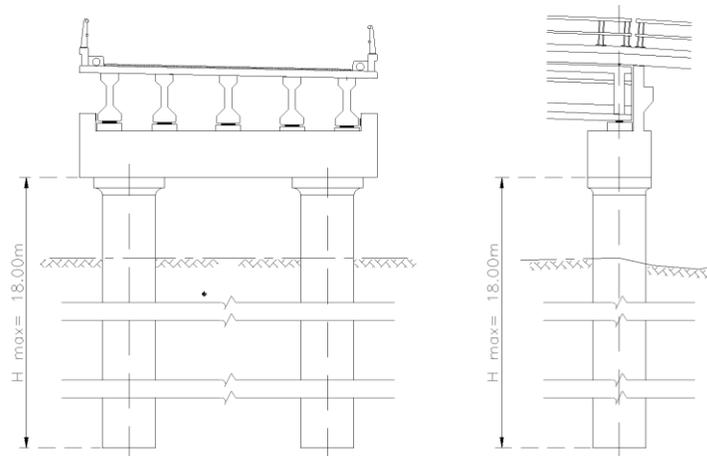


Figura 3.2.5. Sección tipo de apoyo extremo no. 1 y 8.

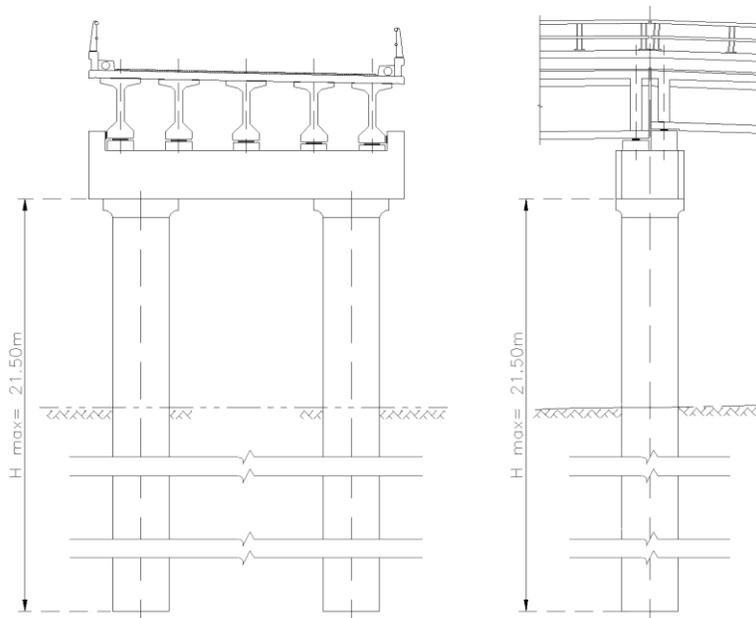


Figura 3.2.6. Sección tipo de apoyo intermedio no. 2 al 7.

En los accesos de entrada y salida se tienen losas de acceso de concreto de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ de 6m de longitud, 7.56m de ancho y 0.35m de espesor, guarnición de parapeto de concreto de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ y banqueta de concreto de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ y muro mecánicamente estabilizado para la conformación de las rampas de acceso.

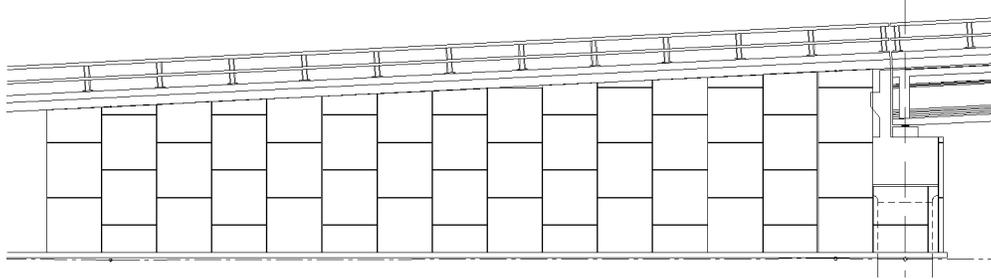


Figura 3.2.7. Vista de elevación de accesos de proyecto.

3.3. Alcances de revisión estructural

Se iniciará la construcción de la estructura de proyecto, pero antes de iniciar dichos trabajos, la entidad responsable (cliente), solicitó la revisión de los armados de los elementos estructurales de concreto, para verificar que el diseño cumpla con la normativa vigente de diseño. En dicha estructura, se contempló emplear elementos pretensados en la superestructura, así como el empleo de muros mecánicamente estabilizados para las rampas de acceso.

Para fines académicos, se hace un dictamen técnico con enfoque al diseño estructural, específicamente en los elementos de concreto, por lo que no realizó un análisis a detalle de los estudios previos. Sin embargo, se hizo una revisión general en el rubro de estudios previos para determinar parámetros de diseño, ya que no se contó con los términos de referencia.

Se hace énfasis que para el desarrollo de este trabajo, solo se contó con los planos correspondientes al proyecto ejecutivo, un resumen del estudio de mecánica de suelos y un resumen de estudios de tránsito, por lo que los datos básicos para diseño se dedujeron a partir del marco de referencia definido en este trabajo.

3.4. Definición de Términos de Referencia

Los lineamientos para diseñar de un puente o un paso vehicular generalmente se basa en un documento llamado Términos de Referencia. De acuerdo a la Secretaría de la Función Pública, en dicho documento se describen de manera detallada las características que se pretende tenga el servicio prestado, a través del señalamiento minucioso de la actividades que lo configurarán, las características técnicas de dichas actividades y los procedimientos que se espera utilice el prestador del servicio, así como el resultado final esperado de cada actividad; suele ser dividido, para facilitar la descripción del servicio, en diversos apartados, que a veces por su volumen son separados en anexos. Dichos apartados se refieren a los siguientes aspectos: descripción del servicio, metodología o forma en que se prestará el servicio,

actividades a realizar por el prestador del servicio, productos o resultados esperados e informes a entregar por el prestador del servicio.

Sin embargo, como se carece de dicho documento, se recurrirá directamente a todo estudio o informe para determinar los parámetros para el diseño de la estructura en estudio.

La estructura corresponde a un proyecto correspondiente a la Dirección General de Vialidad de la Secretaría de Comunicaciones del Gobierno del Estado de México ubicado en un camino primario, ya que es uno de los accesos principales hacia CDMX. Por ello, se revisará el proyecto empleando la normativa desarrollada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y el Instituto Mexicano del Transporte (IMT); así como lineamientos y normativas de organismos enfocados al diseño de estructuras y puentes como AASHTO, entre otros. Como se mencionó en el capítulo 1, esta situación de tomar fragmentos de diferentes normativas se debe a que en nuestro país, no se cuenta aún con especificaciones, normativa o guía completa de diseño.

Para el rubro de estudios previos, se considera el tipo de carretera, para elegir el vehículo de proyecto a utilizar, de acuerdo con el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras edición 2016 (MPGC 2016) de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST). Una vez seleccionado el tipo de carretera, se hará una revisión general de las características geométricas de la estructura en base al MPGC 2016; el vehículo de proyecto se tomará en base a lo establecido en la norma N-PRY-CAR-6-01-003/01.

La revisión de la superestructura se hará de la siguiente forma: para el sistema de piso se tomará en cuenta lo establecido en la norma N-PRY-CAR-6-01-007/16, mientras que la revisión del elemento portante se realizara con lo indicado en el AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition 2002 y las Normas Técnicas para el proyecto de puentes carreteros 1984, de la SCT; para la revisión de la subestructura e infraestructura, se empleará filosofía LFD, también conocido como factores de carga.

Se utilizarán los grupos y combinaciones de cargas que se estipula en la tabla 1 de la norma N-PRY-CAR-6-01-006/01, la cual se muestra en el dictamen.

3.5. Justificación de Términos de Referencia

Actualmente, proyectistas hacen uso de diferentes fórmulas para diseñar los elementos de un puente sin el debido o poco conocimiento de filosofías de diseño, entendiéndolo el concepto de filosofía en este contexto como un criterio. Por lo tanto, es importante describir brevemente estas filosofías para comprender su existencia.

En el año de 1931, Estados Unidos publicó, a través de la AASHTO (que posteriormente se convirtió en AASHTO), la normativa ampliamente reconocida para el diseño y la construcción de puentes. Desde esa fecha, la ingeniería relacionada con el diseño de puentes ha crecido y evolucionado, reflejando los avances logrados a través de investigaciones.

Desde su origen hasta el comienzo de la década de los setentas, la única filosofía de diseño era la de Diseño por Esfuerzos Admisibles (ASD). Posteriormente a esa década, dicha filosofía se fue ajustando para reflejar la variabilidad en la predicción de cierto tipo de cargas, a través de factores de ajuste, surgiendo así la filosofía conocida como Diseño por Resistencia Última o Diseño por Factores de Carga (LFD).

Con el tiempo, la filosofía LFD se amplió al considerar la variabilidad de las propiedades de los elementos estructurales y de forma parcial, la variabilidad de las cargas. De esta manera, surge la filosofía de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD), que toma en cuenta la variabilidad del comportamiento de los elementos estructurales en base a métodos estadísticos.

La filosofía de Diseño por Esfuerzos Admisibles y la filosofía de Diseño por Factores de Carga, se incluyen en el reglamento AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition 2002, mientras que la filosofía de Diseño por Factores de Carga y Resistencia se da a conocer en el reglamento AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 3rd Edition 2004, haciendo énfasis de que son normativas aplicables en E.U.A. y de que en ese país hay actualización de sus normativas en base a estudios de investigación y nuevas tecnologías, siendo actualmente el reglamento LRFD, el método utilizado y a utilizar en los siguientes años.

Sin embargo en México, ha sido poca la investigación para el diseño de puentes, por lo que en la actualidad, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha seguido contemplado para el proyecto de puentes, el diseño estructural por la filosofía de diseño por esfuerzos admisibles y factores de carga, siendo un método que ha ofrecido buenos resultados en el país, observando un comportamiento estructural aceptable, mientras que la filosofía LFD ha ofrecido expresiones (producto de estudios recientes) de análisis para elementos como las ménsulas, topes sísmicos y apoyos de neopreno, entre otros.

Debido a la falta de una normativa completa para el diseño de puentes, los proyectistas han adoptado combinaciones de filosofías de diseño, destacando las principalmente las siguientes:

- Superestructura diseñada con filosofía ASD; subestructura e infraestructura diseñada con filosofía ASD
- Superestructura diseñada con filosofía ASD; subestructura e infraestructura diseñada con filosofía LFD
- Superestructura diseñada con filosofía LRFD; subestructura e infraestructura diseñada con filosofía LFD

Para este trabajo, se empleó el método ASD para el diseño de la superestructura, mientras que para la subestructura e infraestructura se utilizó la filosofía LFD, haciendo hincapié de que el empleo de estos análisis ha permitido una vida aceptable de los puentes con su adecuado mantenimiento, en el que la falla de éstos se debe más a efectos provocados por socavación que por falla de los elementos estructurales.

CAPÍTULO 4: ESTUDIOS PREVIOS PARA PROYECTO

Con la información entregada por parte del cliente, se procedió a analizar todo estudio y/o informe para determinar los parámetros para el diseño de la estructura en estudio. Dichos estudios se mencionan a continuación:

4.1. Estudios de vialidad

a) Ingeniería de Tránsito

Se recurrió al Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2016 (MPGC 2016) para definir el tipo de carretera sobre la cual se localiza el proyecto en cuestión. Para ello, se empleó la siguiente tabla:

Tabla 4.1.1. Características geométricas de acuerdo al MPGC 2016.

CONCEPTO	UNIDAD	TIPO DE CARRETERA																																															
		E Y A							B							C							D																										
		VEHICULO DE PROYECTO																																															
NIVEL DE SERVICIO ESPERADO EN EL HORIZONTE DE PROYECTO	NS	T3-S2-R4 de 31.00 m														T3-S2-R4 de 28.50 m							T3-S3 de 18.50 m							C3 Y B3 de 12.50 m																			
TERRENO	-	B														C																																	
VELOCIDAD DE PROYECTO	Km/h	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110	40	50	60	70	80	90	100	30	40	50	60	70	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110	40	50	60	70	80	90	100	30	40	50	60	70
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	m	108	137	167	201	238	82	83	108	137	167	201	238	44	62	83	108	137	167	201	30	44	62	83	108	108	137	167	201	238	82	83	108	137	167	201	238	44	62	83	108	137	167	201	30	44	62	83	108
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE	m	455	520	685	650	715	325	390	455	520	685	550	715	250	325	390	455	520	685	550	195	250	325	390	455	455	520	685	550	715	325	390	455	520	685	550	195	250	325	390	455	520	685	550	195	250	325	390	455
GRADO MAXIMO DE CURVATURA	°	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75	30	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	60	30	17	11	7.5	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	60	30	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	60	30	17	11	7.5
CURVAS VERTICALES	K	20	31	43	57	72	8	14	20	31	43	57	72	4	8	14	20	31	43	57	3	4	8	14	20	20	31	43	57	72	8	14	20	31	43	57	3	4	8	14	20	31	43	57	3	4	8	14	20
PENDIENTE GOBERNADORA	%	4	3	-	-	5	4	-	4	3	-	-	5	4	6	5	-	4	3	-	6	5	-	8	6	4	3	-	-	5	4	-	4	3	-	6	5	-	8	6	5	-	12	9	6	-	6	-	
PENDIENTE MAXIMA	%	6	5	-	-	4	7	6	4	6	5	-	-	4	8	7	6	5	-	6	8	7	6	5	6	6	5	-	-	4	7	6	4	6	5	-	8	6	5	-	12	9	6	-	6	-			
LONGITUD CRITICA	m	APLICAR LAS TABLAS DE LA RELACION PESO/POTENCIA DEL VEHICULO DE PROYECTO.																																															

Cabe señalar que dicha tabla toma en cuenta el tipo de vehículo que puede circular en cada tipo de carretera, además de que maneja el nivel de servicio esperado en el horizonte de proyecto como otro criterio para la selección de una carretera en específico. Dentro del mismo manual, se muestra una recomendación de velocidades de proyecto en base a la clasificación funcional de las carreteras que se muestra a continuación:

Tabla 4.1.2. Velocidad de proyecto en base a la clasificación funcional de la carreteras.

- De 80 a 110 km/h para autopistas y vías rápidas,
- De 70 a 110 km/h para arterias,
- De 60 a 100 km/h para colectoras,
- De 50 a 80 km/h para locales, y
- De 30 a 70 km/h para brechas.

El MGPC 2016 menciona una clasificación de carreteras de acuerdo a la red a la que pertenece un camino, que se muestra en la tabla 4.1.3:

Tabla 4.1.3. Clasificación de las vialidades en base al tipo de camino.

Tipo de Camino.			Red a la que pertenece.		
Camino	Característica	Control de Accesos	Eje de Transporte	Primaria	Secundaria
ET4-A4	Carretera de cuota (Autopista)	Total	✓		
ET2-A2		Total	✓		
A4	Autopista/carretera libre	Parcial		✓	
A2		Parcial		✓	✓
B2	Carretera libre	Sin control de accesos		✓	✓
C					✓
D			Camino rural		

Con el estudio de ingeniería de tránsito, se obtuvo el volumen y la clasificación vehicular como se muestra en la tabla 4.1.4, de acuerdo a las estaciones de aforo mostradas en la figura 4.1.1:

Tabla 4.1.4. Estaciones de aforos y clasificación vehicular en intersección de estudio.

CVE. EST.	CARRETERA	PUNTO GENERADOR	TE	SC	TDPS	CLASIFICACIÓN VEHICULAR EN %								No HRS BAJ	VOL HRS BAJ	No HRS MED	VOL HRS MED	No HRS MAX	VOL HRS MAX
						A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS						
15001	AV. PRESIDENTE JUAREZ	BLVD. ABRAHAM LINCOLN	1	1	17,023	92.11	3.73	1.88	0.90	0.88	0.23	0.14	0.13	7	1,373	6	3,574	11	12,076
15002	AV. PRESIDENTE JUAREZ	BLVD. ABRAHAM LINCOLN	1	2	12,983	90.13	4.47	2.67	0.88	1.16	0.28	0.16	0.24	12	2,228	6	4,424	6	8,331
15003	AV. PRESIDENTE JUAREZ	BLVD. ABRAHAM LINCOLN	3	1	18,882	90.66	4.19	2.37	0.82	1.05	0.23	0.24	0.25	8	1,429	5	4,030	11	13,423
15004	AV. PRESIDENTE JUAREZ	BLVD. ABRAHAM LINCOLN	3	2	13,782	90.00	4.38	2.42	1.09	1.23	0.33	0.28	0.29	9	1,338	5	2,863	10	9,583
15005	BLVD. ABRAHAM LINCOLN	AV. PRESIDENTE JUAREZ	3	1	12,155	87.53	4.34	3.42	1.45	2.22	0.58	0.27	0.19	8	1,076	5	2,461	11	8,618
15006	BLVD. ABRAHAM LINCOLN	AV. PRESIDENTE JUAREZ	3	2	13,070	87.12	4.52	3.37	1.73	2.46	0.40	0.24	0.17	12	2,759	10	7,694	2	2,616
15007	AV. GUSTAVO BAZ	BLVD. ABRAHAM LINCOLN	1	1	41,679	88.84	4.41	3.67	1.27	1.30	0.37	0.10	0.04	8	2,878	4	7,008	12	31,793
15008	AV. GUSTAVO BAZ	BLVD. ABRAHAM LINCOLN	1	2	42,160	88.39	4.25	4.46	1.25	1.16	0.32	0.10	0.08	9	4,806	5	9,389	10	27,965



Figura 4.1.1. Ubicación de estaciones de aforo.

El informe concluyo que con el P.S.V. **se mejora el nivel de servicio de F a C**, detectando la presencia de vehículos tipo T3-S2-R4. Por el nivel de servicio C, se debía tomar el camino como tipo C; por otro lado, por la circulación del vehículo T3-S2-R4 en la vialidad, se consideró inicialmente como un camino tipo B. Sin embargo, se hizo un análisis del entorno de la zona, observando que el proyecto se ubicaba en una red tipo vialidad primaria, y conjuntamente con ayuda de la tabla 4.1.3, se determinó que la carretera fuera considerada como un camino tipo A.

Con respecto al vehículo de proyecto, se tomó en cuenta lo indicado en la norma N-PRY-CAR-6-01-003/01 considerando los claros críticos de 27.05m y 36.05m; los vehículos empleados para la revisión se muestran en el capítulo de dictamen.

Conclusión: se consideró el camino como tipo A y teniendo como vehículo de proyecto el T3-S2-R4, se utilizó como su equivalente el vehículo virtual IMT 66.5 de 6 ejes e IMT 66.5 de 3 ejes para los claros de 27.05m y 36.05m respectivamente.

b) Proyecto geométrico

A continuación, se muestra de manera esquemática las características geométricas a nivel de intersección (lado izquierdo) y la geometría de la estructura sobre la intersección (lado derecho):

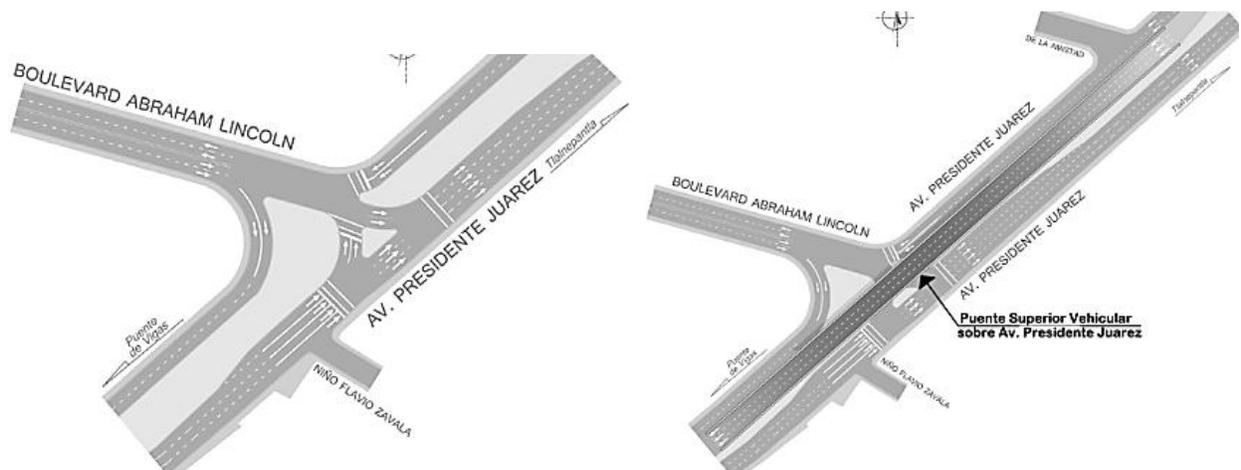


Figura 4.1.2. Vista en planta de adecuaciones por implementación de proyecto.

Se verifico que las características geométricas de la estructura correspondieran a lo establecido en la tabla 4.1.1, por lo que se revisó el alineamiento horizontal y vertical, así como la sección transversal.

Conclusión: el proyecto geométrico cumplió con las características indicadas para considerarlo como un camino tipo A.

4.2. Estudio para cimentación

El resumen del estudio de mecánica de suelos tomo en cuenta lo indicado en la norma N-PRY-CAR-6-01-005/01, por lo que el proyecto tuvo la siguiente regionalización sísmica (ver dictamen): Zona E, suelo tipo II, ordenada máxima $c= 0.32$, ordenada al origen $a_0= 0.08$, periodos de vibración máxima y mínima de 1.5s y 0.3s respectivamente y exponente adimensional $r= 2/3$.

Se menciona en dicho estudio, la realización de dos sondeos mixtos a 20m, obteniendo en general, la siguiente estratigrafía:

Profundidad (m)	Descripción
0.00 – 0.60	Capa vegetal y arena limosa
0.60 – 1.20	Arena arcillosa con algunas gravas
1.20 – 9.00	Limo arenoso
9.00 – 9.60	Arena arcillosa
9.60 – 10.20	Arena limosa
10.20 – 11.40	Arena arcillosa
11.40 – 12.00	Limo arenoso
12.00 – 12.60	Arcilla arenosa
12.60 – 20.00	Arena limosa

El tipo de cimiento recomendado fue de tipo profundo a base de pilas de cimentación, con las capacidades de carga mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 4.2.1. Recomendación de las pilas de cimentación.

Desplante (m)	Diámetro (m)	C punta, ton	C Fuste, ton	Q adm, ton
16.00	1.20	553	145	698
	1.50	829	180	1,009
	1.80	1,160	216	1,376
	2.00	1,412	240	1,652

Conclusión: para el análisis de los caballetes y pilas, se tomó en cuenta las capacidades de carga admisibles de la tabla 4.2.1.

CAPÍTULO 5: REVISIÓN ESTRUCTURAL

Se realizaron los análisis para obtener las dimensiones y el acero de los elementos estructurales principales de concreto, de acuerdo a normativa, para posteriormente compararlos con respecto a los del proyecto en revisión en el capítulo de dictamen.

5.1. Revisión de superestructura

De acuerdo a la norma N-PRY-CAR-6-01-007/16, se puede emplear el método simplificado para determinar factores de concentración para las vigas y los momentos flexionantes para el sistema de piso, por lo que se verificaron las siguientes condiciones:

- El ancho de la sección resistente es constante: cumplió
- Los apoyos pueden asimilarse a líneas que cubren todo el ancho inferior de la sección transversal del elemento de análisis: cumplió
- No aplican los cálculos relacionados con esviaje y con radio de curvatura, ya que la estructura se localiza en tangente y normal con respecto al alineamiento horizontal.
- Se tienen vigas paralelas, de igual rigidez y colocadas a la misma separación, con variaciones no mayores de 10% respecto a la media. El número mínimo de vigas es 4: las separaciones entre traveses son de 1.80m y 1.55m en traveses intermedias y externas respectivamente, dando una media de 1.68m, cuyo 10% es de 17 cm, la variación que se tiene es de 25 cm, por lo tanto no aplica esta condición.

Por no cumplir con esa condición, se aplicó otro método para obtener el factor de concentración. Sin embargo, la norma no especifica si necesariamente se deben cumplir con las todas las condiciones para el cálculo del momento flexionante de la losa, por lo que se aplicó el método simplificado para obtener los elementos mecánicos del sistema de piso.

a) Revisión de losa sobre traveses

Se verificó que el armado de la losa correspondiera de acuerdo con la disposición del refuerzo mostrado en la siguiente figura:

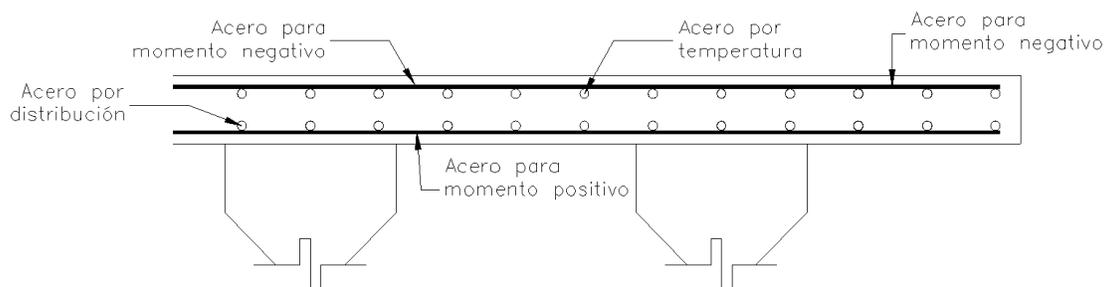


Figura 5.1.1. Ubicación del acero de refuerzo en losa intermedia y volado.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo para el diseño de una losa según la normativa IMT:

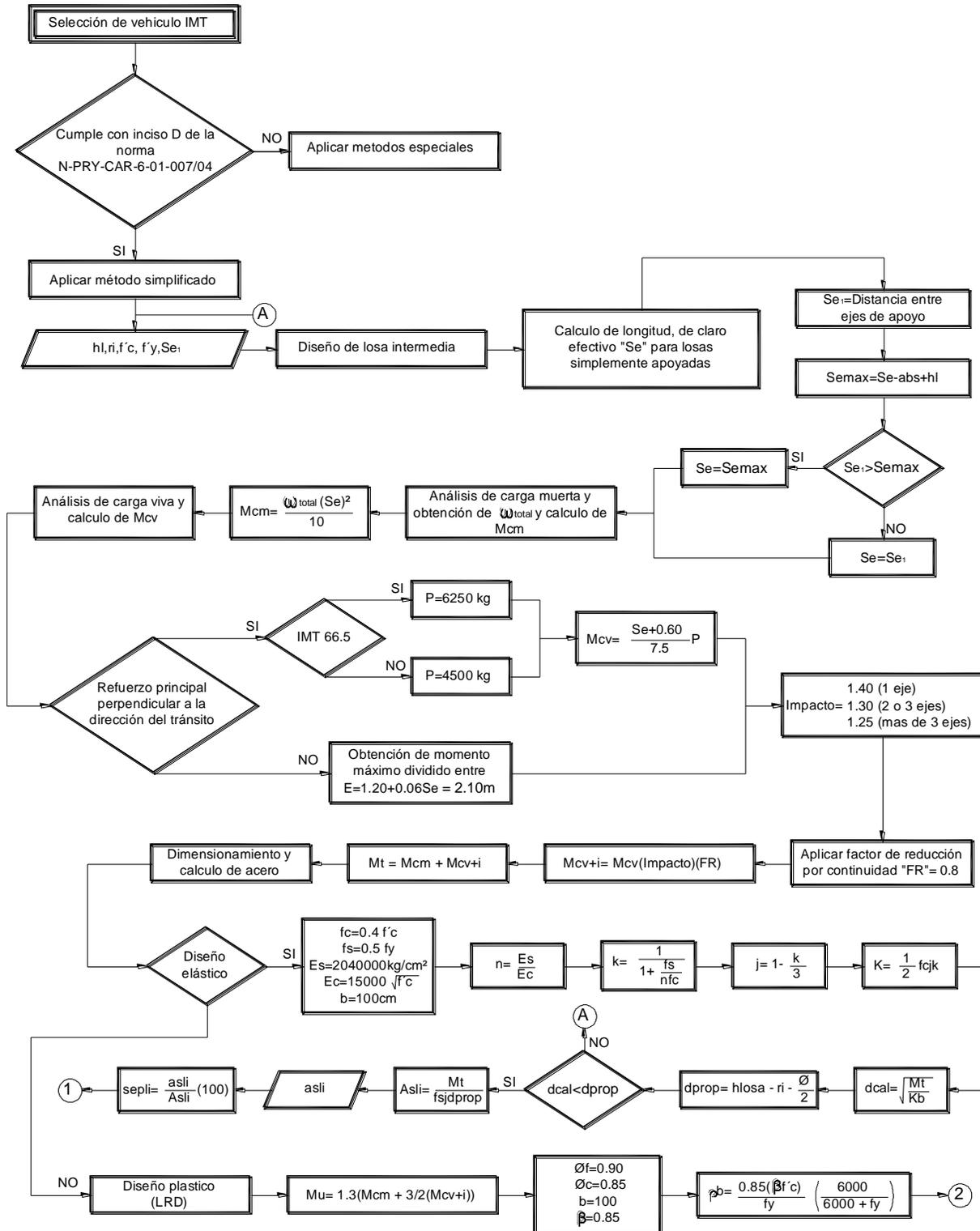


Figura 5.1.2. Proceso de diseño de una losa sobre traves de concreto (1 de 3).

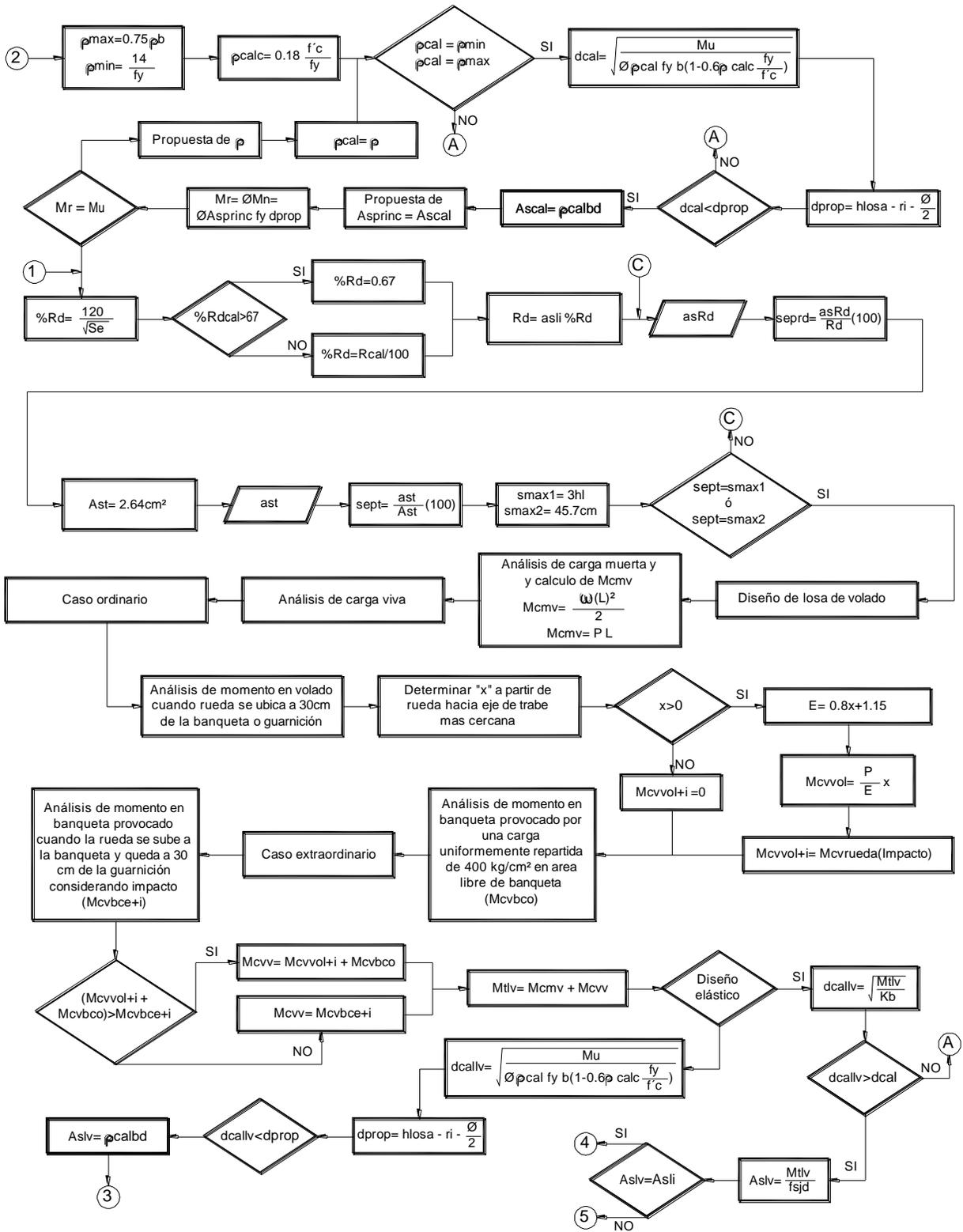


Figura 5.1.3. Proceso de diseño de una losa sobre traves de concreto (2 de 3).

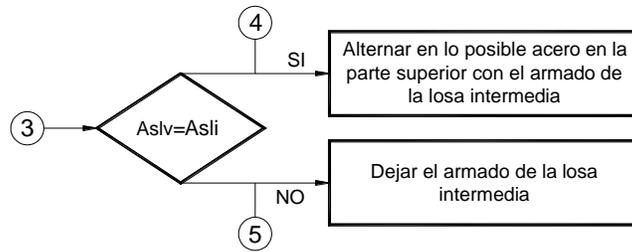


Figura 5.1.4. Proceso de diseño de una losa sobre traves de concreto (3 de 3).

En este proyecto, se identificaron dos losas tipo para los 7 claros como se muestra en la figura 5.1.5: la losa tipo I, con una longitud de 27 y losa tipo II, con una longitud de 36 m, con el mismo armado en las dos losas, empleando diferente la trabe AASHTO tipo IV y AASHTO tipo V.

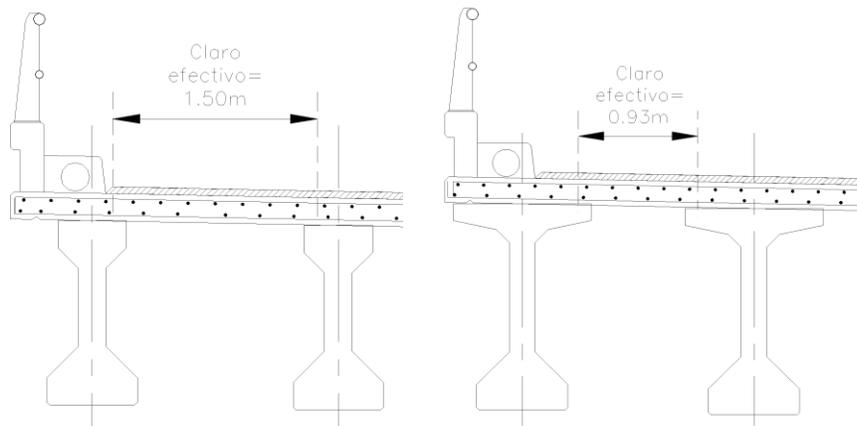


Figura 5.1.5. Armados para losa tipo I (lado izquierdo) y losa tipo II (lado derecho).

En la siguiente tabla se muestran los armados arrojados por el análisis hecho de la losa:

Tabla 5.1.1. Resumen de armados en losa obtenidos en revisión.

Tipo de losa	Tipo de Refuerzo	Análisis
Intermed.	Acero principal	Vars. del no. 4 @ 19 cm
	Acero por distribución	Vars. del no. 4 @ 28 cm
	Acero por contr. y temperatura	Vars. del no. 4 @ 48 cm
Volado	Acero principal	Vars. del no. 4 @ 51 cm
	Espesor	20 cm

b) Revisión de traveses de concreto presforzado

La metodología que se empleó para la revisión se establece en la figura 5.1.6:

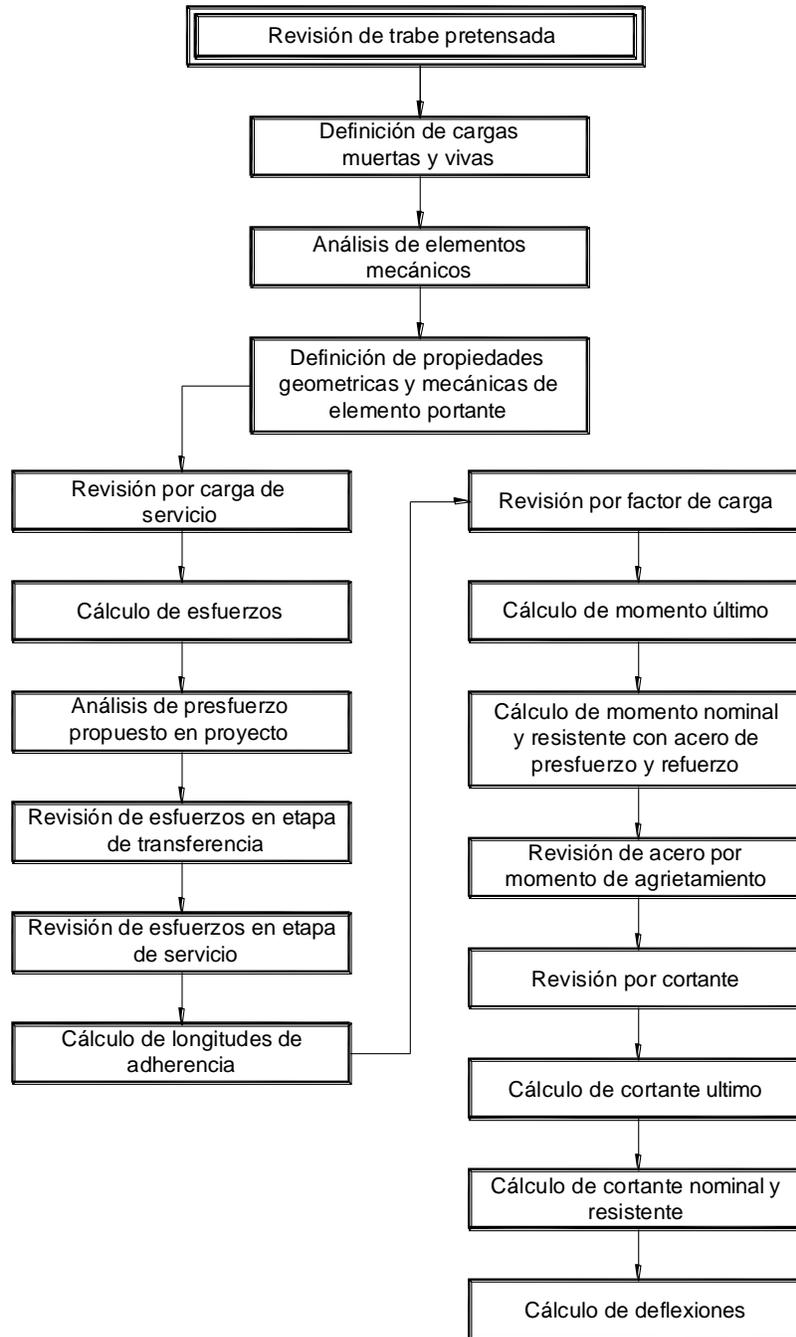


Figura 5.1.6. Metodología para revisión de trabe pretensada.

Las traveses presforzadas se analizaron para su comportamiento en condiciones de servicio por el método ASD y para su estado límite de resistencia se utilizó el método LFD como lo indica

AASHTO. Revisando los planos de proyecto, se identificaron 3 tipos de traveses definidos por su longitud y por orientación de las cuñas; las características principales de las mismas se muestran a continuación:

Tabla 5.1.2. Resumen de acero de refuerzo y prefuerzo de traveses.

Longitud de trabe	Ubicación de claro	Cuñas (Hor. y vert.)	No. de torones	Acero en patin inf	Acero en alma	Acero en patin sup	Acero por cortante (estribos, no incluye longitudes de culatas)
Trabe 1 27,00	1,2,3 y 4	6,65 y 3.75 5,71 y 3.17	12 adherid. en todo 6 adherid. 0,85 6 adherid. 2,35 4 adherid. 5,00 6 adherid. 7,65 34	6 # 3	6 # 3	4 # 3	# 4 @ 10 cm de 0 a 165 cm # 4 @ 15 cm de 165 a 465 cm # 4 @ 20 cm de 465 a 865 cm # 4 @ 25 cm de 865 a 1315 cm
Trabe 2 36,00	5	Sin especificar	22 adherid. en todo 9 adherid. 3,35 8 adherid. 5 5 adherid. 6,8 6 adherid. 10,4 50	6 # 3	8 # 3	14 # 3	# 4 @ 10 cm de 0 a 285 cm # 4 @ 15 cm de 285 a 645 cm # 4 @ 20 cm de 645 a 965 cm # 4 @ 25 cm de 965 a 1765 cm
Trabe 3 27,00	6 y 7	3.6 y 2.48 8.08 y 4.63	12 adherid. en todo 6 adherid. 0,85 6 adherid. 2,35 4 adherid. 5 6 adherid. 7,65 34	6 # 3	6 # 3	6 # 3	# 4 @ 10 cm de 0 a 165 cm # 4 @ 15 cm de 165 a 465 cm # 4 @ 20 cm de 465 a 865 cm # 4 @ 25 cm de 865 a 1315 cm

Por la similitud en longitud, se procedió a revisar la trabe de 27m (tipo 1) y 36m (tipo 2), cuya revisión se muestra a continuación:

Revisión de trabe de 27 m de longitud

Análisis de carga muerta

Son aquellas cargas que permanecen en el puente por un periodo largo de tiempo; sus valores son casi constantes y tienen una baja incertidumbre. Por permanecer fijas en su mayor tiempo de servicio, los elementos mecánicos de las cargas muertas se pueden determinar por medio de fórmulas ya establecidas.

Análisis de carga viva

En el caso de puentes de uso vehicular, son aquellas cargas que transitan en la superestructura; dichas cargas corresponden a los ejes de los vehículos, que por su característica dinámica, arroja elementos mecánicos variables en toda la longitud del claro. Por ello, no existen fórmulas establecidas para el cálculo de momentos o cortantes, por lo que se hace uso de algún software u otro tipo de análisis como lo es la línea de influencia.

La línea de influencia es una gráfica que define la variación de un elemento mecánico (cortante, momento flexionante, reacción o deflexión) en un punto fijo de la estructura a medida que se mueve una carga unitaria sobre ella. Los programas de cómputo para el cálculo de puentes utilizan este tipo de análisis.

Para el análisis se utilizó el modelo IMT 66.5 para claros menores a 30m, el cual se muestra en la siguiente figura.

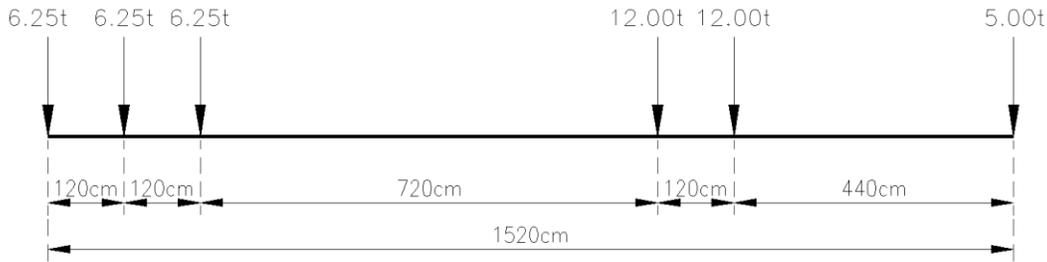


Figura 5.1.7. Modelo de carga viva vehicular empleado para la longitud de trabe tipo 1.

Factor de distribución

Además de los efectos longitudinales ocasionados por la carga viva, es importante el análisis del reparto transversal en estructuras soportadas por vigas, para determinar los efectos que debe soportar cada una de ellas. Para determinar el factor, existen métodos simplificados y rigurosos³ que se especifican a continuación:

Tabla 5.1.3. Metodos para determinar el reparto transversal provocado por la carga viva.

Metodos simplificados (para puentes rectos o esviajes menores a 20°)	Leonhardt - Andre Courbon Hendry - Jaeger Morice - Little Cusen - Pama AASHTO Ontario
Metodos rigurosos	Placa ortotrópica Elemento finito Analogía de mallado Diferencias finitas Franjas finitas Semi - continuo

El método de Courbon no se empleó para determinar este factor, como se hace en la práctica regularmente, ya que este método considera que se tenga las mismas separaciones entre trabes para la aplicación. El proyecto en cuestión considero diferentes separaciones entre trabes, intermedias y extremas de 1.80 m y 1.55 m respectivamente.

La normativa SCT, al igual que la AASHTO, indica que se debe determinar el factor de concentración para trabes extremas e intermedias con las expresiones indicadas en la misma; el valor más crítico debe emplearse para el diseño. Dichas expresiones no se aplicarán en este análisis, por la particularidad mencionada anteriormente. La distribución de las cargas vivas vehiculares en los carriles de circulación se realizó de acuerdo a la norma N-PRY-CAR-6-01-003/01 cláusula e.1.1.

³ Publicación técnica no. 398, Instituto Mexicano del Transporte

En las siguientes figuras, se muestran los croquis de ubicación de cargas ingresados al programa SAP2000 junto con sus resultados, con los que se determinó el factor de concentración para 1 y 2 carriles cargados:

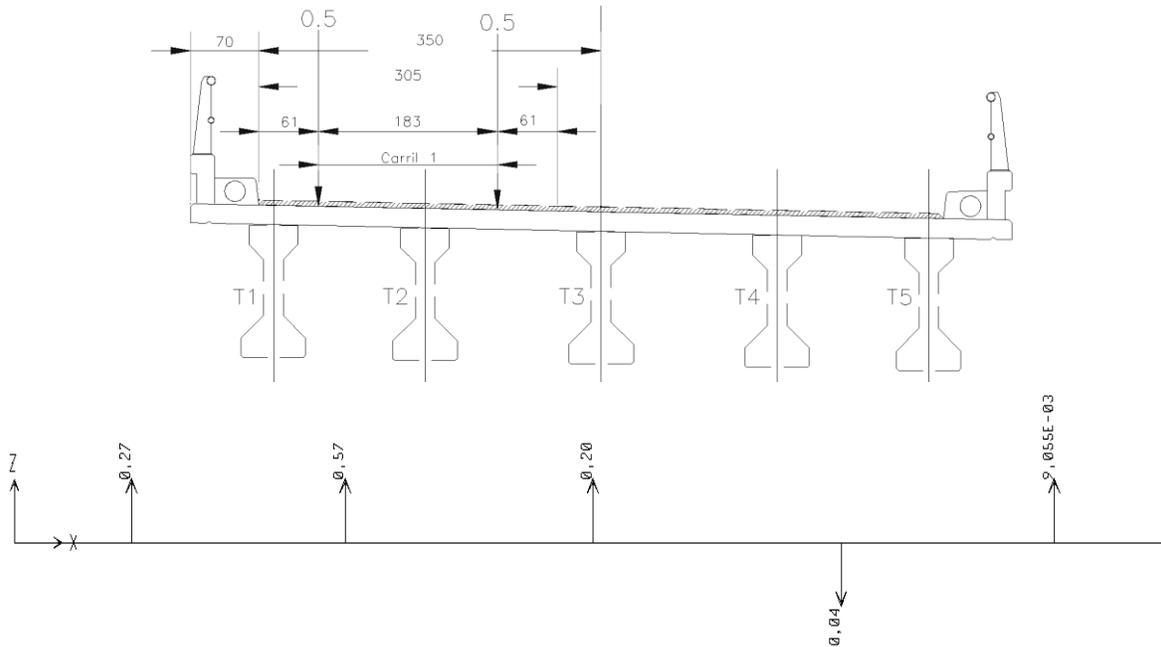


Figura 5.1.8. Croquis y resultados de factores de distribución para 1 carril cargado.

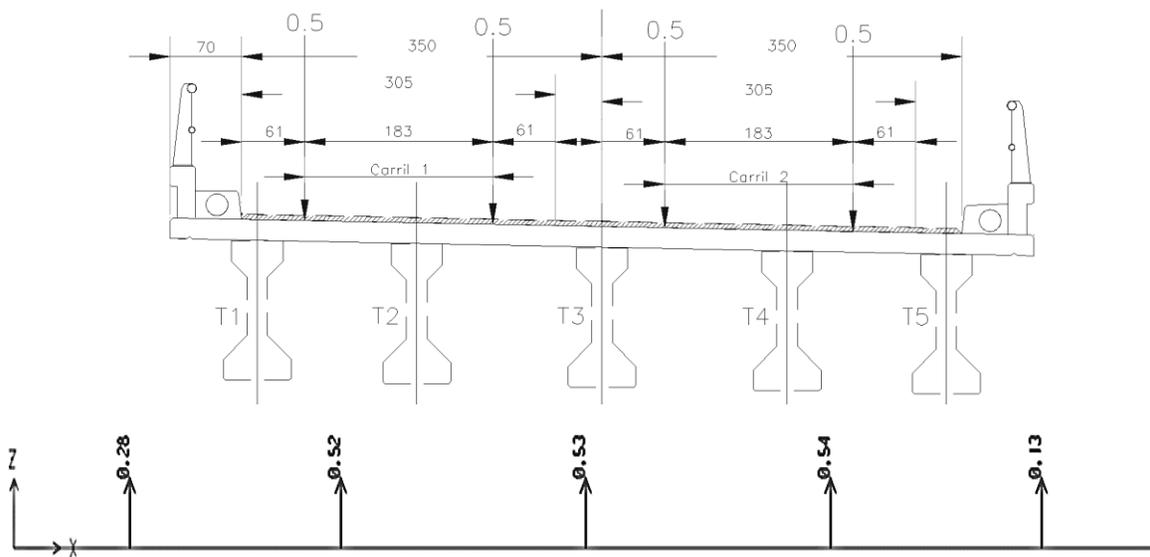


Figura 5.1.9. Croquis y resultados de factores de distribución para 2 carriles cargados.

Con los resultados anteriores, se observó que la carga viva tuvo mayor concentración en la trabe intermedia 2 cuando transitaba en un solo carril.

Factor de reducción y de impacto

Una vez determinado el factor de concentración, se calculó el factor de reducción en base a lo estipulado en tabla 2 de la norma N-PRY-CAR-6-01-003/01. Este factor toma en cuenta la probabilidad de coincidencia de posición para producir el momento máximo. En la siguiente figura, se muestra dicha tabla (lado izquierdo) y su comparativa con respecto a la norma AASHTO 2002 (lado derecho):

Número de carriles cargados:	Factor de reducción por presencia múltiple	Percent
1	1,00	One or two lanes100
2	0,90	Three lanes 90
3	0,80	Four lanes or more 75
4	0,70	
5	0,60	
6 o más	0,55	

Figura 5.1.10. Factores de reducción en carriles múltiples de acuerdo a IMT y AASHTO 2002.

El impacto, que es un incremento para tomar en cuenta los efectos de la vibración de la estructura por la excitación producida por las ruedas, la suspensión de los vehículos y el golpeteo de las llantas (entre otros), se determinó según lo mencionado en la cláusula e.2 de la norma citada anteriormente, cuyo incremento fue del 25% por el número de ejes que tiene el modelo de la carga viva.

Análisis de trabe crítica

En la figura 5.1.11 se observa la descarga por cada trabe por eje con la que se determinó la más crítica, tomando en cuenta el valor de la carga muerta y la carga viva afectada por el factor de reducción y el de concentración:

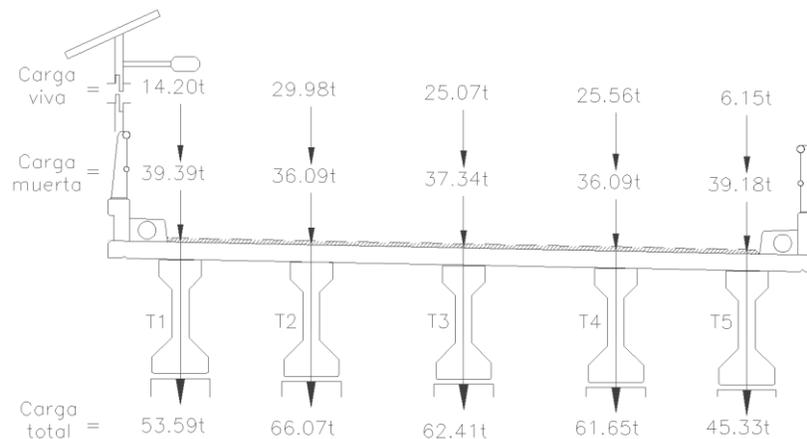


Figura 5.1.11. Distribución de cargas por trabe tipo 1.

Para la obtención de los elementos mecánicos de diseño por carga viva, se procedió a afectar al cortante y momento flexionante por los factores de concentración, reducción e impacto como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.1.4. Elementos mecánicos de diseño por carga viva en trabe tipo I.

Trabe	Ri (FR)	I	Ri (FR) (I)	x (m)	V (t)	M (t-m)	Ri(FR)(I)	V (t)	M (t-m)
1	0,270	1,25	0,338	0,00L= 0,00	52,59	0,00	0,713	37,471	0,000
2	0,570	1,25	0,713	0.5HL= 0,68	50,88	20,85	0,713	36,255	14,853
3	0,477	1,25	0,596	0.05L= 1,32	49,27	40,65	0,713	35,102	28,963
4	0,486	1,25	0,608	0.10L= 2,63	45,94	91,79	0,713	32,733	65,397
5	0,117	1,25	0,146	0.15L= 3,95	42,62	147,06	0,713	30,364	104,781
				0.20L= 5,26	39,29	193,59	0,713	27,995	137,934
				0.25L= 6,58	35,97	231,38	0,713	25,626	164,857
				0.30L= 7,89	32,64	260,42	0,713	23,257	185,549
				0.35L= 9,21	29,32	280,72	0,713	20,888	200,010
				0.40L= 10,52	25,99	292,27	0,713	18,519	208,241
				0.45L= 11,84	22,81	295,08	0,713	16,249	210,241
				0.50L= 13,15	19,73	289,14	0,713	14,058	206,010

Para determinar la carga de diseño final, se consideraron las siguientes etapas de construcción:

- Etapa 1: correspondiente a la construcción del elemento portante (trabe prefabricada AASHTO)
- Etapa 2: correspondiente a la construcción del sistema de piso (diafragmas y losa).
- Etapa 3: correspondiente a la colocación de la superficie de rodamiento (carpeta asfáltica).
- Etapa 4: correspondiente a la construcción de los elementos complementarios para seguridad del conductor y funcionalidad de la estructura (guarnición, banqueta, parapeto y postes de iluminación).
- Etapa 5: correspondiente al servicio (vehículo tipo IMT 66.5).

A continuación se muestran los diagramas obtenidos de cortante y momento flexionante para este tipo de trabe, tomando en cuenta las etapas mencionadas anteriormente:

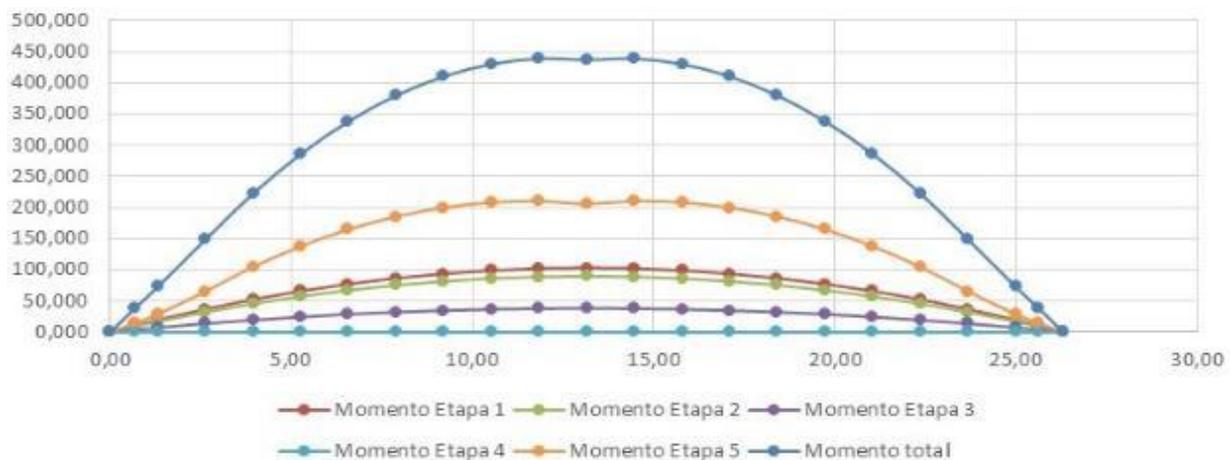


Figura 5.1.12. Diagrama de momentos por etapas en trabe tipo 1.

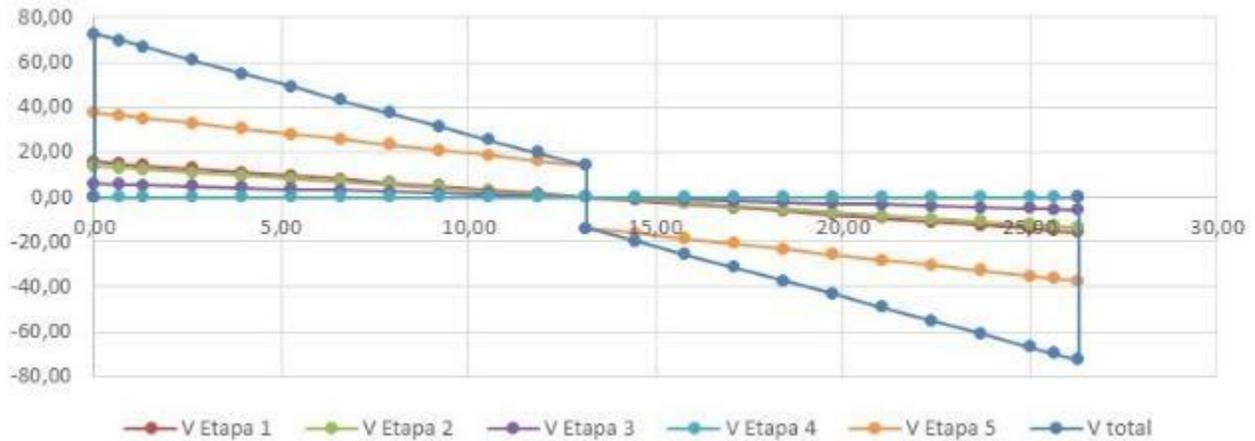


Figura 5.1.13. Diagrama de cortantes en trabe tipo 1.

Cálculo de esfuerzos admisibles (ASD)

Con los elementos mecánicos mostrados anteriormente, se revisó el acero por presfuerzo. Los datos principales ingresados para análisis se muestran a continuación:

Claro= 26,30 m
 Ancho de culata= 0,35 m
 Separacion entre vigas= 1,80 m
 Espesor de losa de concreto= 0,20 m
 Espesor de diseño de carpeta asf.= 0,12 m
 Longitud de trabe total= 27,00 m
 $f'c$ de losa= 250 kg/cm²
 $f'c$ de trabes= 450 kg/cm²
 Peso vol. concreto= 2,4 t/m³
 Peso vol. asfalto= 2,2 t/m³
 Humedad relativa= 70 %
 $0,80 f'c = f_{ci}$ concr.= 360 kg/cm²
 $E_s = 2100000$ kg/cm² = 21000000 t/m²
 $E_c = 284605$ kg/cm² = 2846050 t/m²

Cálculo de presfuerzo

$d_{toron} = 1,27$ cm
 $A_s_{toron} = 0,987$ cm²
 $f_{sr} = 19000$ kg/cm² = 190000 t/m²
 $0,75 f_{sr} = 14250$ kg/cm² = 142500 t/m²

Esfuerzos permisibles en servicio o diferidas losa
 Compresión: 137,5 kg/cm² = 1375,00 t/m²

Esfuerzos permisibles a la transferencia o iniciales
 Compresión: 216,00 kg/cm² = 2160,00 t/m²
 Tensión: 15,18 kg/cm² = -151,79 t/m²
 Esfuerzos permisibles en servicio o diferidas
 Compresión: 180,00 kg/cm² = 1800,00 t/m²
 Tensión: 33,94 kg/cm² = -339,41 t/m²

	x (m)	Distancia en m del paño inf. De la trabe a la fila de torones								Suma	As cm ²
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40		
0.00L=	0,00	12	0	0	0	0	0	0	0	12	11,84
0.5HL=	0,68	12	0	0	0	0	0	0	0	12	11,84
0.05L=	1,32	12	0	0	0	0	0	0	0	12	11,84
0.10L=	2,63	12	6	0	0	0	0	0	0	18	17,77
0.15L=	3,95	12	12	0	0	0	0	0	0	24	23,69
0.20L=	5,26	12	12	0	0	0	0	0	0	24	23,69
0.25L=	6,58	12	12	4	0	0	0	0	0	28	27,64
0.30L=	7,89	12	12	4	0	0	0	0	0	28	27,64
0.35L=	9,21	12	12	10	0	0	0	0	0	34	33,56
0.40L=	10,52	12	12	10	0	0	0	0	0	34	33,56
0.45L=	11,84	12	12	10	0	0	0	0	0	34	33,56
0.50L=	13,15	12	12	10	0	0	0	0	0	34	33,56

A continuación se muestran los esfuerzos generados en el elemento por las diversas etapas de construcción, en el que se verifico que dichos esfuerzos no sobrepasaran los máximos permitidos a tensión y compresión:

Tabla 5.1.5. Resumen de revisión de estado de esfuerzos en losa y trabe tipo I.

		SERVICIO				TRANSFERENCIA											
		P.I.+E1		E2		P.F.		E3			E4			E5			
x (m)		fst	fit	fst	fit	fst	fit	fsl	fst	fit	fsl	fst	fit	fsl	fst	fit	
0.00L=	0,00	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.5HL=	0,68	M	B	M	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.05L=	1,32	M	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.10L=	2,63	M	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.15L=	3,95	M	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.20L=	5,26	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.25L=	6,58	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.30L=	7,89	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.35L=	9,21	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.40L=	10,52	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.45L=	11,84	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.50L=	13,15	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	

- fsl esfuerzo en fibra superior de losa
- fst esfuerzo en fibra superior de trabe
- fit esfuerzo en fibra inferior de trabe
- PI perdidas iniciales
- PF perdidas finales
- M mal (sobrepasa el esfuerzo maximo)
- B bien (no sobrepasa el esfuerzo maximo)

Revisión por flexión y cortante por factores de carga (LFD)

A continuación, se muestran las tablas 5.1.7 y 5.1.8, donde se aprecia la evaluación y cumplimiento de diseño del elemento ante momento y cortante último:

Tabla 5.1.6. Revisión a flexión de trabe tipo 1.

	x (m)	Momento resistente (t-m)	Momento último (t-m)	Estado de diseño
0.00L=	0,000	338,18	0,00	CUMPLE
0.5HL=	0,675	338,18	59,02	CUMPLE
0.05L=	1,315	338,18	113,57	CUMPLE
0.10L=	2,630	475,12	235,69	CUMPLE
0.15L=	3,945	608,55	357,56	CUMPLE
0.20L=	5,260	608,55	461,27	CUMPLE
0.25L=	6,575	692,22	546,82	CUMPLE
0.30L=	7,890	692,22	614,21	CUMPLE
0.35L=	9,205	814,90	663,44	CUMPLE
0.40L=	10,520	814,90	694,51	CUMPLE
0.45L=	11,835	814,90	707,43	CUMPLE
0.50L=	13,150	814,90	702,18	CUMPLE

Tabla 5.1.7. Revisión a cortante de trabe tipo 1.

	x (m)	Vu total t	V diseño t	Vc t	Vs calc t	Vs final t	Vs final cumple con Vs calc
0.00L=	0,000	118,77	139,73	21,51	118,21	160,02	CUMPLE
0.5HL=	0,675	114,05	134,18	21,51	112,66	160,02	CUMPLE
0.05L=	1,315	109,58	128,91	21,51	107,40	160,02	CUMPLE
0.10L=	2,630	100,39	118,10	21,28	96,83	105,49	CUMPLE
0.15L=	3,945	91,20	107,29	21,16	86,14	104,90	CUMPLE
0.20L=	5,260	82,01	96,48	21,16	75,32	104,90	CUMPLE
0.25L=	6,575	72,82	85,67	21,00	64,67	78,11	CUMPLE
0.30L=	7,890	63,63	74,86	21,00	53,86	78,11	CUMPLE
0.35L=	9,205	54,44	64,05	20,84	43,21	62,00	CUMPLE
0.40L=	10,520	45,25	53,24	20,84	32,40	62,00	CUMPLE
0.45L=	11,835	36,26	42,65	20,84	21,81	51,67	CUMPLE
0.50L=	13,150	27,41	32,25	20,84	11,41	51,67	CUMPLE

Cálculo de deflexiones

De acuerdo con el punto 9.11.1 de la norma AASHTO 2002, en el cálculo de las deflexiones se debe tomar en cuenta las cargas muertas y vivas, presfuerzo, cargas de montaje, relajación del acero, flujo plástico y contracciones por fraguado del concreto.

Por dicha circunstancia, se recurrió al Manual de Presfuerzo de la Asociación Nacional de Industriales del Presfuerzo y la Prefabricación A.C. (ANIPPAC), donde indica el cálculo de las deflexiones y toma en cuenta la deflexión máxima en base a lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias (NTC) del Distrito Federal. En dicho manual, muestra el cálculo de la deflexión dependiendo de la colocación del presfuerzo:

A continuación, se muestra la revisión de las deflexiones:

Deflexiones iniciales

$$\Delta_{inicial} = -\Delta_{f. presf. inicial} + \Delta_{peso propio}$$

$$\Delta_{presf. Inicial} = 7,33 \text{ cm}$$

$$\Delta_{peso propio} = 2,55 \text{ cm}$$

$$\Delta_{inicial} = -4,78 \text{ cm}$$

Deflexiones diferidas

$$\Delta_{final} = -\Delta_{fuerza presf. efectiva} + (\Delta_{carga muerta} + \Delta_{peso propio}) (1 + C_{flujo plástico}) + \Delta_{carga viva}$$

$$\Delta_{fuerza presf. efectiva} = -\Delta_{flujo plástico} \left[\frac{\Delta_{f. presf. inicial} + \Delta_{flujo plástico}}{2} \right] C_{flujo plástico}$$

$$\Delta_{carga viva} = 2,32 \text{ cm}$$

$$\Delta_{permisible} = 8,35 \text{ cm}$$

$$\Delta_{carga viva} \leq \Delta_{permisible}$$

El desplazamiento vertical por carga viva en el centro de la trabe esta dentro del rango de deflexión permisible

$$\Delta_{final} = -1,41 \text{ cm}$$

$$\Delta_{final} \leq \Delta_{permisible}$$

El desplazamiento vertical en el centro de la trabe esta dentro del rango de deflexión permisible

Revisión de trabe de 36 metros de longitud

Se analizó la trabe de 36m, siguiendo el mismo procedimiento aplicado a la trabe anterior, por lo que algunos cálculos (carga muerta, factor de distribución, reducción e impacto) se omitirán.

Análisis de carga viva

Para el análisis, se utilizó el modelo IMT 66.5 para claros mayores a 30m, considerando una carga uniformemente distribuida; el modelo empleado se muestra a continuación:

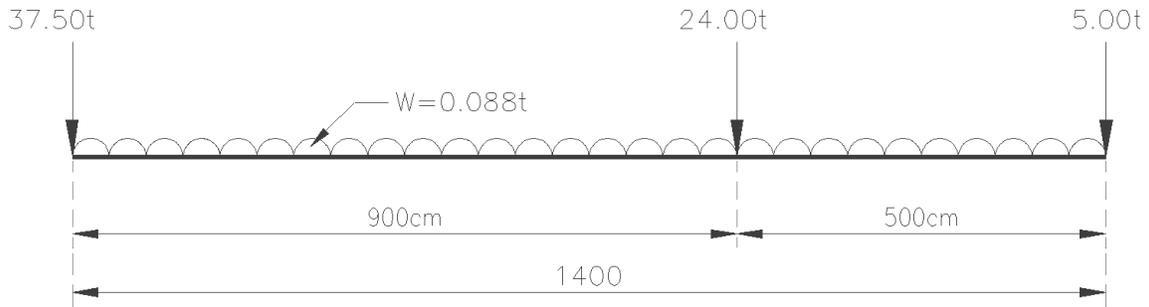


Figura 5.1.14. Modelo de carga viva vehicular empleado para la longitud de trabe tipo 2.

Análisis de trabe crítica

En la figura 5.1.15, se observa la descarga por cada trabe por eje con la que se determinó la más crítica, tomando en cuenta el valor de la carga muerta y la carga viva afectada por el factor de reducción y el factor de concentración:

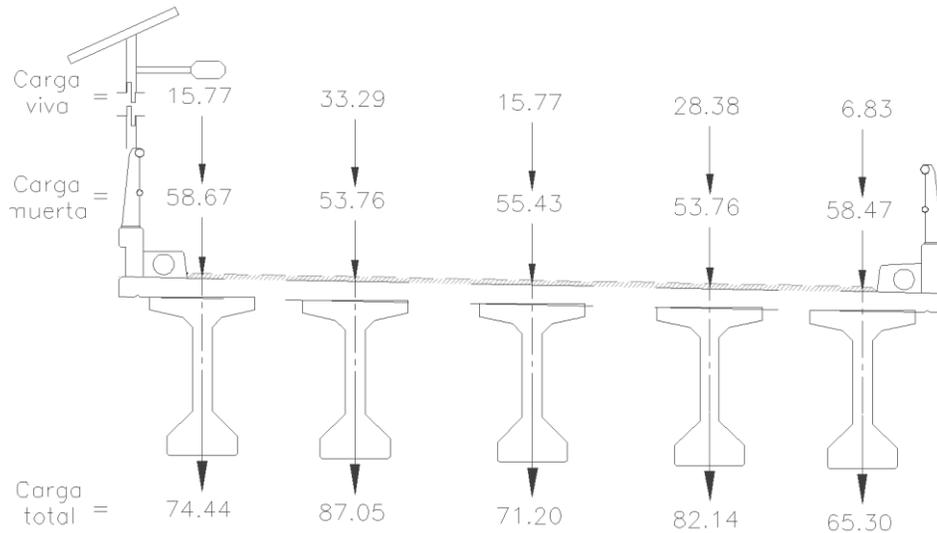


Figura 5.1.15. Distribución de cargas por trabe tipo 2.

De igual modo, para la obtención de los elementos mecánicos de diseño por carga viva, se procedió a afectar el cortante y momento flexionante por los factores de concentración, reducción e impacto como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.1.8. Elementos mecánicos de diseño por carga viva en trabe tipo 2.

Trabe	Ri x FR	I	FR (I)	x (m)	V (t)	M (t-m)	FR x I	V (t)	M (t-m)
1	0,270	1,30	0,351	0,00L= 0,00	59,96	0,00	0,741	44,428	0,000
2	0,570	1,30	0,741	0.5HL= 0,80	58,38	46,73	0,741	43,259	34,628
3	0,477	1,30	0,620	0.05L= 1,77	56,48	99,82	0,741	41,849	73,965
4	0,486	1,30	0,632	0.10L= 3,53	53,00	187,62	0,741	39,270	139,029
5	0,117	1,30	0,152	0.15L= 5,30	49,51	263,42	0,741	36,690	195,192
				0.20L= 7,06	46,03	327,20	0,741	34,111	242,453
				0.25L= 8,83	42,55	378,97	0,741	31,531	280,814
				0.30L= 10,59	39,07	418,72	0,741	28,952	310,273
				0.35L= 12,36	35,59	446,47	0,741	26,373	330,831
				0.40L= 14,12	32,11	462,20	0,741	23,793	342,488
				0.45L= 15,89	28,63	465,92	0,741	21,214	345,243
				0.50L= 17,65	25,15	457,62	0,741	18,635	339,097

Tomando en cuenta el mismo número de etapas de construcción que en la trabe de 27m, a continuación se muestran los diagramas obtenidos de cortante y momento flexionante:

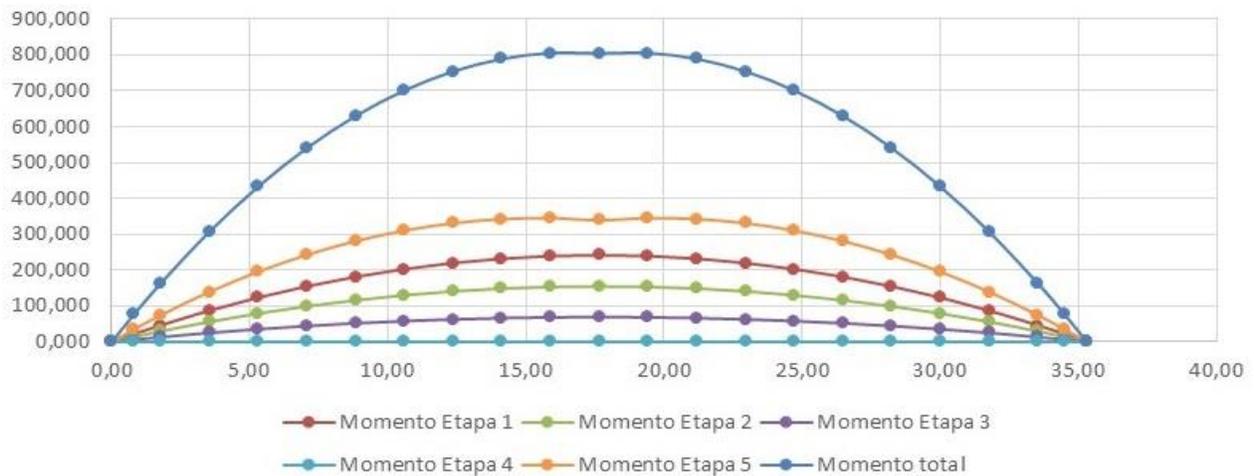


Figura 5.1.16. Diagrama de momentos en trabe tipo 2.

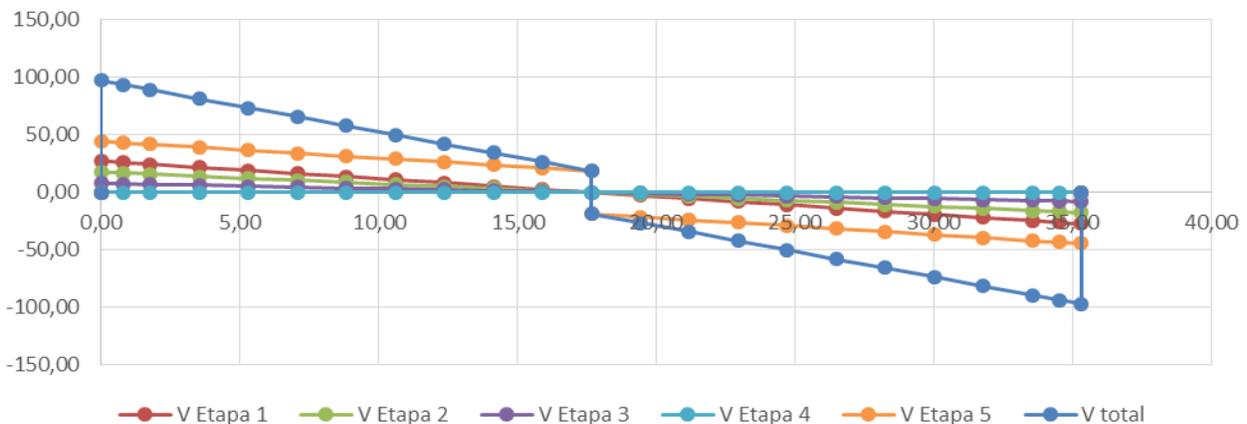


Figura 5.1.17. Diagrama de cortantes en trabe tipo 2.

Cálculo de esfuerzos admisibles (ASD)

Con los elementos mecánicos mostrados anteriormente, se revisó el acero por presfuerzo. Los datos principales ingresados para análisis se muestran a continuación:

Claro= 35,30 m
 Ancho de culata= 0,35 m
 Separación entre vigas= 1,80 m
 Espesor de losa de concreto= 0,20 m
 Espesor de diseño de carpeta asf.= 0,12 m
 Longitud de trabe total= 36,00 m
 $f'c$ de losa= 250 kg/cm²
 $f'c$ de trabes= 450 kg/cm²
 Peso vol. concreto= 2,4 t/m³
 Peso vol. asfalto= 2,2 t/m³
 Humedad relativa= 70 %
 $0,80 f'c = f_{ci}$ concr.= 360 kg/cm²
 $E_s = 2100000$ kg/cm² = 21000000 t/m²
 $E_c = 284605$ kg/cm² = 2846050 t/m²

Cálculo de presfuerzo

d toron= 1,27 cm	Esfuerzos permisibles a la transferencia o iniciales
As toron= 0,987 cm ²	Compresión: 216,00 kg/cm ² = 2160,00 t/m ²
fsr= 19000 kg/cm ² = 190000 t/m ²	Tensión: 15,18 kg/cm ² = -151,79 t/m ²
0,75 fsr= 14250 kg/cm ² = 142500 t/m ²	Esfuerzos permisibles en servicio o diferidas
Esfuerzos permisibles en servicio o diferidas losa	Compresión: 180,00 kg/cm ² = 1800,00 t/m ²
Compresión: 137,5 kg/cm ² = 1375,00 t/m ²	Tensión: 33,94 kg/cm ² = -339,41 t/m ²

	x (m)	Distancia en m del paño inf. De la trabe a la fila de torones								Suma	As cm ²
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40		
0.00L=	0,00	13	9	0	0	0	0	0	0	22	21,71
0.5HL=	0,80	13	9	0	0	0	0	0	0	22	21,71
0.05L=	1,77	13	9	0	0	0	0	0	0	22	21,71
0.10L=	3,53	13	13	5	0	0	0	0	0	31	30,60
0.15L=	5,30	13	13	13	0	0	0	0	0	39	38,49
0.20L=	7,06	13	13	13	5	0	0	0	0	44	43,43
0.25L=	8,83	13	13	13	5	0	0	0	0	44	43,43
0.30L=	10,59	13	13	13	11	0	0	0	0	50	49,35
0.35L=	12,36	13	13	13	11	0	0	0	0	50	49,35
0.40L=	14,12	13	13	13	11	0	0	0	0	50	49,35
0.45L=	15,89	13	13	13	11	0	0	0	0	50	49,35
0.50L=	17,65	13	13	13	11	0	0	0	0	50	49,35

A continuación, se muestran los esfuerzos generados en el elemento por las diversas etapas de construcción, en el que se verificó que dichos esfuerzos no sobrepasaran los máximos permitidos a tensión y compresión:

Tabla 5.1.9. Resumen de revisión de estado de esfuerzos en losa y trabe tipo 2.

	x (m)	SERVICIO				TRANSFERENCIA											
		PI + E1		E2		PF.		E3			E4			E5			
		fst	fit	fst	fit	fst	fit	fsl	fst	fit	fsl	fst	fit	fsl	fst	fit	
0.00L=	0,00	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.5HL=	0,80	M	B	M	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.05L=	1,77	M	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.10L=	3,53	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.15L=	5,30	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.20L=	7,06	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.25L=	8,83	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.30L=	10,59	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.35L=	12,36	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
0.40L=	14,12	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	M	
0.45L=	15,89	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	M	
0.50L=	17,65	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	M	

- fsl esfuerzo en fibra superior de losa
- fst esfuerzo en fibra superior de trabe
- fit esfuerzo en fibra inferior de trabe
- PI pérdidas iniciales
- PF pérdidas finales
- M mal (sobrepasa el esfuerzo máximo)
- B bien (no sobrepasa el esfuerzo máximo)

Revisión por flexión y cortante por factores de carga (LFD)

A continuación, se muestran las tablas, donde se aprecia la evaluación y cumplimiento de diseño del elemento ante momento y cortante último:

Tabla 5.1.10. Revisión a flexión de trabe tipo 2.

	x (m)	Momento resistente (t-m)	Momento ultimo (t-m)	Estado de diseño
0.00L=	0,000	644,29	0,00	CUMPLE
0.5HL=	0,800	644,29	121,10	CUMPLE
0.05L=	1,765	644,29	259,13	CUMPLE
0.10L=	3,530	873,84	488,80	CUMPLE
0.15L=	5,295	1068,44	689,03	CUMPLE
0.20L=	7,060	1182,83	859,80	CUMPLE
0.25L=	8,825	1182,83	1001,12	CUMPLE
0.30L=	10,590	1317,09	1112,99	CUMPLE
0.35L=	12,355	1317,09	1195,41	CUMPLE
0.40L=	14,120	1317,09	1248,38	CUMPLE
0.45L=	15,885	1317,09	1271,89	CUMPLE
0.50L=	17,650	1317,09	1265,95	CUMPLE

Tabla 5.1.11. Revisión a cortante de trabe tipo 2.

	x (m)	Vu total t	V diseño t	Vc t	Vs calc t	Vs final t	Vs final cumple con Vs calc
0.00L=	0,000	155,16	182,54	16,54	166,00	184,51	CUMPLE
0.5HL=	0,800	149,77	176,20	16,54	159,66	184,51	CUMPLE
0.05L=	1,765	143,28	168,56	16,54	152,02	184,51	CUMPLE
0.10L=	3,530	131,39	154,58	16,38	138,20	121,82	CUMPLE
0.15L=	5,295	119,51	140,60	16,26	124,35	120,90	CUMPLE
0.20L=	7,060	107,63	126,62	16,15	110,48	90,07	CUMPLE
0.25L=	8,825	95,75	112,64	16,15	96,50	90,07	CUMPLE
0.30L=	10,590	83,87	98,67	16,05	82,62	71,60	CUMPLE
0.35L=	12,355	71,98	84,69	16,05	68,64	71,60	CUMPLE
0.40L=	14,120	60,10	70,71	16,05	54,66	71,60	CUMPLE
0.45L=	15,885	48,22	56,73	16,05	40,68	71,60	CUMPLE
0.50L=	17,650	36,34	42,75	16,05	26,70	71,60	CUMPLE

Cálculo de deflexiones

A continuación, se muestra la revisión de las deflexiones:

Deflexiones iniciales

$$\Delta_{inicial} = -\Delta_{f. presf. inicial} + \Delta_{peso propio}$$

$$\Delta_{presf. Inicial} = 12,34 \text{ cm}$$

$$\Delta_{peso propio} = 5,11 \text{ cm}$$

$$\Delta_{inicial} = -7,23 \text{ cm}$$

Deflexiones diferidas

$$\Delta_{final} = -\Delta_{fuerza presf. efectiva} + (\Delta_{carga muerta} + \Delta_{peso propio}) (1 + C_{flujo plástico}) + \Delta_{carga viva}$$

$$\Delta_{fuerza presf. efectiva} = -\Delta_{flujo plástico} \left[\frac{\Delta_{f. presf. inicial} + \Delta_{flujo plástico}}{2} \right] C_{flujo plástico}$$

$$\Delta_{carga viva} = 4,23 \text{ cm}$$

$$\Delta_{permisible} = 11,21 \text{ cm}$$

$$\Delta_{carga viva} \leq \Delta_{carga viva}$$

El desplazamiento vertical por carga viva en el centro de la trabe esta dentro del rango de deflexión permisible

$$\Delta_{final} = 0,26 \text{ cm}$$

$$\Delta_{final} \leq \Delta_{permisible}$$

El desplazamiento vertical en el centro de la trabe esta dentro del rango de deflexión permisible

c) Revisión de losa de acceso

Generalmente, se presentan dos discontinuidades en un puente que son los conceptos que están presentes en los trabajos de mantenimiento y que afectan la calidad de la rodadura: las juntas de calzada entre superestructura y muro de respaldo y la transición entre muro de respaldo y el terraplén de acceso.

La losa de acceso o de transición es un elemento que provee al conductor un cambio suave de rigidez entre la zona de terraplén y el puente y evitar la desestabilización del equipo automotor cuando conduce a alta velocidad.

Dicha losa se apoya en uno de sus extremos sobre la ménsula del estribo, en tanto que el otro extremo se apoya en el terraplén de acceso.

Para la revisión de la losa, se consideró una franja lineal de 1m de ancho con el paso del tren de cargas del vehículo de proyecto, tomando en cuenta la mitad del peso de dichos ejes. Las cargas que se utilizaron para el análisis se muestran a continuación:

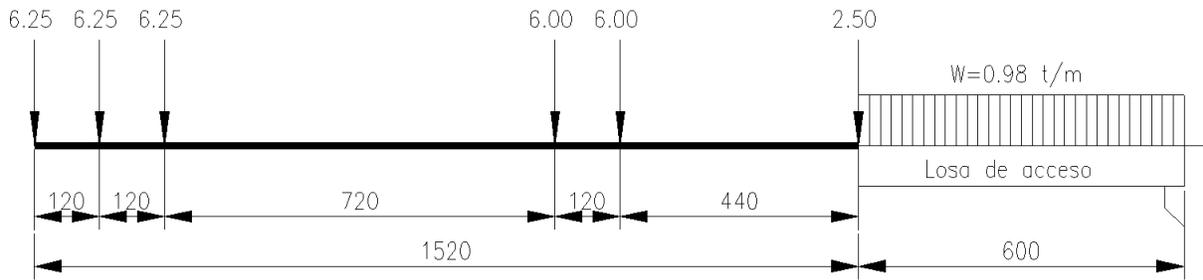


Figura 5.1.18. Esquema de carga viva vehicular IMT 66.5 y carga muerta (concreto y asfalto).

El modelo de análisis considero colocar un apoyo fijo en el extremo apoyado en la ménsula del muro de respaldo y resortes de rigidez para representar su apoyo en el suelo. Debido al procedimiento constructivo que se suele tener en la compactación del terraplén bajo la losa (que en su mayoría no es el óptimo), se redujo la rigidez en determinadas zonas⁴, por lo que los valores de las rigideces de diseño se muestran en la siguiente figura:

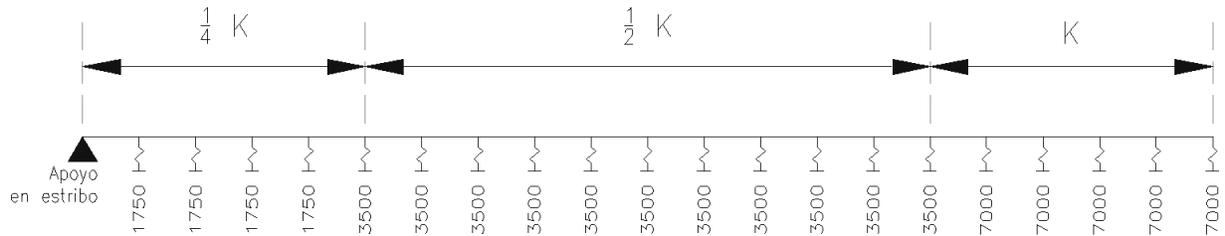


Figura 5.1.19. Modelo de rigideces (kg/m) para análisis de losa de acceso.

Una vez ingresadas las cargas de la figura 5.1.18 y las rigideces de la figura anterior, se obtuvieron los elementos mecánicos mostrados en las figuras 5.1.20 y 5.1.21:

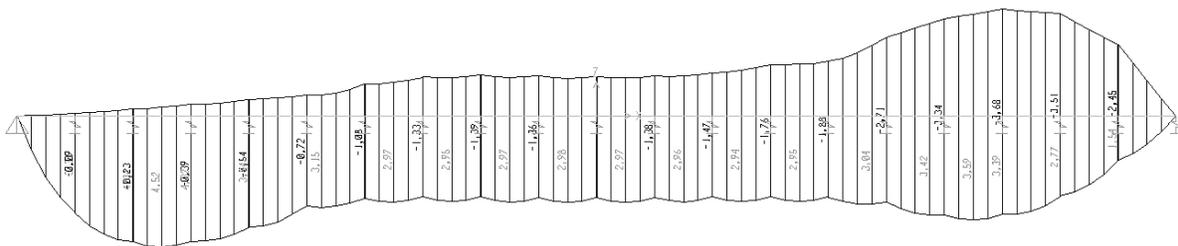


Figura 5.1.20. Diagrama de momentos en losa de acceso.

⁴ Estudio de la problemática estructural de las losas de transición, interacción terreno-losa, Jorge Andrés Pacheco Monteagudo, 2005, Madrid, pág. 2.51

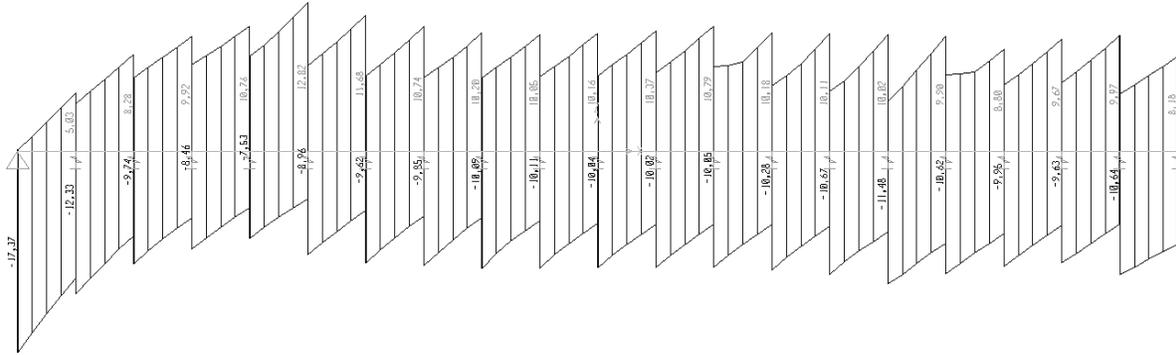


Figura 5.1.21. Diagrama de cortantes en losa de acceso.

A continuación, se muestran los armados obtenidos el análisis de la losa de acceso:

Tabla 5.1.12. Resumen de armados en losa de acceso obtenidos en revisión.

	Tipo de Refuerzo	Análisis
		espesor= 30 cm
Parrilla inferior	Acero principal	Vars. del no. 4 @ 20 cm
	Acero transversal	Vars. del no. 4 @ 20 cm
Parrilla superior	Acero principal	Vars. del no. 4 @ 20 cm
	Acero transversal	Vars. del no. 4 @ 20 cm

5.2. Revisión de subestructura

Para este apartado, se analizó un modelo en el que la subestructura e infraestructura trabajaran en conjunto, ya que los elementos mecánicos dependen entre sí, empleando los módulos de reacción del suelo. Los elementos revisados fueron apoyos de neopreno, topes sísmicos, bancos de apoyo, cabezal y la pila-columna. A continuación, se describirá brevemente los conceptos básicos de diseño de columnas, que se empleará en la infraestructura.

Teoría de columnas

Los elementos de concreto reforzado de estructuras reales se encuentran sujetos a carga axial⁵, y a momentos flexionantes, originados por las excentricidades en la colocación de la carga o por pequeños defectos constructivos.

La resistencia en compresión axial de un elemento de concreto reforzado se obtiene de la contribución de 4 factores: el concreto del núcleo, el acero longitudinal, el concreto del recubrimiento y el refuerzo transversal.

Un elemento puede alcanzar su resistencia bajo innumerables combinaciones de carga axial y momento flexionante. Estas combinaciones varían desde una carga axial máxima P_o de compresión a un momento nulo hasta un momento M_o , aunado a una carga axial nula. El lugar geométrico de las combinaciones de carga axial y momento flexionante con las que un elemento puede alcanzar su resistencia, se representa gráficamente por medio de un diagrama de interacción.

Existen dos modos principales de falla de elementos sujetos a flexocompresión: falla en compresión y falla en tensión. La falla en el primer caso se produce por aplastamiento del concreto, el acero del lado más comprimido fluye, en tanto que el del lado opuesto no fluye en tensión. El segundo modo de falla se produce cuando el acero de un lado fluye en tensión antes de que se produzca el aplastamiento del concreto del lado opuesto, más comprimido.

El tipo de falla depende esencialmente de la relación entre momento y carga axial en el colapso. En el diagrama de interacción, el punto que separa la zona de fallas en compresión de las de tensión recibe el nombre de punto de falla balanceada.

De acuerdo a la altura de una columna, esta puede verse reducida en su resistencia. Generalmente en diseño de columnas para edificaciones, se hace en un programa un análisis de primer orden, es decir, se determinan elementos mecánicos considerando cargas puntuales, distribuidas y momentos externos y posteriormente se diseña; sin embargo, las deformaciones de la columna suelen generar momentos adicionales, también conocidos como momentos de segundo orden. Dichos momentos, son complicados se realizar manualmente, por lo que es necesario recurrir a un programa de análisis estructural.

Efecto de esbeltez: es la reducción de resistencia de un elemento sujeto a compresión axial o a flexo-compresión, debido a que la longitud del elemento es grande a comparación con las dimensiones de su sección transversal, o en otras palabras, la capacidad de carga de una columna disminuirá al aumentar su altura.

El dimensionamiento de las columnas esbeltas en estructuras comunes suele hacerse con métodos simplificados, en los que no es necesario desarrollar análisis de segundo orden. Dichos métodos simplificados pueden reunirse en 3 grupos principales⁶:

- Amplificación de momentos
- Momento complementario

⁵ Aspectos fundamentales del concreto, Cuevas y González, 2006, 4ª. Ed., Limusa, México, capítulo 4

⁶ Aspectos fundamentales del concreto, Cuevas y González, 2006, 4ª. Ed., Limusa, México, capítulo 13

- Factor de reducción

Para la revisión de la subestructura del proyecto estructural, se empleó el método factores de carga según la tabla 1 de la norma N-PRY-CAR-6-01-006/01 del IMT, el cual se observa en el apartado de dictamen.

a) Revisión de apoyo extremo

Para su análisis, se identificó el apoyo no. 8 (caballete) como el más crítico, por tener mayor longitud libre en las columnas, por lo que se tomó en cuenta la descarga de la superestructura (tabla 5.2.1) hacia el cabezal:

Tabla 5.2.1. Resumen de cargas de servicio de superestructura.

Número de	Sep. entre traves	Σ Carga Muerta (Ton/m)	Σ Carga Muerta Claro (Ton)	Σ Carga Muerta Eje (Ton)	Σ Carga Viva Eje (Ton)	Σ Carga Total (Ton)
1	---	2,92	78,77	39,39	26,30	65,68
2	1,55	2,67	72,18	36,09	26,30	62,38
3	1,80	2,77	74,69	37,34	26,30	63,64
4	1,80	2,67	72,18	36,09	26,30	62,38
5	1,55	2,90	78,36	39,18	26,30	65,48
		$\Sigma=$	376,17	188,08	131,48	319,56

Así mismo, se tomó en cuenta la carga muerta de la subestructura y el empuje de tierras, que se ingresaron al modelo computacional. De acuerdo al inciso E.2 de la norma N-PRY-CAR-6-01-003/01, se consideró el efecto del impacto.

Sismo

El inciso B.2 de la norma N-PRY-CAR-6-01-005/01 menciona que el análisis sísmico puede realizarse a través de 4 métodos: simplificado, cuasidinámico, dinámico y experimental. Para determinar el método a emplear, se debe clasificar la estructura según el comportamiento sísmico en tipo 1s, 2s, 3s o 4s.

Se determinó la clasificación de la estructura de revisión, verificando lo indicado en el subinciso B.2.1 de la norma citada anteriormente, observando primeramente los requisitos para una clasificación de estructura tipo 1s:

- "con menos de 6 claros si son continuos": **cumplió**, ya que la configuración de la estructura tuvo 7 claros simplemente apoyados.

- “con eje longitudinal recto o en curvatura reducida”: **cumplió**, ya que el eje longitudinal de proyecto se ubicaba en una tangente horizontal.
- “con esviajamiento menor de 15 grados”: **cumplió**, ya que los ejes de apoyos fueron normales con respecto al eje del camino.
- “sin cambios bruscos en la rigidez y masa de los elementos sucesivos de la superestructura y subestructura, exceptuando los estribos”: **cumplió**, ya que las trabes empleadas por cada claro, fueron iguales y de sección constante, además de que la losa tenía el mismo peralte constante.
- “con claro máximo menor o igual que 40m y ancho de calzada hasta de 30m”: **cumplió**, ya que se tenían claros mínimo y máximo de 26.67 y 36.05 m respectivamente, además de que el ancho total de la losa fue de 8.40m.

Como se observó, la estructura cumplió con el primer filtro de requisitos, por lo que se clasificó como estructura **tipo 1s**.

Con ayuda del espectro sísmico mostrado en la figura 5.2.1, se obtuvieron los croquis esquemáticos con los valores mostrados en las figuras 5.2.2 y 5.2.3 que se ingresaron en el programa de análisis:

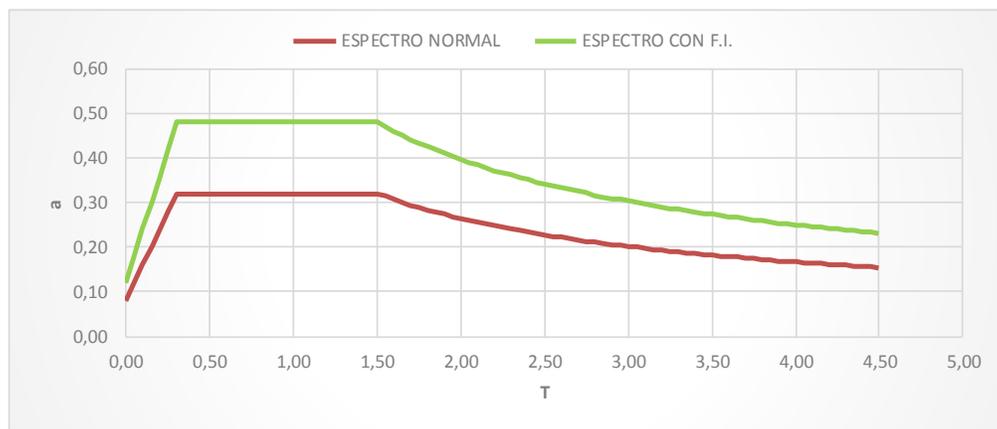


Figura 5.2.1. Gráfica del espectro sísmico de diseño.

Los croquis esquemáticos ingresados en el programa SAP2000 se muestran a continuación:

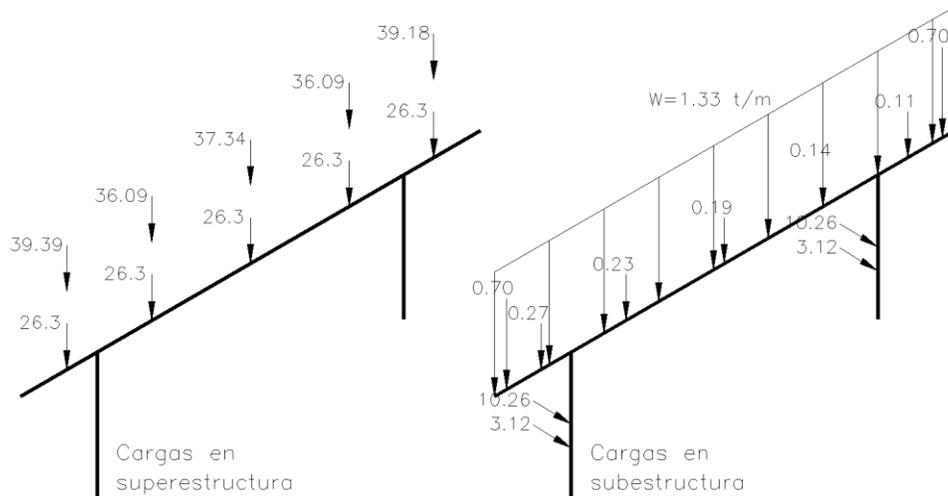


Figura 5.2.2. Cargas para grupo I de apoyo extremo.

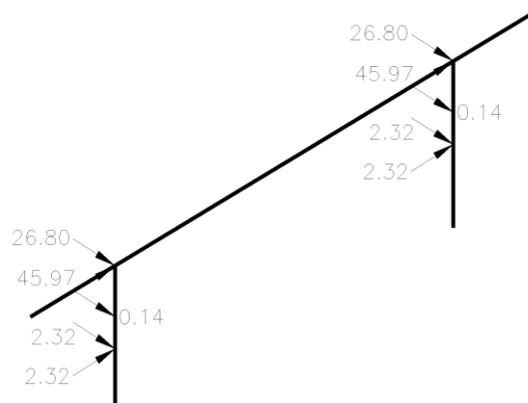


Figura 5.2.3. Cargas para grupo VII de apoyo extremo.

Para completar el cálculo del análisis sísmico, se tomó en cuenta lo indicado en la cláusula M de la norma N-PRY-CAR-6-01-005/01 que se muestra a continuación, por lo que la combinación VII se analizó para dos casos, correspondiente a las direcciones en X y Y:

$$S_r = S_x + 0,3S_y$$

$$S_r = S_y + 0,3S_x$$

S_r = Efecto sísmico de diseño

S_x = Efecto sísmico considerando que el sismo actúa únicamente en la dirección x

S_y = Efecto sísmico considerando que el sismo actúa únicamente en la dirección x , ortogonal a y

A continuación, se muestran los modelos realizados y obtenidos por el programa SAP2000:

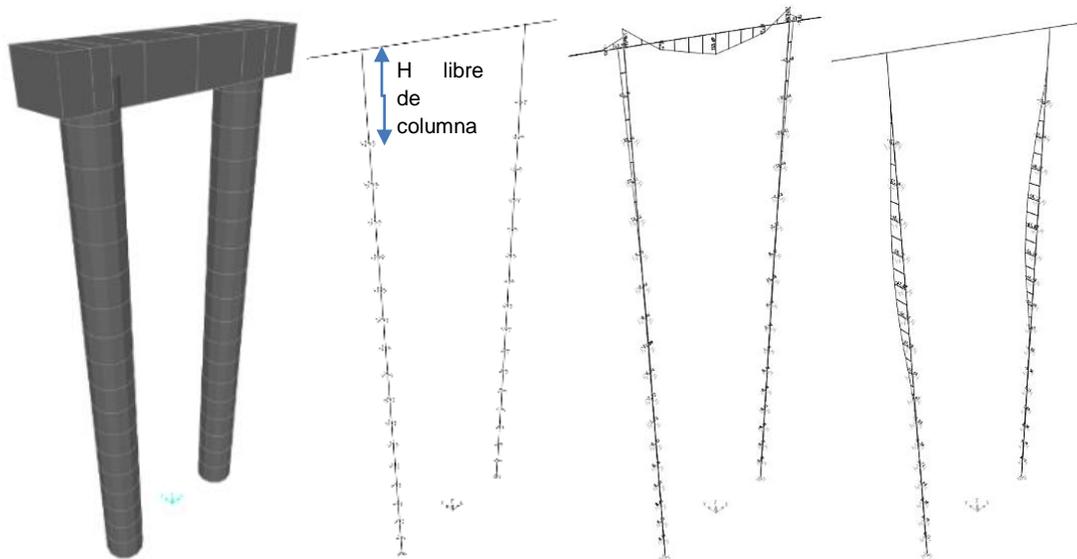


Figura 5.2.4. Modelos de apoyo extremo en programa SAP2000.

El resumen de los valores máximos arrojados por el programa, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.2.2. Elementos mecánicos y desplazamiento de apoyo extremo.

Grupo	Carga axial (t)	Cortante dirección x (t)	Cortante dirección y (t)	Momento dirección x (t-m)	Momento Dirección y (t-m)	Desplazamiento dirección x (m)	Desplazamiento dirección y (m)
I	389.52	10.15	20.35	53.90	61.02	0.000	0.000
VII (100% S_x y 30% S_y)	332.78	35.73	68.25	231.80	110.19	0.022	0.010
VII (30% S_x y 100% S_y)	282.27	24.31	71.61	69.26	224.92	0.005	0.032

Con los datos obtenidos del análisis, se procedió al análisis de los elementos del apoyo extremo.

a.1) Revisión de apoyos de neopreno

Los apoyos son diseñados para soportar grandes cargas verticales y proveer de una resistencia moderada a desplazamientos horizontales; se utilizan también para controlar la inclinación de la superficie de la superestructura de un puente. Consta de una serie de capas de hule horizontales vulcanizados con láminas de acero. La capacidad de carga de un apoyo se incrementa sustancialmente al aumentar el área y reducir el espesor de cada capa de hule,

mientras que la resistencia para el movimiento horizontal e inclinación se reduce al incrementar la altura total del apoyo.

Las especificaciones AASHTO 2002 consideran dos métodos de diseño: uno en función de la dureza y el grado del apoyo, mientras que el otro utiliza el módulo de corte y el grado del apoyo. El método A brinda apoyos de menor capacidad por limitaciones de esfuerzo a comparación del método B, por ello se utilizó este último para la revisión de los apoyos.

De acuerdo con AASHTO 2002, los apoyos de neopreno se deben revisar con los requerimientos mostrados en la figura 5.2.5:

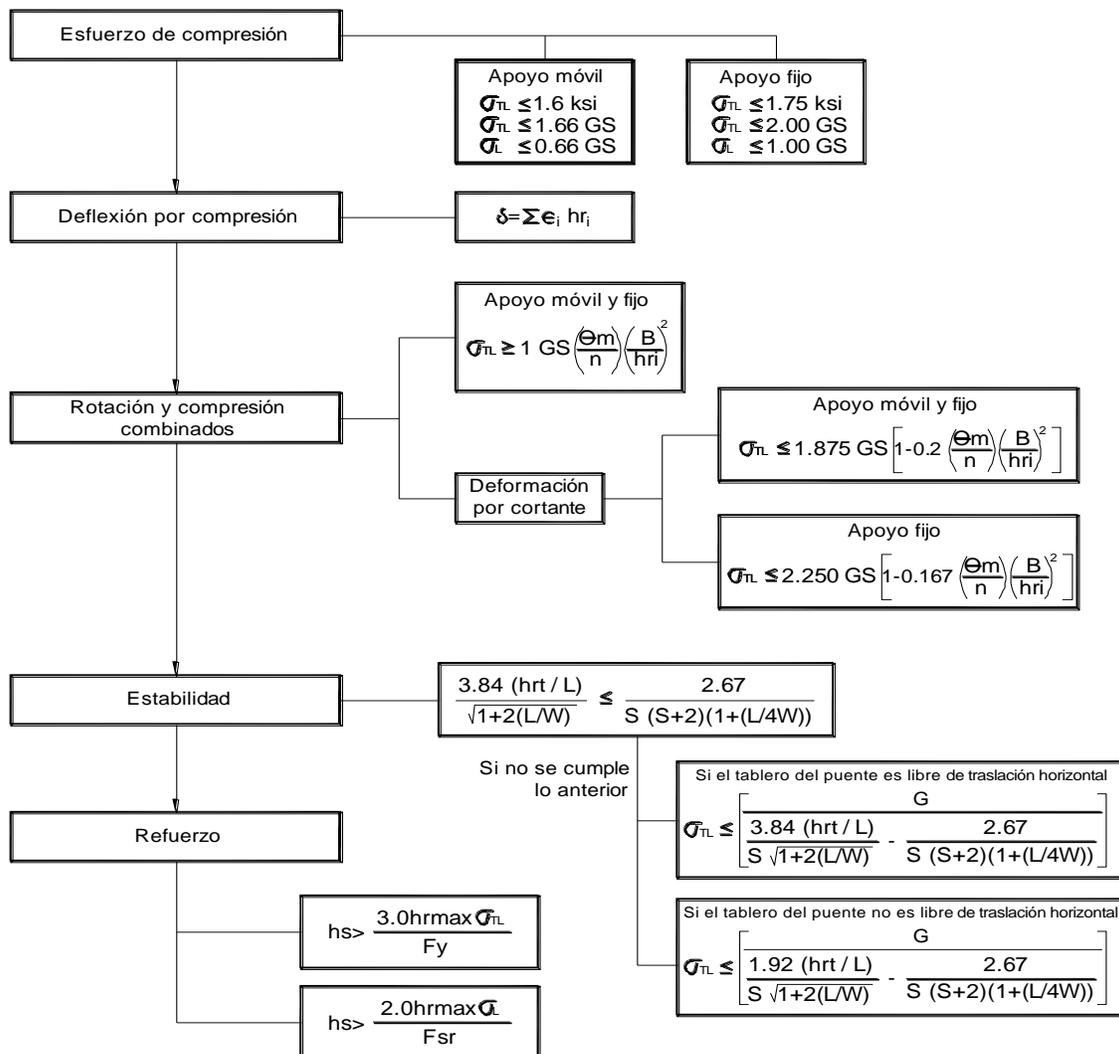


Figura 5.2.5. Solicitaciones en apoyos elastomericos reforzados con acero.

A continuación, se muestra la geometría obtenida por el análisis hecho a los apoyos de neopreno, tomando en cuenta las descargas mostradas en la figura 5.1.11:

Tabla 5.2.3. Resumen de características de neoprenos fijo y móvil de apoyo extremo.

	Tipo de apoyo	Dureza shore	L (cm)	W (cm)	Altura total del neop. (cm)	Esfuerzo de compres.	Deflexión de compres.	Compres. y rotación combin.	Estabilidad	Refuerzo
Análisis	Fijo	60	40	20	4,10	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	Móvil	60	40	20	4,10	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

a.2) Revisión de bancos

Estos dispositivos que se encargan de recibir los apoyos de neopreno, serán revisados a compresión y a cortante. Dichos bancos tienen una altura variable, ya que con ellos se logra las elevaciones indicados en sección transversal y alineamiento vertical. Para este trabajo, se tomó en cuenta la descarga de la trabe (tabla 5.2.4) hacia el banco, su altura y se evaluó si se despreciaba el efecto de esbeltez.

Tabla 5.2.4. Descarga por trabe para análisis de banco en apoyo extremo.

No. de trabe	W carga muerta claro	W carga muerta eje	F.C. máximo	Cortante	W carga viva eje	W carga muerta+ viva eje
1	78,77	39,39	0,270	52,59	14,20	53,59
2	72,18	36,09	0,570	52,59	29,98	66,06
3	74,69	37,34	0,477	52,59	25,09	62,43
4	72,18	36,09	0,486	52,59	25,56	61,65
5	78,36	39,18	0,117	52,59	6,15	45,33

Trabe crítica= 2
 Pcm= 36088 kg
 Pcv= 29977 kg
 Pt= 66065 kg
 Pucm= 46914
 Pcv= 58455
 Pt= 105369 kg

A continuación, se presenta el armado arrojado por el análisis realizado al banco de apoyo:

Tabla 5.2.5. Resumen de armado en banco de apoyo extremo.

Tipo de Refuerzo	Análisis
Principal	Vars. del no. 4 No. piezas= 9

a.3) Revisión de topes sísmicos

Los topes sísmicos o topes laterales son elementos estructurales que restringen el desplazamiento lateral de la superestructura bajo la acción sísmica, impidiendo que se desplome. El diseño para estos elementos se basa en general en dos criterios: considerarlo como viga o como ménsula, predominando más éste último en diseño.

El dimensionamiento y resistencia de ménsulas se basan en 3 criterios de diseño: en base a su geometría, planteamiento de modelos (armadura estáticamente determinada) y cortante de

fricción. Éste último criterio ha sido uno de los más empleados por el reglamento ACI, que a su vez, AASHTO y las NTC la han adoptado en sus normativas.

Las ménsulas tienen 3 fallas principales:

- cortante “V”, tomada por el acero denotado como “Avf”
- momento “M”, tomada por el acero denotado como “Af”
- fuerza de tensión “N”, tomada por el acero denotado como “An”

Sin embargo, para el caso de topes sísmicos, no es necesario revisarlo por fuerza de tensión, como se aprecia en la siguiente figura:

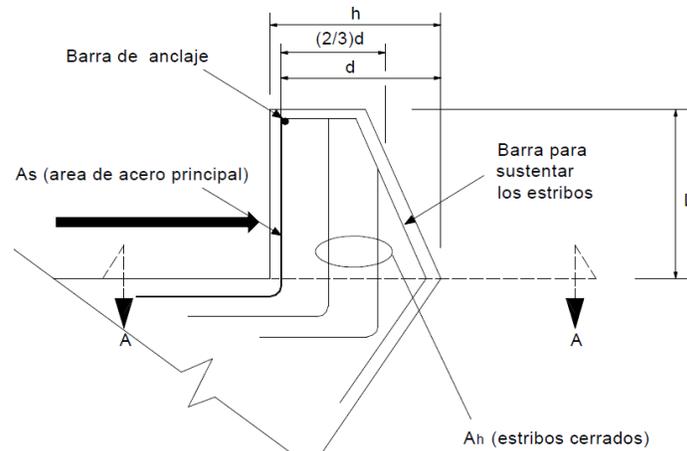


Figura 5.2.6. Elementos mecánicos actuantes en un tope sísmico.

Actualmente, se tienen ecuaciones de diferentes normativas para el cálculo de la fuerza de diseño para topes sísmicos; para este trabajo, se consideró lo mencionado en la cláusula N de la norma N-PRY-CAR-6-01-005/01 del IMT.

A continuación, se muestran los armados obtenidos por el análisis realizado al tope sísmico:

Tabla 5.2.6. Resumen de armados en tope sísmico de apoyo extremo.

	Principal	Complementario para estribos	Estribos	Barra de anclaje	Dimensiones b x h (cm)
ANÁLISIS	Vars. del no. 5 @ 12 cm	Vars. del no. 5 @ 10 cm	Vars. del no. 5 @ 9 cm	Vars. del no. 4	45 x 50

a.4) Revisión de muro de respaldo

El muro de respaldo es una estructura para contener el material que se encuentra en la parte posterior de la superestructura, por lo que se debe analizar principalmente el empuje de tierras.

A continuación, se muestran los datos principales para el análisis de dicho elemento, considerando la altura de terraplén de proyecto:

Datos de suelo	Datos geometricos	Datos de materiales
$\gamma = 1,6 \text{ t/m}^3$	H max= 1,850 m	$f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$
$\phi = 30$	$q = 1,200 \text{ t/m}^2$	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
$K_a = 0,333$		$\gamma \text{ concreto} = 2,40 \text{ t/m}^3$
Carga eq= 0,400 t/m ²		
$a_o = 0,12$	Cuenta con losa de transición (S/N)=	N
$c/Q = 0,24$		

Resumen de cargas

	Fuerza (t)	Brazo (m)	Momento t-m
Empuje de tierras	0,91	0,62	0,56
S suelo	0,06	1,23	0,08
S muro	<u>0,32</u>	0,93	<u>0,30</u>
	1,30		0,94

1.1 DISEÑO PLÁSTICO

Normativa de diseño: IMT

Combinación de diseño: VII

$$M \text{ diseño} = 1,3 (1 (0,56) + 1 (0,37))$$

$$M \text{ diseño} = 1,217 \text{ t-m} = 121745 \text{ kg-cm}$$

$$V \text{ diseño} = 1,3 (1 (0,91) + 1 (0,38))$$

$$V \text{ diseño} = 1,684 \text{ t} = 1684 \text{ kg}$$

A continuación, se muestra el armado obtenido por el análisis realizado al muro de respaldo:

Tabla 5.2.7. Resumen de armados en muro de respaldo de apoyo extremo.

	Espesor de muro	Acero principal	Contr. y temp.
Análisis	30 cm	Vars. del no. 4 @ 25 cm	Vars. del no. 4 @ 25 cm

a.5) Revisión de cabezal

El cabezal es uno de los elementos encargados de transmitir la descarga por parte de la superestructura hacia la infraestructura, por lo que los elementos mecánicos dependerán principalmente de la separación entre traveses y pilas.

Tomando en cuenta las dimensiones del proyecto, se obtuvieron los elementos mecánicos por cada grupo de carga, siendo los más críticos los arrojados por el grupo I, como se muestra en las figuras 5.2.7 y 5.2.8:

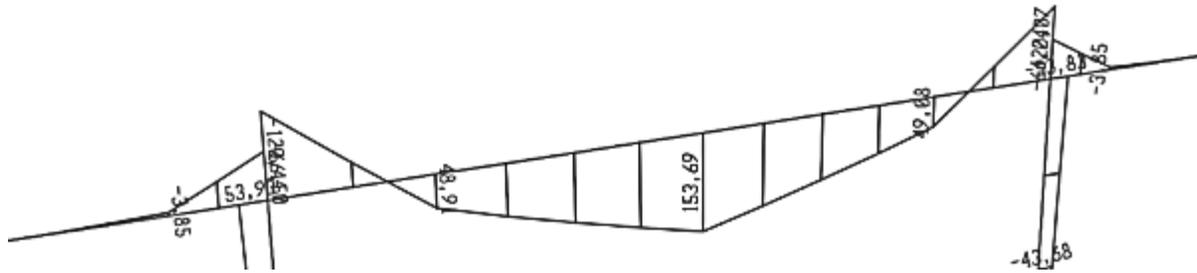


Figura 5.2.7. Momento para el grupo I de normativa IMT de apoyo extremo.

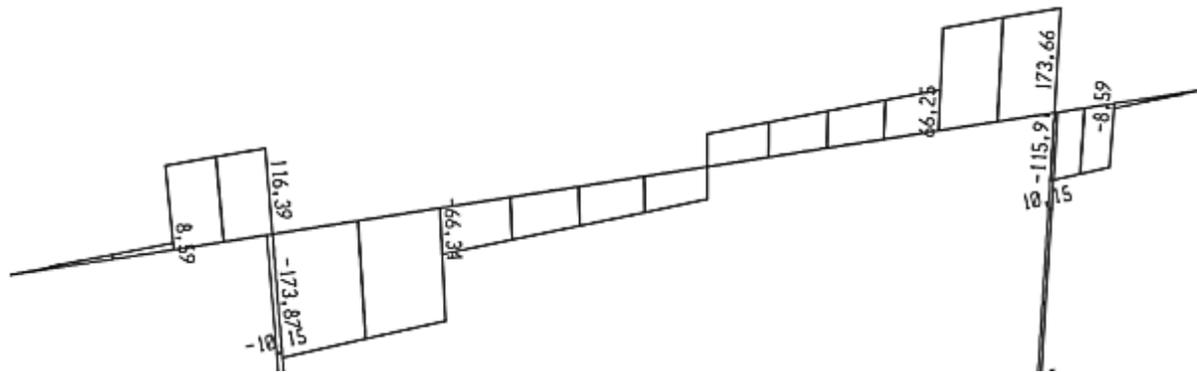


Figura 5.2.8. Cortante para el grupo I de normativa IMT de apoyo extremo.

A continuación, se muestran los armados obtenidos por el análisis realizado al cabezal del apoyo extremo:

Tabla 5.2.8. Resumen de armados en cabezal de apoyo extremo.

	Dimensiones bxh (cm)	Acero en patin inf	Acero en patin sup	Acero en alma	Acero por cortante (estribos)
Análisis	180 130	10 # 8	10 # 8	5 # 4 x2 lados	4 ramas de # 4 @ 30 cm de 0 a 840 cm

b) Revisión de apoyo intermedio

Para su análisis, se tomó en cuenta la descarga de 2 claros de la superestructura. Se identificó el apoyo no. 6 (en planos identificado como apoyo tipo 5) con las pilas-columnas más críticas, por tener mayor longitud libre.

La secuencia de análisis fue la misma que se utilizó en la revisión del apoyo extremo, por lo que se omitieron ciertos puntos y/o cálculos (como la ordenada máxima del espectro sísmico)

Los croquis esquemáticos ingresados en el programa SAP2000 se muestran a continuación:

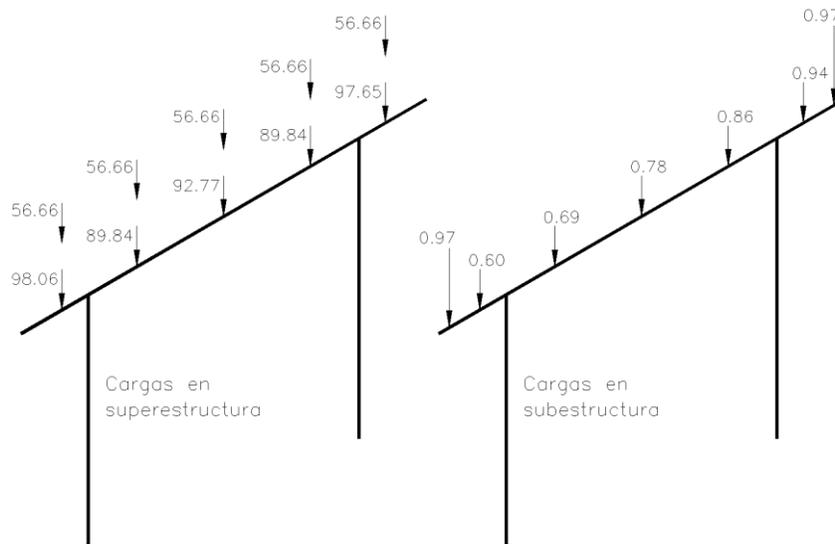


Figura 5.2.9. Cargas para grupo I de apoyo intermedio.

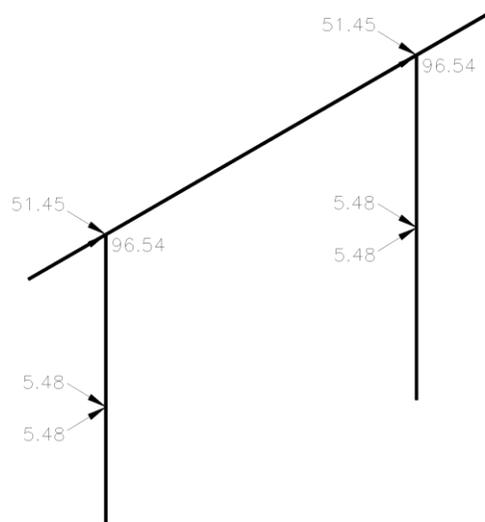


Figura 5.2.10. Cargas para grupo VII de apoyo intermedio.

A continuación, se muestran los modelos realizados y obtenidos por el programa SAP2000:

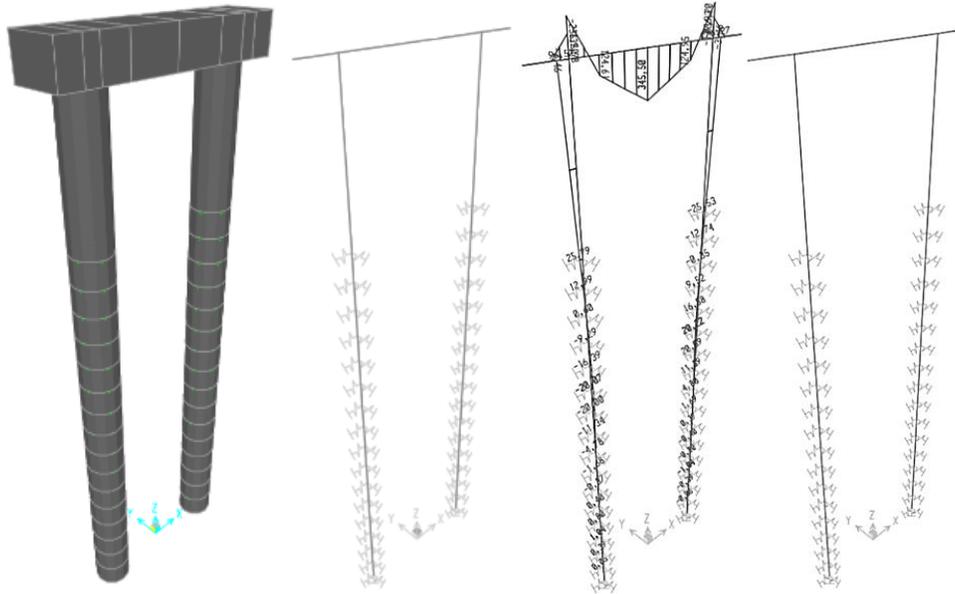


Figura 5.2.11. Modelos de apoyo intermedio en programa SAP2000.

El resumen de los valores máximos arrojados por el programa, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.2.9. Elementos mecánicos y desplazamiento de apoyo intermedio.

Grupo	Carga axial (t)	Cortante dirección x (t)	Cortante dirección y (t)	Momento dirección x (t-m)	Momento Dirección y (t-m)	Desplazamiento dirección x (m)	Desplazamiento dirección y (m)
I	733.53	12.86	1.00	96.52	1.00	0.000	0.000
VII (100% S_x y 30% S_y)	685.30	151.88	42.58	689.77	161.79	0.032	0.014
VII (30% S_x y 100% S_y)	525.69	48.80	141.93	242.39	539.30	0.009	0.049

Con los datos obtenidos anteriormente, se procedió al análisis de los elementos que intervienen en el apoyo intermedio.

b.1) Revisión de apoyos de neopreno

A continuación, con el criterio empleado en el apoyo extremo, se presenta el análisis del apoyo de neopreno en apoyo intermedio, tomando en cuenta las descargas mostradas en la figura 5.1.15.

Tabla 5.2.10. Resumen de características de neopreno fijo y móvil de apoyo intermedio.

	Tipo de apoyo	Dureza shore	L (cm)	W (cm)	Altura total del neop. (cm)	Esfuerzo de compres.	Deflexión de compres.	Compres. y rotación combin.	Estabilidad	Refuerzo
Análisis	Fijo	60	40	25	4,10	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	Móvil	60	40	25	5,70	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

b.2) Revisión de bancos

Tomando en cuenta el procedimiento en apoyo extremo, se revisó el banco más crítico en el apoyo intermedio de análisis, tomando la descarga mostrada en la tabla 5.2.13:

Tabla 5.2.11. Descarga por trabe para análisis de banco de apoyo intermedio.

No. de trabe	W carga muerta claro	W carga muerta eje	F.C. máximo	Cortante	W carga viva eje	W carga muerta+ viva eje	
1	117,35	58,67	0,270	58,40	15,77	74,44	Trabe crítica= 2 Pcm= 53755 kg Pcv= 33287 kg Pt= 87042 kg Pucm= 69881,7 Pcv= 64909 Pt= 134791 kg
2	107,51	53,76	0,570	58,40	33,29	87,04	
3	110,86	55,43	0,477	58,40	27,86	83,29	
4	107,51	53,76	0,486	58,40	28,38	82,14	
5	116,94	58,47	0,117	58,40	6,83	65,30	

A continuación, se presenta el armado arrojado por el análisis realizado al banco de apoyo:

Tabla 5.2.12. Resumen de armado en banco de apoyo intermedio.

Tipo de Refuerzo	Análisis
Principal	Vars. del no. 4 No. piezas= 9

b.3) Revisión de topes sísmicos

A continuación, con el mismo criterio mostrado en apoyo extremo, se presenta los armados obtenidos del tope sísmico del apoyo intermedio:

Tabla 5.2.13. Resumen de armados en tope sísmico de apoyo intermedio.

	Acero Principal	Complementario para estribos	Estribos	Barra de anclaje	Dimensiones b x h (cm)
ANÁLISIS	Vars. del no. 5 @ 14 cm	Vars. del no. 5 @ 14 cm	Vars. del no. 4 @ 9 cm	Vars. del no. 4	45 x 50

b.4) Revisión de cabezal

De igual forma, se obtuvieron los elementos mecánicos por cada grupo de carga, siendo los más críticos los arrojados por el grupo I, como se muestra en las figuras 5.2.12 y 5.2.13:

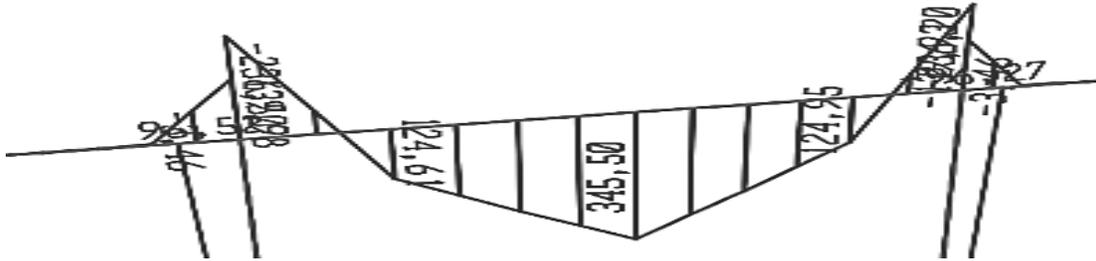


Figura 5.2.12. Momento para el grupo I de normativa IMT de apoyo intermedio.

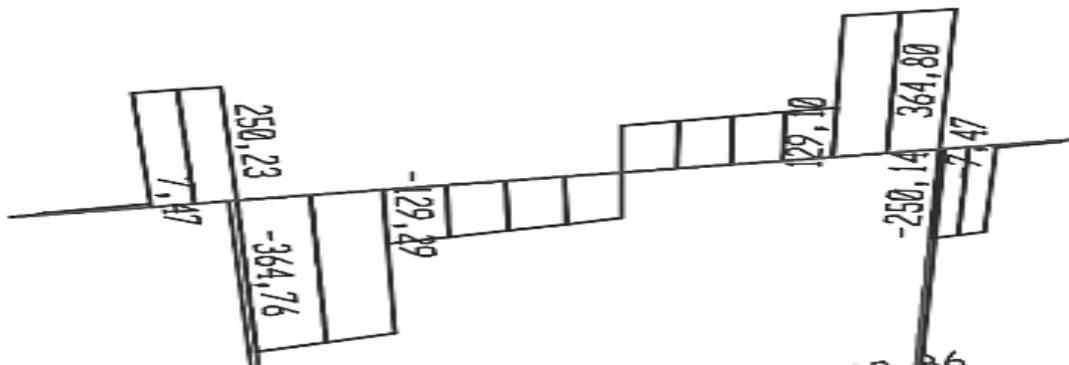


Figura 5.2.13. Cortante para el grupo I de normativa IMT de apoyo intermedio.

A continuación, se muestran los armados obtenidos por el análisis realizado al cabezal del apoyo intermedio:

Tabla 5.2.14. Resumen de armados en cabezal de apoyo intermedio.

	Dimens. cm	Acero en patin inf	Acero en patin	Acero en alma	Acero por cortante (estribos)	
Análisis	180 x 130	16 # 8	12 # 8	5 # 4 x2	4 ramas del # 4 @ 10 cm de 0 a 330 cm	4 ramas del # 4 @ 30 cm de 330 a 510 cm
					4 ramas del # 4 @ 10 cm de 10 a 840 cm	

5.3. Revisión de infraestructura

a) Revisión de apoyo extremo

Tomando como base las dimensiones del elemento indicadas en proyecto, se presenta el diagrama de interacción obtenido por el análisis del apoyo extremo:

ELEMENTOS DE DISEÑO

Para compresión y flexión biaxial, se utilizará los valores de la combinación: VII 1.3 (CM+ET+SISX+0.3SISY)

- Pu = 282,27 ton
- Mux = 69,26 ton-m
- Muy = 224,92 ton-m

Para cortante, se utilizaran los valores de la combinación: VII 1.3 (CM+ET+SISX+0.3SISY)

- Vux = 24,31 ton
- Vuy = 71,61 ton

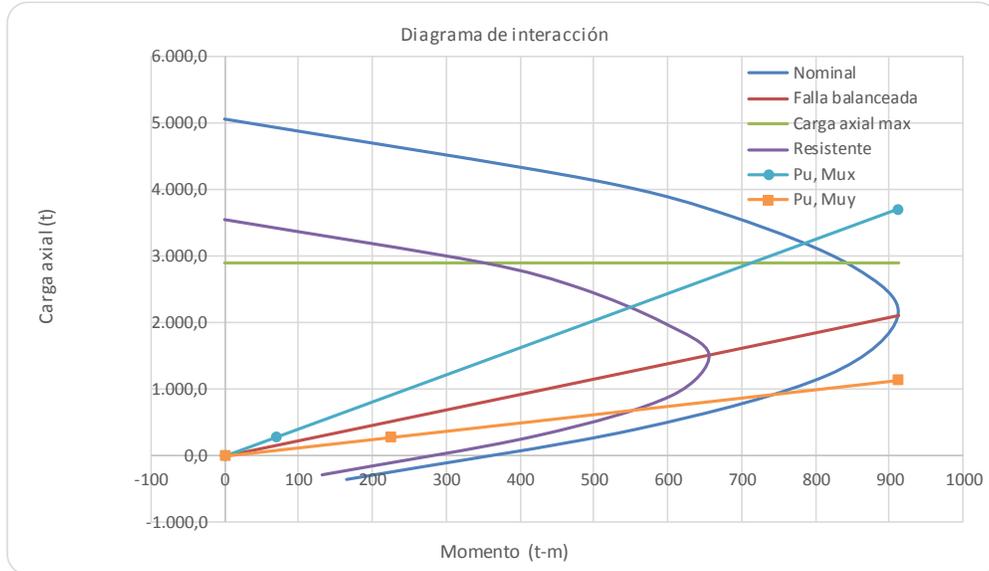


Figura 5.3.1. Diagrama de interacción para pila-columna de apoyo extremo

A continuación, se muestran los armados obtenidos por el análisis realizado del apoyo extremo:

Tabla 5.3.1. Resumen de armados en pila-columna de apoyo extremo.

	Acero por flexión	Acero por cortante (estribos)	Capacidad de carga
Análisis	28 # 8	# 4 @ 25 cm de 0 a 220 cm # 4 @ 25 cm de 220 a 1040 cm # 4 @ 25 cm de 1040 a 1800 cm	390 t

b) Revisión en apoyo intermedio

Tomando como base las dimensiones del elemento indicadas en proyecto, se presenta el diagrama de interacción obtenido por el análisis del apoyo intermedio:

ELEMENTOS DE DISEÑO

Para compresión y flexión biaxial, se utilizará los valores de la combinación: VII 1.3 (CM+ET+SISX+0.3SISY)

- Pu = 685,30 ton
- Mux = 689,77 ton-m
- Muy = 161,79 ton-m

Para cortante, se utilizaran los valores de la combinación: VII 1.3 (CM+ET+SISX+0.3SISY)

- Vux = 151,88 ton
- Vuy = 42,58 ton

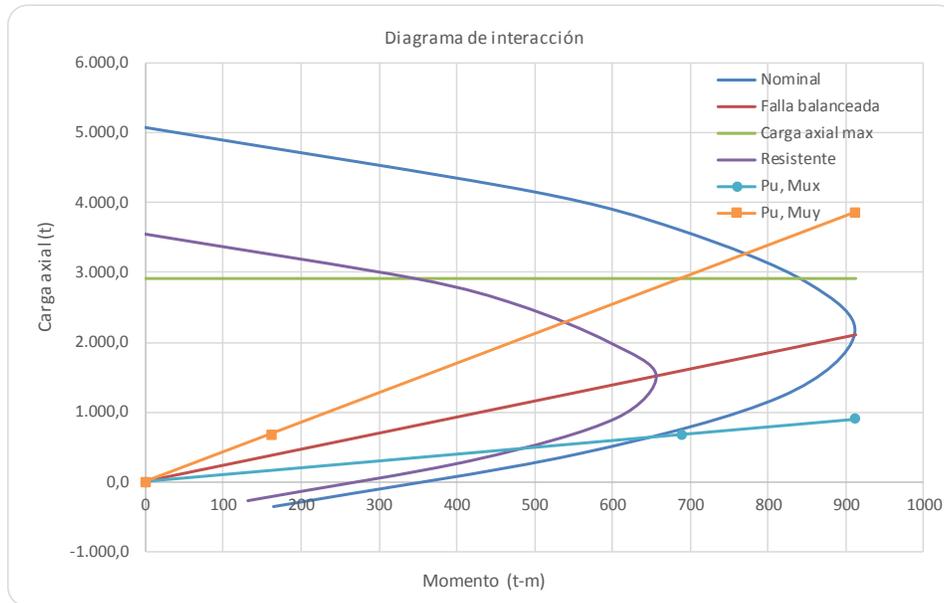


Figura 5.3.2. Diagrama de interacción para pila-columna de apoyo intermedio.

A continuación, se muestran los armados obtenidos por el análisis realizado del apoyo intermedio:

Tabla 5.3.2. Resumen de armados en pila-columna de apoyo intermedio.

	Acero por flexión	Acero por cortante (estribos)	Capacidad de carga
Análisis	56 # 8	# 4 @ 10 cm de 0 a 430 cm # 4 @ 15 cm de 430 a 1390 cm # 4 @ 15 cm de 1390 a 1900 cm # 4 @ 15 cm de 1900 a 2005 cm # 4 @ 10 cm de 2005 a 2150 cm	735 t

CAPÍTULO 6: DICTAMEN TÉCNICO

6.1. Estructuración

En este capítulo se presenta el dictamen técnico, el cual, es el documento en donde se plasma el veredicto de la revisión estructural.

En el siguiente esquema se muestra la estructuración del dictamen técnico:

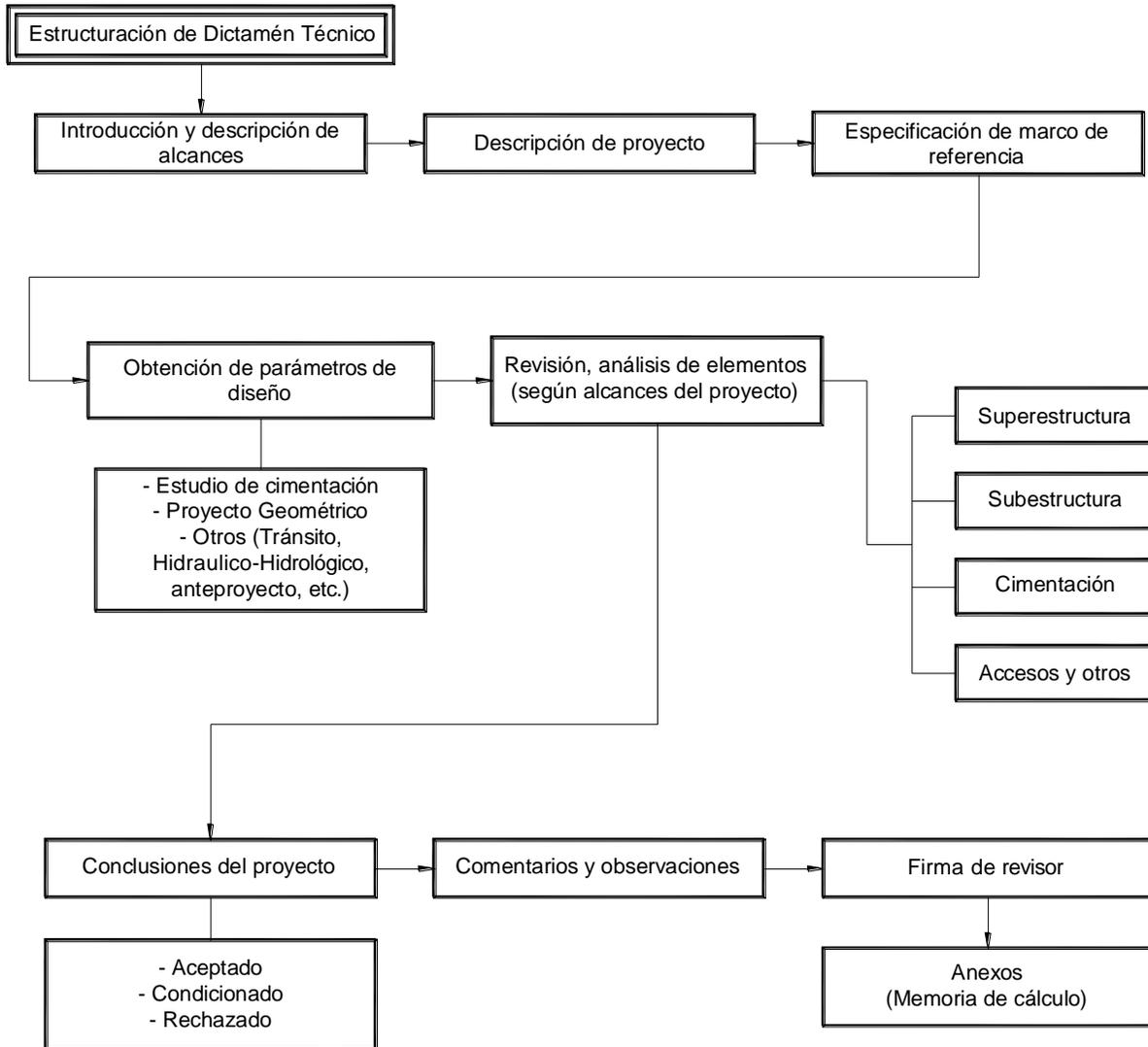
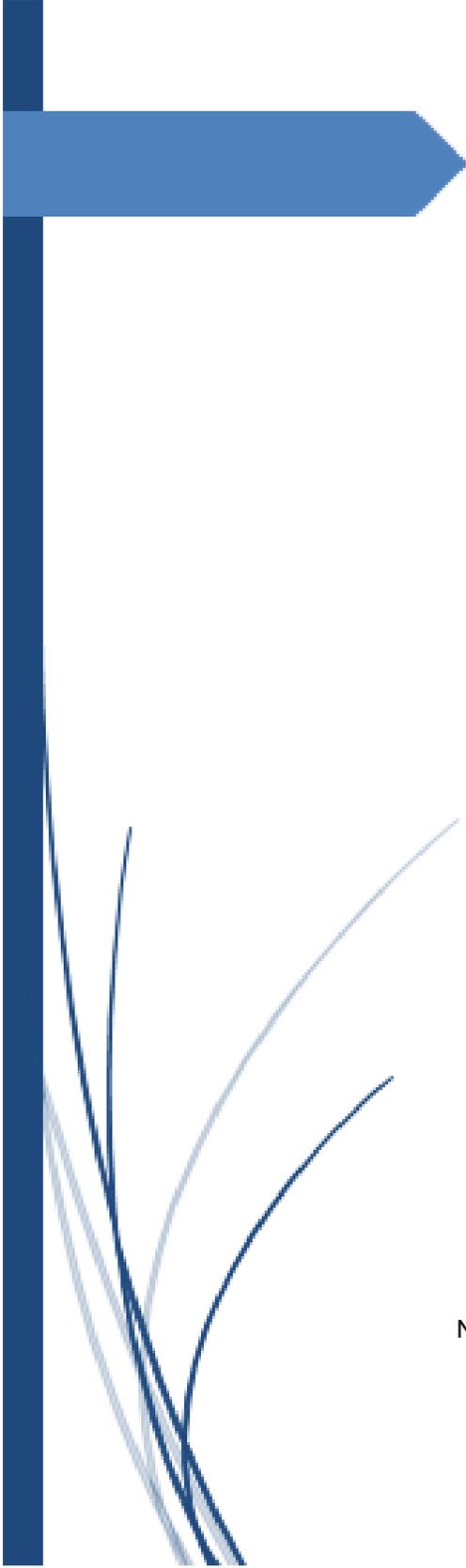


Figura 6.1.1. Estructuración propuesta para dictamen técnico.

6.2. Presentación de dictamen técnico

El dictamen técnico se muestra a continuación:



DICTAMÉN TÉCNICO DE REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UN P.S.V. EN TLALNEPANTLA DE BAZ, ESTADO DE MÉXICO

RESUMEN EJECUTIVO

REVISOR:

ING. DANIEL IVÁN COBAXÍN FERMÁN

NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO, FEBRERO 2020

CONTENIDO

1. CONSIDERACIONES GENERALES

- 1.1 Objetivo y alcances
- 1.2 Marco normativo y criterios de aceptación y rechazo
- 1.3 Metodología para revisión estructural

2. CASO DE ESTUDIO: REVISIÓN DE PSV, TLALNEPANTLA DE BAZ, ESTADO DE MÉXICO

- 2.1. Información recabada
- 2.2 Descripción del caso de estudio
- 2.3 Parámetros de diseño

3. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN ESTRUCTURAL

- 3.1 Superestructura
- 3.2 Subestructura
- 3.3 Infraestructura
- 3.4 Accesos

4. DICTAMEN TÉCNICO

1. CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 Objetivo y alcances

Objetivo

Este dictamen técnico tiene como finalidad presentar un veredicto o juicio por parte del revisor para aprobar, condicionar o rechazar la estructura a nivel de diseño, justificando dicha decisión con cálculos o criterios basados en normativa vigente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), así como manuales y especificaciones de apoyo. Dicho veredicto podrá ser tomado en cuenta por el cliente para que decida el inicio de los trabajos de construcción, modificación o actualización del proyecto para cumplir con lo establecido en la normativa.

Alcances

La revisión estructural a nivel de diseño se entenderá como el análisis a la cual se somete el proyecto estructural en cuestión con la finalidad de verificar que las dimensiones y armados de los elementos cumplan con las normas y/o especificaciones de diseño y/o construcción vigentes. Los alcances de este documento, establecidos previamente con el cliente, se enlistan a continuación:

- Confidencialidad de la información entregada y uso exclusivo de la misma para este informe
- Recepción de la documentación para obtener parámetros y criterios de diseño
- Revisión del diseño de elementos de concreto plasmados en los planos
- Emitir recomendaciones y observaciones, producto de la revisión de proyecto
- Determinar la aceptación o rechazo del proyecto

Cabe destacar que este dictamen técnico fue producto de una revisión estructural a nivel de diseño, sin enfocarse en los estudios previos, ya que se llegó a la conclusión de que el proyecto tuvo su aprobación en su momento por parte de la dependencia correspondiente tras un análisis de anteproyectos previos.

1.2. Marco normativo y criterios de aceptación y rechazo

Marco normativo

La estructura corresponde a un proyecto del sector carretero. Por ello, se revisó dicho proyecto empleando la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); así como lineamientos y normativas de organismos enfocados al diseño de estructuras y puentes como las especificaciones AASHTO 2002. Esta situación de tomar fragmentos de diferentes normativas, se debe a que en nuestro país, no se cuenta aún con una metodología o manual de diseño completo.

Se utilizaron los grupos y combinaciones de cargas indicados en la norma N-PRY-CAR-6-01-006/01, que se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Coeficientes y factores para cada grupo de cargas.

Grupo	Coeficiente β para cargas:											Factor de carga	Factor de incremento de esfuerzos	
	Perma- nentes		Variables			Eventuales								
	β_{CD}	β_{ED}	β_{F}	β_{FC}	β_{FZ}	β_{VCT}	β_S	β_{FL}	β_{ACT}	β_{PL}	β_{SP}			
Cargas de trabajo	I	1	[1]	1	1	0	0	0	0	0	1	1	-	1 ^[2]
	II	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	-	1,25
	III	1	[1]	1	1	0,3	1	0	1	0	1	1	-	1,25
	IV	1	[1]	1	1	0	0	0	0	1 ^[6]	1	1	-	1,25
	V	1	1	0	0	1	0	0	0	1 ^[6]	1	1	-	1,4
	VI	1	[1]	1	1	0,3	1	0	1	1 ^[6]	1	1	-	1,4
	VII	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	-	1,33
Factores de carga	I	[3]	[1]	1,5 ^[4]	1	0	0	0	0	0	1	1	1,3 ^[5]	-
	II	[3]	[1]	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1,3	-
	III	[3]	[1]	1,2	1	0,3	1	0	1	0	1	1	1,3	-
	IV	[3]	[1]	1,2	1	0	0	0	0	1 ^[6]	1	1	1,25	-
	V	[3]	[1]	0	0	1	0	0	0	1 ^[6]	1	1	1,25	-
	VI	[3]	[1]	1,2	1	0,3	1	0	1	1 ^[6]	1	1	1,25	-
	VII	[3]	[1]	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1,3	-

La revisión de la superestructura se hizo de la siguiente forma: para el sistema de piso se tomó en cuenta lo establecido en la norma N-PRY-CAR-6-01-007/16, mientras que la revisión del elemento portante se realizó con lo indicado en el AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition 2002 y con las Normas Técnicas para el proyecto de puentes carreteros 1984 de la SCT; para la revisión de la subestructura e infraestructura, se empleó filosofía Factores de Carga (LFD).

Crterios para aceptación o rechazo

Se determinó la aceptación o rechazo del elemento si cumplía con las expresiones mostradas a continuación, correspondientes al acero y dimensiones de acuerdo a su funcionamiento y comportamiento:

Losas:

Peralte	$d = \sqrt{\frac{M}{\frac{1}{2}f_c j k b}}$	Acero de distribución	$R_{d2} = \frac{120}{\sqrt{S_e}}$
Acero a flexión	$A_s = \frac{M}{f_s j d}$	Acero por temperatura	$A_{st} = 2.64 \text{ cm}^2/\text{m}$

Trabes presforzadas:

ASD	Transferencia	Compresión	$0.6 f' c_i$
		Tensión	$0.8 \sqrt{f' c_i}$
	Servicio	Compresión	$0.4 f' c$
		Tensión	$1.6 \sqrt{f' c}$

Trabes preforzadas (continua):

	<i>Flexión</i>	<i>Cortante</i>
LFD	$\phi M_n = \phi \left\{ A_s^* f_{su}^* d \left[1 - 0.6 \left(\frac{p^* f_{su}^*}{f'_c} + \frac{d_t p f_{sy}}{d f'_c} \right) \right] + A_s f_{sy} d_t \left[1 - 0.6 \left(\frac{d_t p^* f_{su}^*}{d_t f'_c} + \frac{p f_{sy}}{f'_c} \right) \right] \right\}$ $\phi M_n = \phi \left\{ A_{sr} f_{su}^* d \left[1 - 0.6 \left(\frac{A_{sr} f_{su}^*}{b' d f'_c} \right) \right] + A_s f_{sy} (d_t - d) + 0.85 f'_c (b - b')(t)(d - 0.5t) \right\}$	$V_{ci} = 0.6 \sqrt{f'_c} b' d + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{max}}$ $V_{CW} = (3.5 \sqrt{f'_c} + 0.3 f_{pc}) b' d + V_p$ $V_s = \frac{A_v f_{sy} d}{s}$
<i>Deflexión</i>	$\Delta_f = -\Delta_{pf} - \frac{\Delta_{pi} + \Delta_{pf}}{2} C_f + (\Delta_{cm} + \Delta_{pp})(1 + C_f) + \Delta_{cv}$	

Cabezales, muros de respaldo y losas de acceso:

Acero a flexión	$\phi M_n = \phi \left[A_s f_y d \left(1 - 0.6 \frac{p f_y}{f'_c} \right) \right]$	$V_c = 2 \sqrt{f'_c} b_w d$ $V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$
	$M_{cr} = \frac{f_t I_g}{y_t} = \frac{1.98 \sqrt{f'_c} (bh^3)}{h/2}$	<p>Acero por temperatura $A_{st} = 2.64 \text{ cm}^2/\text{m}$</p>

Apoyos de neopreno integral:

Esfuerzo de compresión	$\sigma_{TL} \leq 1.6 \text{ ksi}$ $\sigma_{TL} \leq 1.66 \text{ GS}$ $\sigma_L \leq 0.66 \text{ GS}$	$\sigma_{TL} \leq 1.75 \text{ ksi}$ $\sigma_{TL} \leq 2.00 \text{ GS}$ $\sigma_L \leq 1.00 \text{ GS}$	$\frac{3.84 \text{ hrt}/L}{S\sqrt{1+2L/W}} \leq \frac{2.67}{S(S+2)(1+L/4w)}$
Deflexión de compresión	$\delta = \sum \epsilon_i h_{ii}$		<p>Estabilidad</p> $\sigma_{TL} \leq \frac{G}{\frac{1.92 \text{ hrt}/L}{S\sqrt{1+2L/W}} - \frac{2.67}{S(S+2)(1+L/4w)}}$
Compresión y rotación combinados	$\sigma_{TL} \geq 1.0 \text{ GS} \left(\frac{\theta_m}{n} \right) \left(\frac{B}{hri} \right)^2$ $\sigma_{TL} \leq 1.875 \text{ GS} \left[1 - 0.2 \left(\frac{\theta_m}{n} \right) \left(\frac{B}{hri} \right)^2 \right]$ $\sigma_{TL} \leq 2.25 \text{ GS} \left[1 - 0.167 \left(\frac{\theta_m}{n} \right) \left(\frac{B}{hri} \right)^2 \right]$		<p>Refuerzo</p> $hs_1 = \frac{3hrmax \sigma_{TL}}{fy}$ $hs_2 = \frac{2hrmax \sigma_L}{fsr}$

Topes sísmicos:

Acero principal	$As_1 = Asf + An$ $As_2 = \frac{2}{3} Avf + An$	Acero para estribos	$Ah = 0.5 (As - An)$
-----------------	---	---------------------	----------------------

Pilas y columnas:

Flexión	$P_u \geq 0.1 f'_c A_g \rightarrow Pnxy = \frac{1}{\frac{1}{Pnx} + \frac{1}{Pny} - \frac{1}{Po}}$ $P_u < 0.1 f'_c A_g \rightarrow \frac{Mux}{\phi Mnx} + \frac{Muy}{\phi Mny} \leq 1$	Cortante	$V_c = 0.53 \phi \sqrt{f'_c} bd$
---------	---	----------	----------------------------------

1.3. Metodología para revisión estructural

El procedimiento utilizado para la revisión se muestra a continuación:

- se solicitaron estudios, planos o documentos al cliente para la revisión estructural
- se procedió a clasificar aquellos documentos que el revisor considero necesarios, para obtener información relevante para el análisis.
- se identificó la tipología y materiales que intervinieron en la estructura para determinar la normativa, especificaciones y/o manuales a emplear
- se revisaron los planos e identificaron los elementos estructurales de concreto en superestructura, subestructura, infraestructura y/o accesos, que a criterio del revisor, fueran un riesgo para la seguridad de la estructura, en caso de llegar a su estado límite de falla
- se seleccionó la filosofía de diseño a emplear y se identificaron las cargas que actuaban en la estructura de acuerdo a la normativa determinada, para obtener los elementos mecánicos de diseño
- se realizó el análisis de los elementos estructurales, tomando como referencia las dimensiones plasmados en proyecto, obteniendo los armados correspondientes; en los casos donde se obtuvo una variación significativa de acero de refuerzo, se revisaron las dimensiones del elemento.
- se procedió a comparar dimensiones y armados obtenidos en el análisis con respecto a los indicados en los planos, entendiéndose este procedimiento como la revisión
- tras la revisión, se determinó si su condición de diseño era aceptado o rechazado; en caso de que el elemento fuera rechazado, se hizo una observación breve del porqué de su rechazo.

- debido al procedimiento de la revisión hecha en los planos del proyecto para determinar geometrías y armados de los elementos de concreto, adicionalmente, se realizaron observaciones acerca de incongruencias en los planos, que pueden llevar a una mala interpretación o errores de construcción de dicho elemento

- se evaluó la condición de diseño de todos los elementos en particular y finalmente, se determinó la aprobación o rechazo del proyecto estructural en general

La metodología empleada se muestra en las siguientes figuras:

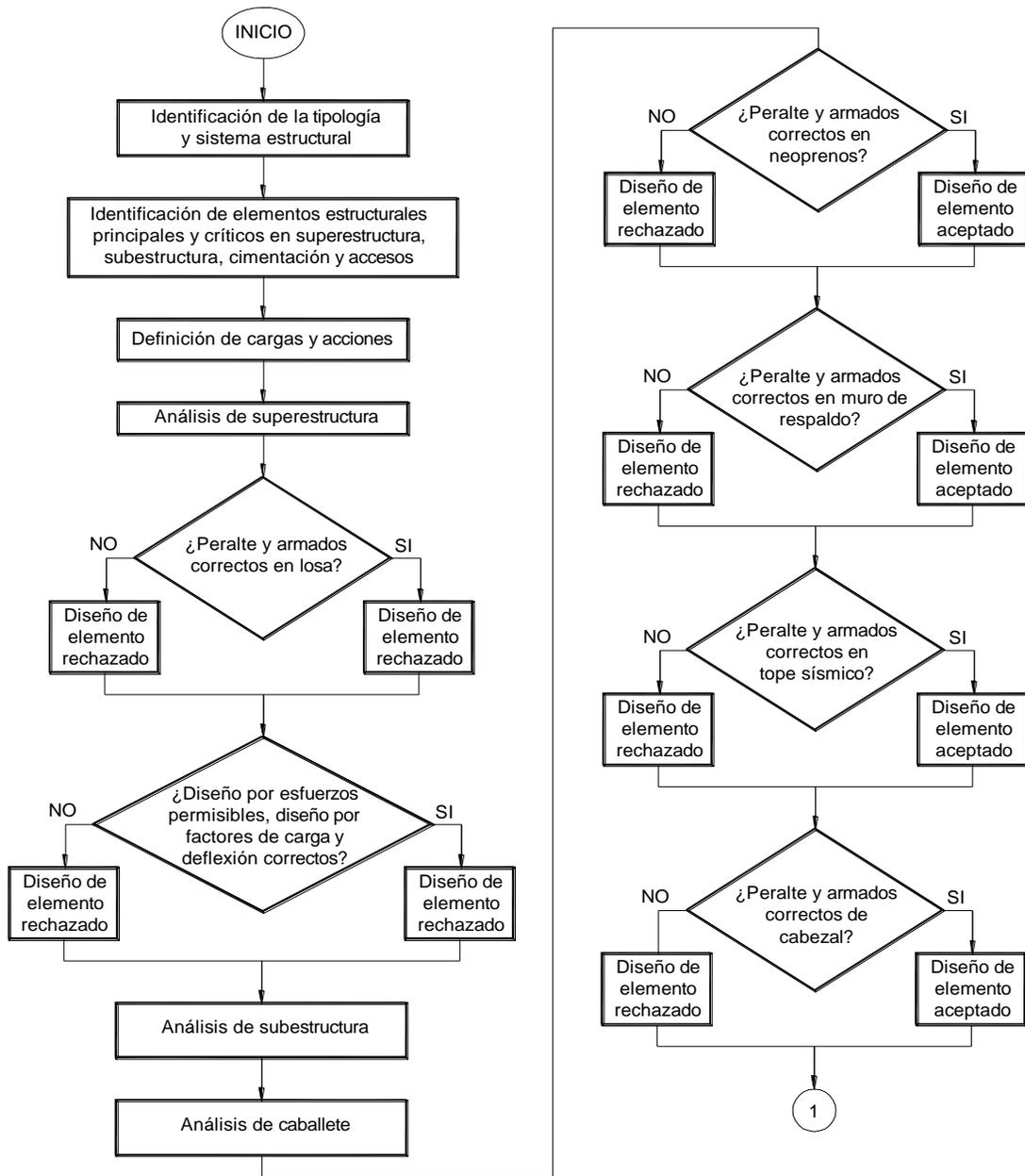


Figura 1. Diagrama de flujo para análisis y revisión de P.S.V. (1 de 2).

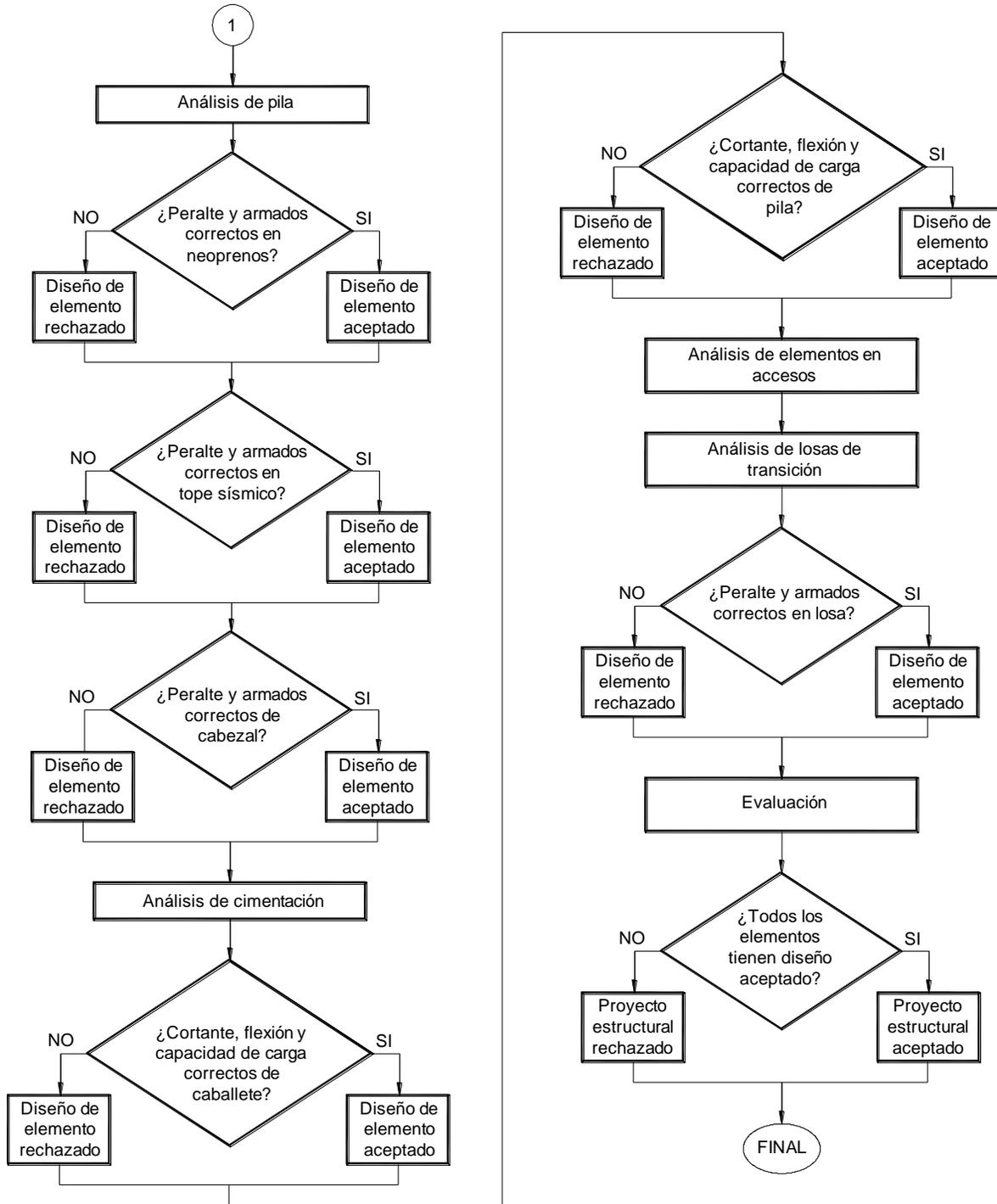


Figura 2. Diagrama de flujo para análisis y revisión de P.S.V. (2 de 2).

2. CASO DE ESTUDIO: REVISIÓN DE PSV, TLALNEPANTLA DE BAZ, ESTADO DE MÉXICO

2.1. Información recabada

La documentación recibida se conformó por los siguientes archivos:

- Estudios:
 - Ingeniería de tránsito (Resumen)
 - Mecánica de suelos (Resumen)
- 17 planos de Proyecto Ejecutivo en archivo electrónico, los cuales se enlistan a continuación:
 - E-PJ-01 Plano General PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-02 Losa Tipo 1 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-03 Losa Tipo 2 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-04 Trabe Tipo 1 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-05 Trabe Tipo 2 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-06 Trabe Tipo 3 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-07 Apoyo Tipo 1 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-08 Apoyo Tipo 2 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-09 Apoyo Tipo 3 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-10 Apoyo Tipo 4 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-11 Apoyo Tipo 5 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-12 Apoyo Tipo 6 PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-13 Caballete Tipo 1_PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-14 Caballete Tipo 2_PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-15 Losa de Acceso PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-16 Parapeto PJ_2c_Mod.3
 - E-PJ-17 Notas y Detalles PJ_2c_Mod.3

Cabe mencionar que no se descartó ningún documento de los mencionados anteriormente, ya que proporcionaron información para la obtención de parámetros o lineamientos de diseño, al no contar con los Términos de Referencia del proyecto.

2.2 Descripción del caso de estudio

El proyecto analizado es un paso superior vehicular que se ubica en la Av. Presidente Juárez y el Blvd. Abraham Lincoln, en el municipio de Tlalnepantla, Estado de México.

Se proyecta para 2 carriles de circulación de 3.50m de ancho con guarnición, parapeto y banqueta de 0.70m en cada extremo, dando un total de 8.40m de ancho total.

La estructura se conforma por 7 claros para una longitud total de 197.59m. Las características geométricas de los claros se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Geometría de claros de estructura.

Claro	Ejes	Longitud de claro (m)	Kilometro inicial	Kilometro final
1	1 - 2	26.67	100+168.074	100+194.744
2	2 - 3	27.05	100+194.744	100+221.794
3	3 - 4	27.05	100+221.794	100+248.844
4	4 - 5	27.05	100+248.844	100+275.894
5	5 - 6	36.05	100+275.894	100+311.944
6	6 - 7	27.05	100+311.944	100+338.994
7	7 - 8	26.67	100+338.994	100+365.664

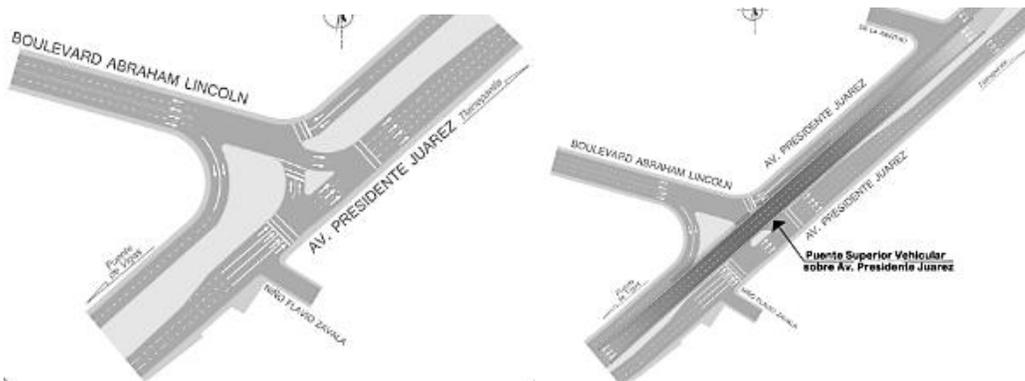


Figura 3. Vista en planta de adecuaciones geométricas a nivel y a nivel de estructura.

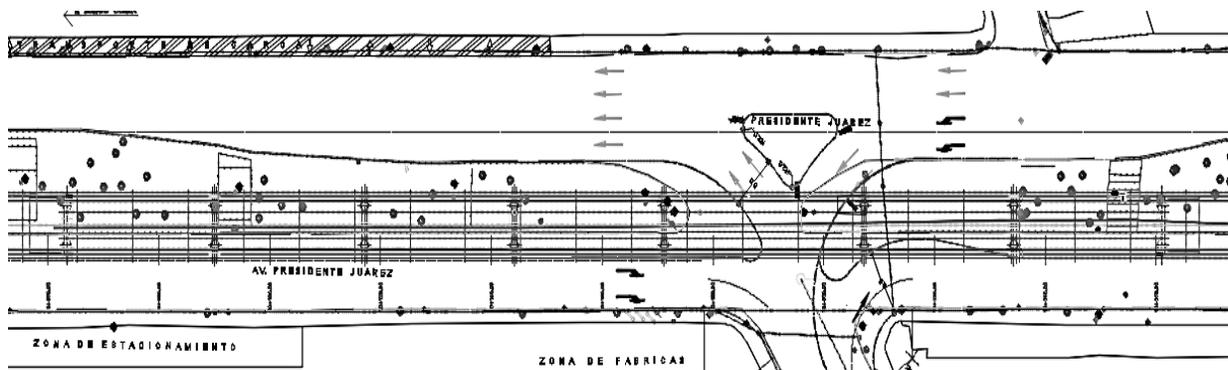


Figura 4. Planta general de estructura.

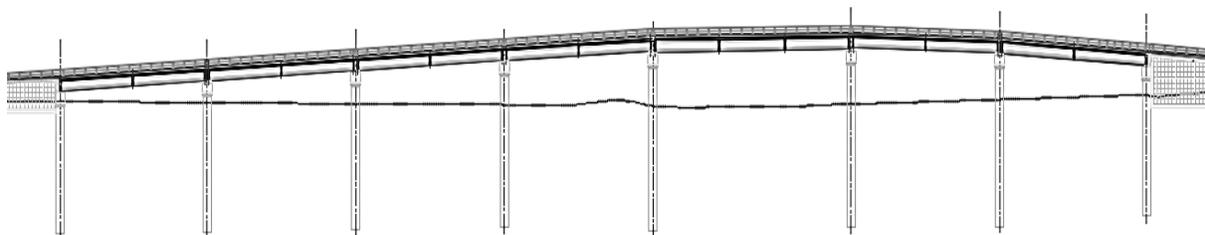


Figura 5. Elevación de estructura.

Superestructura

La superestructura de cada claro está constituido por un sistema de piso conformado por una losa de concreto reforzado de 250 kg/cm^2 y por el elemento portante conformado por traveses AASHTO de 450 kg/cm^2 separadas a distancias de 1.55m y 1.80m, rigidizadas por dos diafragmas extremos y uno intermedio.

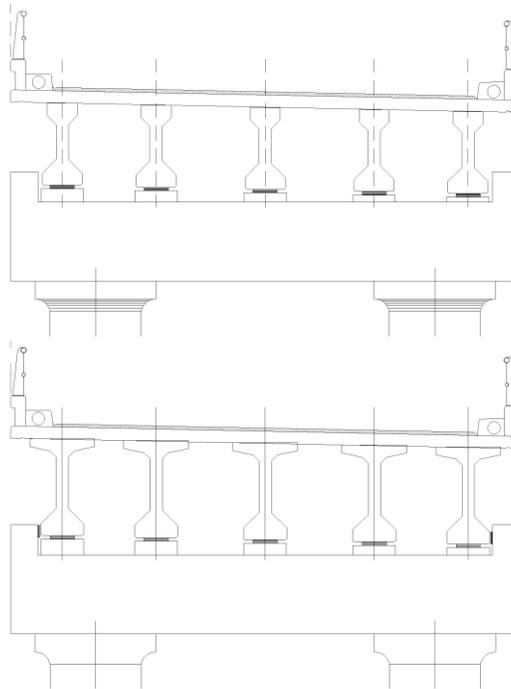


Figura 6. Configuraciones de superestructura empleadas en proyecto.

Las características geométricas de la superestructura se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Geometría de superestructura.

Claro	Ejes	Identificación de losa en plano	Longitud de losa	Identificación de trabe en plano	Tipo de trabe AASHTO	Longitud de trabe
1	1 - 2	Losa tipo 1	27m	Trabe tipo 1	IV	27m
2	2 - 3	Losa tipo 1	27m	Trabe tipo 1	IV	27m
3	3 - 4	Losa tipo 1	27m	Trabe tipo 1	IV	27m
4	4 - 5	Losa tipo 1	27m	Trabe tipo 1	IV	27m
5	5 - 6	Losa tipo 2	36m	Trabe tipo 2	V	36m
6	6 - 7	Losa tipo 1	27m	Trabe tipo 3	IV	27m
7	7 - 8	Losa tipo 1	27m	Trabe tipo 3	IV	27m

Subestructura - Infraestructura

La subestructura está conformada por 8 apoyos: 2 caballetes y 6 pilas. Cada apoyo cuenta con un cabezal de concreto precolado de $1.3\text{m} \times 1.8\text{m} \times 8.40\text{m}$ que descansa sobre 2 pila-columnas de concreto. Además, cada apoyo tiene topes sísmicos laterales, bancos y apoyos de neopreno integral; el caballete cuenta con muro de respaldo y ménsula.

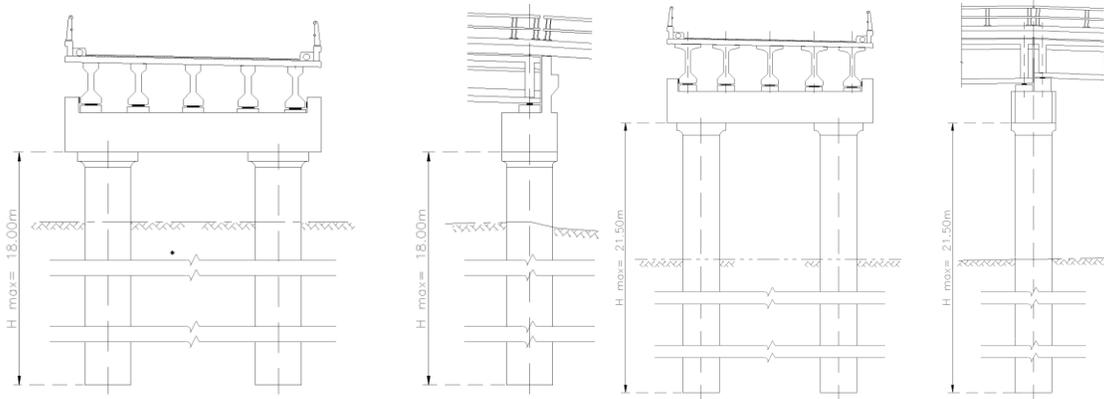


Figura 7. Configuraciones de subestructura e infraestructura empleadas en proyecto.

La infraestructura está conformada por 2 pila-columnas de concreto de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ de 1.50m de diámetro cada una, separadas a 5.6m entre ejes de las mismas; sus características geométricas se muestran a continuación:

Tabla 4. Geometría de pilas en infraestructura.

Identificación de elemento por parte de revisor	Eje (de acuerdo a proyecto)	Identificación de elemento en plano	Nivel de lecho superior de cabezal (m)	Nivel de lecho inferior de cabezal (m)	Nivel de desplante de pila (m)	Longitud de pila-columna (m)	Nivel de terreno natural (m)	Altura libre (m)
Apoyo 1	1	Caballote tipo 1	2269,608	2268,308	2251,308	17,000	2269,517	-1,21
Apoyo 2	2	Apoyo tipo 1	2270,922	2269,622	2251,622	18,000	2269,354	0,27
Apoyo 3	3	Apoyo tipo 2	2272,255	2270,955	2251,955	19,000	2269,204	1,75
Apoyo 4	4	Apoyo tipo 3	2273,589	2272,289	2252,289	20,000	2269,095	3,19
Apoyo 5	5	Apoyo tipo 4	2274,567	2273,267	2251,767	21,500	2268,909	4,36
Apoyo 6	6	Apoyo tipo 5	2275,019	2273,719	2252,219	21,500	2269,162	4,56
Apoyo 7	7	Apoyo tipo 6	2274,554	2273,254	2251,754	21,500	2269,756	3,50
Apoyo 8	8	Caballote tipo 2	2272,960	2271,660	2253,660	18,000	2270,381	1,28

En los accesos, se tienen rampas a la entrada y a la salida propuestos con muros mecánicamente estabilizados. Así mismo, se tienen losas de transición de concreto armado de 6.00 m de longitud, 7.56 m de ancho y 0.35m de espesor.

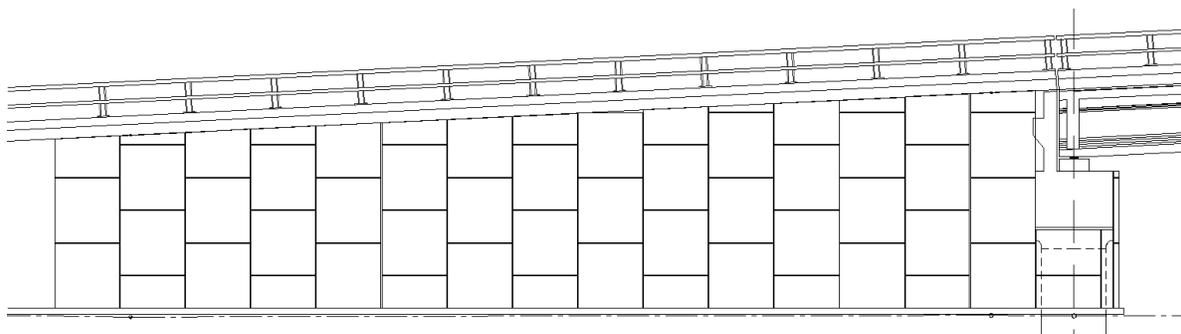


Figura 8. Vista de elevación de accesos de proyecto.

2.3. Parámetros de diseño

Una vez definido la tipología, el sistema estructural y los materiales involucrados en el proyecto, se definió la normativa a emplear para la revisión. De acuerdo a la revisión de los documentos entregados por el cliente, se determinaron los siguientes parámetros de diseño, ya que no se contó con el documento Términos de Referencia.

Proyecto geométrico

De acuerdo con el estudio de Ingeniería de Tránsito, se considera el camino como “tipo B”, sin embargo, por la ubicación de esta estructura, en una vialidad primaria, en zona industrializada, se le asignó una clasificación **tipo A**.

Cargas de diseño

Se consideraron las cargas y combinaciones de carga establecidas en la Normativa de la SCT.

Cargas vehiculares: considerando el camino como tipo A y teniendo como vehículo de proyecto el T3-S2-R4, se utilizó como su equivalente el vehículo virtual IMT 66.5 de 3 ejes con carga uniformemente distribuida para claros mayores de 30m e IMT 66.5 de 6 ejes para claros menores a 30m, de acuerdo a la norma N-PRY-CAR-6-01-003/01.

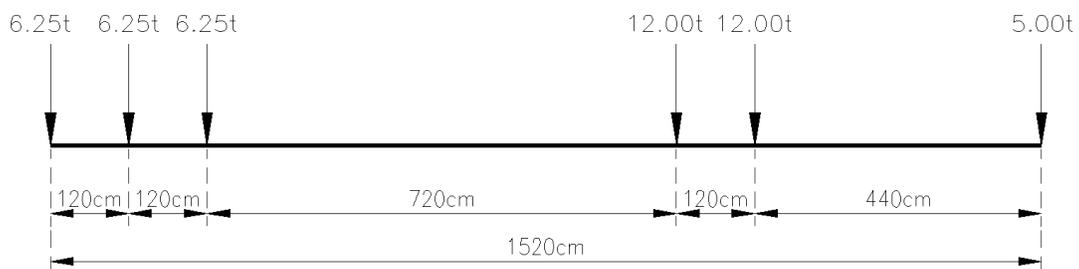


Figura 9. Carga vehicular virtual IMT 66.5 de 6 ejes.

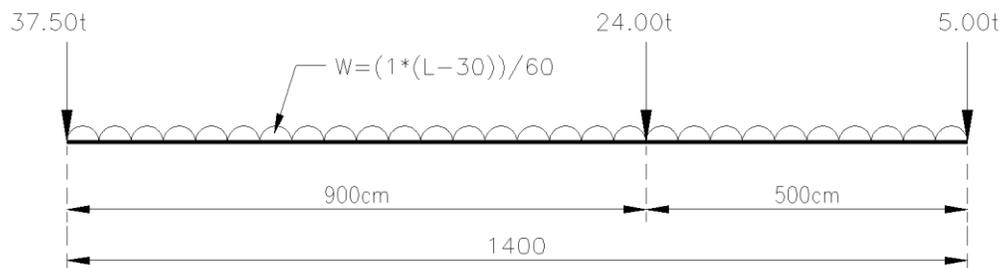


Figura 10. Carga vehicular virtual IMT 66.5 de 3 ejes con carga uniformemente distribuida.

Sismo: el proyecto, con ubicación en el estado de México, tuvo la siguiente regionalización sísmica (figura 11) de acuerdo a la norma N-PRY-CAR-6-01-005/01: Zona E, suelo tipo II, por lo que se tuvo una ordenada máxima $c= 0.32$, ordenada al origen $a_0= 0.08$, periodos de vibración máxima y mínima de 1.5s y 0.3s respectivamente y exponente adimensional $r= 2/3$.

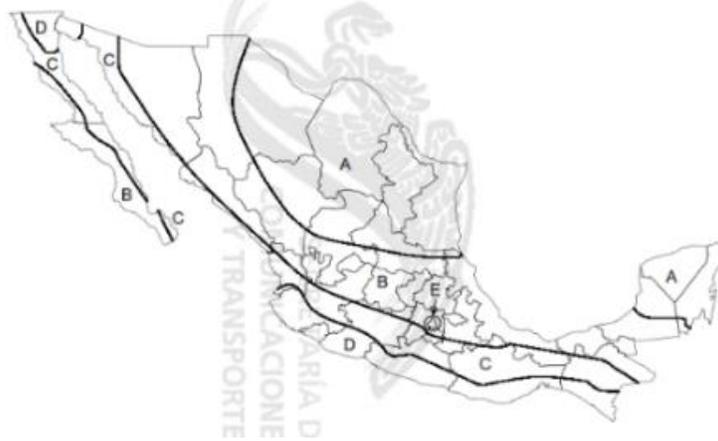


Figura 11. Regionalización sísmica de la Republica Mexicana.

Estudio geotécnico

Para el análisis de la infraestructura, se tomó en cuenta los datos establecidos en el informe de mecánica de suelos. Para una pila con desplante de 16m con un diámetro de 1.50m con una capacidad admisible “Q” de 1009 t.

Se utilizaron los módulos de reacción indicados en el mismo estudio, los cuales fueron ingresados al programa de análisis para la obtención de los elementos mecánicos en las pilas de apoyo.

Tabla 5. Módulos de rigidez empleados en modelo de análisis.

Prof. (m)	Kx y Ky(t/cm)	Kz(t/cm)
0	1	
-1	8	
-2	63	
-3	106	
-4	226	
-5	589	
-6	9980	
-7	1666	
-8	2051	
-9	1195	
-10	504	
-11	553	
-12	584	
-13	18600	
-14	335000	
-15	846000	
-16	846000	272000

3. Conclusiones de la revisión estructural

3.1. Superestructura

Losa de concreto

Se identificaron dos losas tipo para los 7 tramos: una losa con una longitud de 27 (losa tipo 1) y la otra de 36 m (losa tipo 2), observándose que se tiene el mismo armado en las dos losas tipo, por lo que se analizó, la más crítica, que fue la losa de 27 m, ya que tuvo el claro efectivo mayor, debido a que el patín superior de la trabe AASHTO tipo IV fue menor a la de la trabe AASHTO tipo V como se muestra en la figura 12:

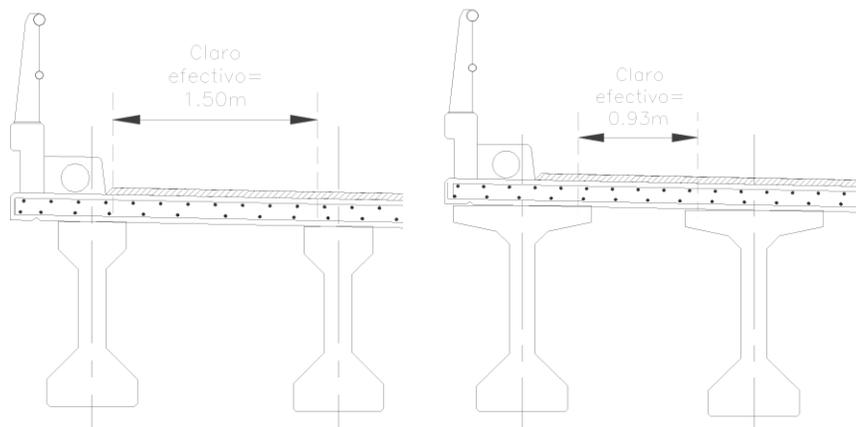


Figura 12. Claro efectivo de trabe AASHTO tipo IV (izquierda) y trabe AASHTO tipo V (derecha).

A continuación se presenta la revisión de armados y geometría de la losa:

Tabla 6. Revisión de losa de proyecto.

Ubicac.	Tipo de Refuerzo	Datos de planos	¿Cumple con la revisión?
Intermed.	Acero principal	Vars. del no. 4 @ 20 cm	OK
	Acero por distribución	Vars. del no. 4 @ 25 cm	OK
	Acero por contracción y temperatura	Vars. del no. 4 @ 20 cm	OK
Volado	Acero principal	Vars. del no. 4 @ 20 cm	OK
	Espesor	20 cm	OK

Conclusión de revisión de losas: el diseño es aceptado.

Tabla 7. Revisión de trabe AASHTO tipo IV de 27.00m.

Tipo de refuerzo	Datos de planos	¿Cumple con la revisión?	Observación
Acero por cortante	# 4 @ 10 cm de 0 a 165 cm	OK	---
	# 4 @ 15 cm de 165 a 465 cm	OK	---
	# 4 @ 20 cm de 465 a 865 cm	OK	---
	# 4 @ 25 cm de 865 a 1315 cm	OK	---
Acero por presfuerzo	12 torones adherid. en toda su longitud	NO	Enductar mas torones
	6 torones adherid. a 0,85 m	NO	Enductar mas torones
	6 torones adherid. a 2,35 m	NO	Enductar mas torones
	4 torones adherid. a 5,00 m	OK	---
	6 torones adherid. a 7,65 m	OK	---
	34 torones en total	OK	---
Acero principal	6 vars. del no. 3	OK	---
Acero en patin sup	4 vars. del no. 3	OK	---
Acero en alma	6 vars. del no. 3	OK	---

Conclusión de revisión de trabe IV de 27m: el diseño es rechazado.

Observación: con respecto al diseño por factores de carga, la separación de los estribos cumplió a cortante. El acero de refuerzo y presfuerzo cumplieron a flexión. Por otro lado, la deflexión de dicho elemento se encontró dentro de los valores permisibles al obtenerse una contraflecha. Sin embargo, con respecto al diseño por esfuerzos admisibles, los 12 torones sin encamisar en toda la longitud de la trabe, generan esfuerzos en la fibra superior que sobrepasan los permisibles en la transferencia, localizada de 0 a 4m a partir del eje de apoyo. No se especifica si la longitud de enductados (en los planos correspondientes de trabes) incluye las culatas

Revisión de Trabe AASHTO tipo V de 36m

Las características de dicha trabe se muestran a continuación:

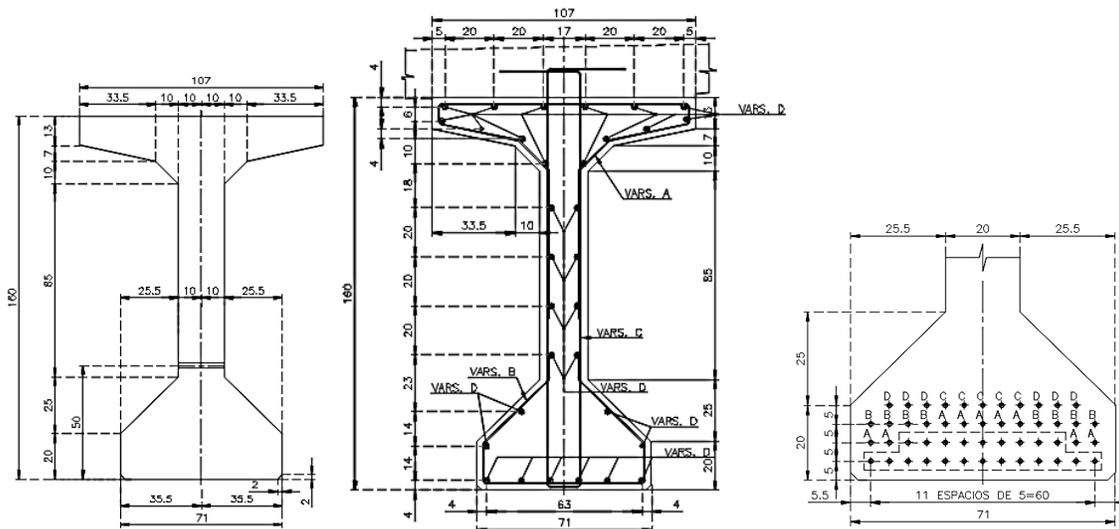


Figura 14. Dimensiones y armado de trabe AASHTO tipo V de 36.00 m.

A continuación, se muestra la revisión de armados para la trabe tipo V de 36m:

Tabla 8. Revisión de trabe AASHTO tipo V de 36.00m.

Tipo de refuerzo	Datos de planos	¿Cumple con la revisión?	Observación
Acero por cortante	# 4 @ 10 cm de 0 a 285 cm	OK	---
	# 4 @ 15 cm de 285 a 645 cm	OK	---
	# 4 @ 20 cm de 645 a 965 cm	OK	---
	# 4 @ 25 cm de 965 a 1765 cm	OK	---
Acero por presfuerzo	22 torones adherid. en toda su longitud	NO	Enductar mas torones
	9 torones adherid. a 3,35 m	NO	Enductar mas torones
	8 torones adherid. a 5,00 m	NO	Enductar mas torones
	5 torones adherid. a 6,80 m	OK	---
	6 torones adherid. a 10,35 m	OK	Aumentar mas torones
	50 torones en total	NO	Aumentar mas torones
Acero principal	6 vars. del no. 3	OK	---
Acero en patin sup	6 vars. del no. 3	OK	---
Acero en alma	8 vars. del no. 3	OK	---

Conclusión de revisión de trabe V de 36m: el diseño es rechazado.

Observación: con respecto al diseño por factores de carga, la separación de los estribos cumplió a cortante. El acero de refuerzo y presfuerzo cumplen a flexión. Por otro lado, la deflexión de dicho elemento se encontró dentro de los valores permisibles al obtenerse una contraflecha. Sin embargo, con respecto al diseño por esfuerzos admisibles, los 22 torones sin encamisar en toda la longitud de la trabe, generan esfuerzos que sobrepasan a los permisibles en la transferencia en la fibra superior localizado de 0 a 2m a partir del eje de apoyo; Además, se recomienda un mayor número de torones, ya que no cumple con los esfuerzos permisibles en la fibra inferior en el centro del claro. No se especifica si la longitud de enductados (en los planos correspondientes de trabes) incluye las culatas

3.2 Subestructura

De acuerdo a la norma N-PRY-CAR-6-01-003/01, la estructura se clasifica como estructura **tipo 1s**. La clasificación por importancia A y su comportamiento sísmico 1s, por ello se aplica el factor de importancia y el método simplificado para análisis sísmico.

Con los parámetros dados anteriormente, se obtuvo el espectro de diseño, que sirvió para la obtención de fuerzas para las combinaciones de grupos correspondientes.

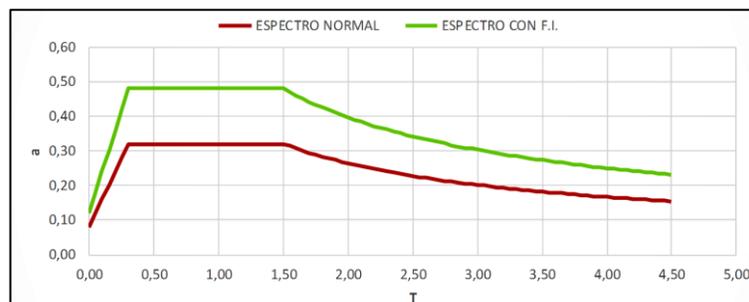


Figura 15. Espectro sísmico empleada en diseño.

Se detectaron armados iguales en los cabezales de apoyos extremos y en los cabezales de apoyos intermedios. Por ello, se analizó el cabezal del apoyo extremo (apoyo no. 8, “caballete”) e intermedio (apoyo no. 6, “pila”) que se consideraron como críticos por su longitud de pila-columna, altura libre y descarga de pesos de la superestructura.

Apoyo extremo

Neoprenos

A continuación, se muestran las dimensiones y características presentadas en proyecto:

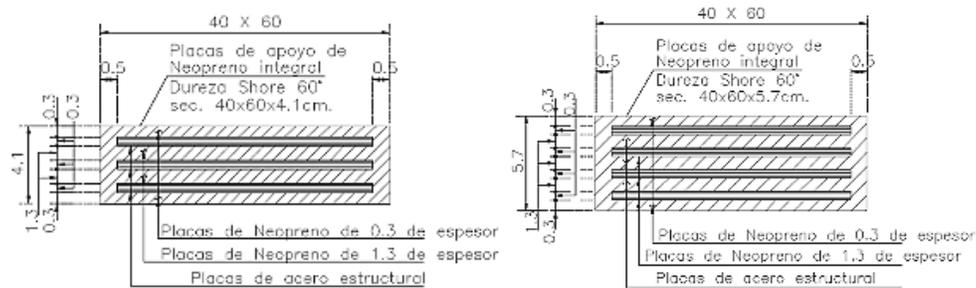


Figura 16. Dimensiones y características del apoyo integrales de neopreno fijo (izquierda) y móvil (derecha) en apoyo extremo.

A continuación, se muestra la revisión de características de los apoyos integrales de neopreno:

Tabla 9. Revisión de apoyos de neopreno en apoyo extremo.

	Tipo de apoyo	Dureza shore	L (cm)	W (cm)	Altura total del neop. (cm)	Esfuerzo de compres.	Deflexión de compres.	Compres. y rotación combin.	Estabilidad	Refuerzo
Datos de planos	Fijo	60	40	20	4,10	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	Móvil	60	40	20	5,70	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Conclusión de revisión de apoyo integral de neopreno: el diseño es aceptado.

Topes sísmicos

A continuación, se muestra las dimensiones y características presentadas en proyecto:

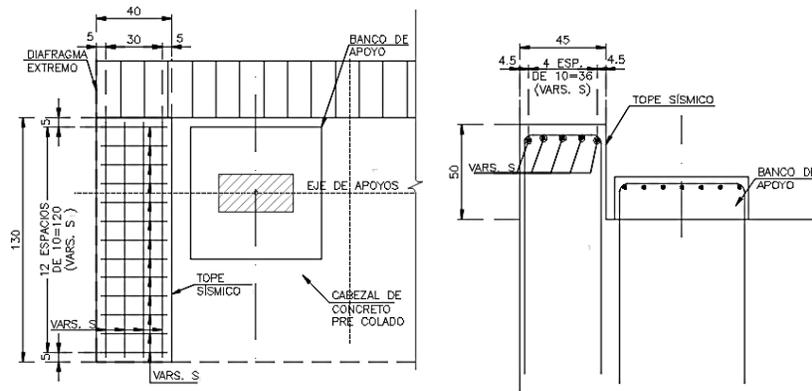


Figura 17. Dimensiones y armado de tope sísmico en apoyo extremo.

A continuación, se muestra la revisión de los armados de los topes sísmicos:

Tabla 10. Revisión de tope sísmico en apoyo extremo.

	Acero principal	Acero complementario para estribos	Acero para estribos	Acero para barra de anclaje	Dimensiones b x h (cm)
Datos de plano	Vars. del no. 5 @ 10 cm	Vars. del no. 5 @ 10 cm	Vars. del no. 5 @ 10 cm	Vars. del no. 5	45 x 50
¿Cumple con la revisión?	OK	OK	OK	OK	OK

Conclusión de revisión de topes sísmicos: el diseño es aceptado.

Muro de respaldo

A continuación, se muestra las dimensiones y características presentadas en proyecto:

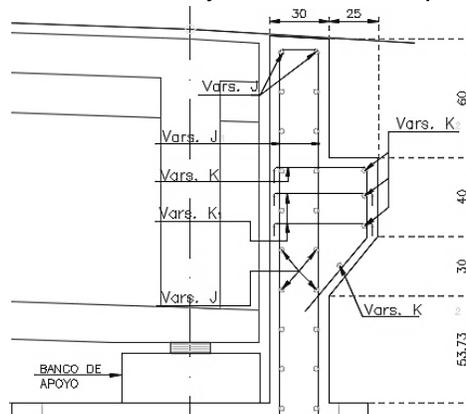


Figura 18. Dimensiones y armado de muro de respaldo en apoyo extremo.

A continuación, se menciona la revisión de las dimensiones y armados del muro de respaldo:

Tabla 11. Revisión de muro de respaldo en apoyo extremo.

	Espesor de muro	Acero principal	Acero por contr. y temp.
Datos de plano	30 cm	Vars. del no. 4 @ 20 cm	Vars. del no. 4 @ 20 cm
¿Cumple con la revisión?	OK	OK	OK

Conclusión de revisión de muro de respaldo: el diseño es aceptado.

Cabezal

A continuación, se muestra las dimensiones y características presentadas en proyecto:

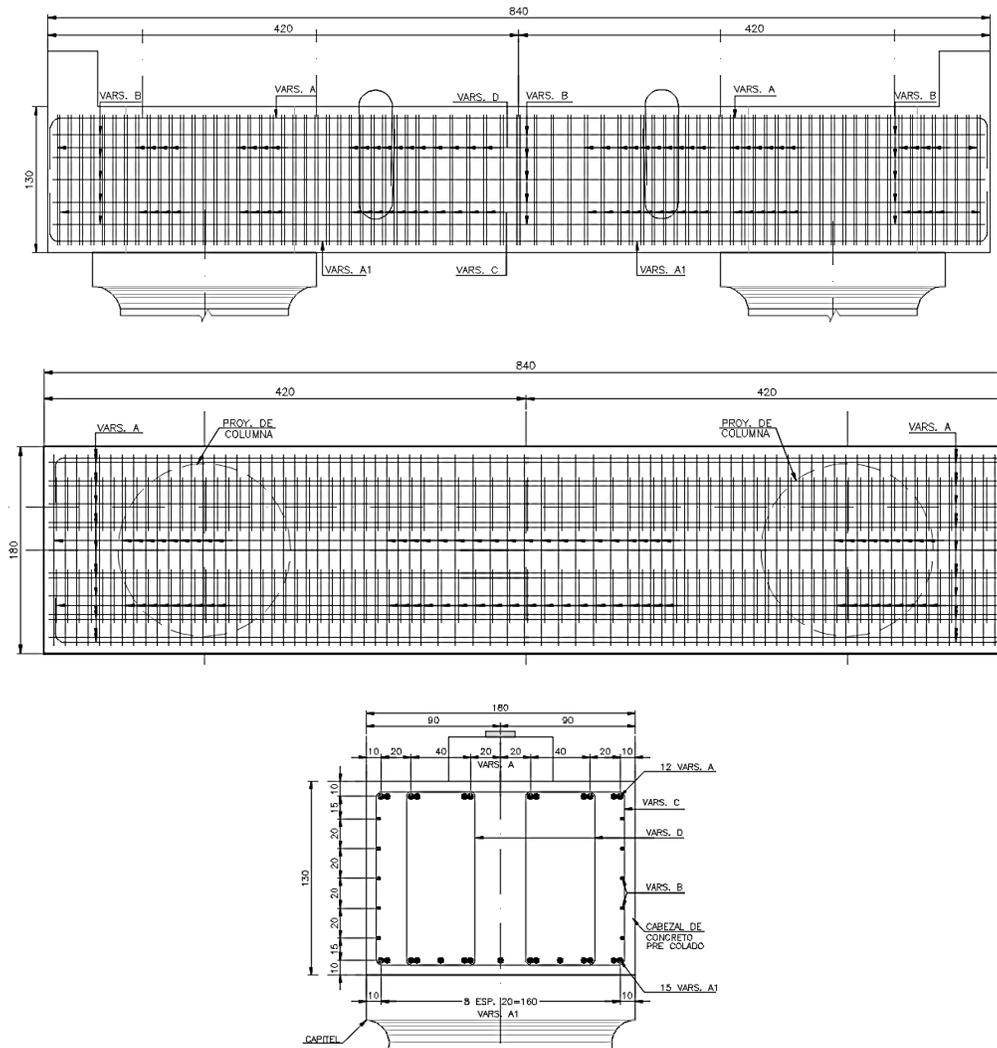


Figura 19. Dimensiones y armado de cabezal en apoyo extremo.

A continuación, se muestra la revisión del armado de cabezal establecido en el proyecto ejecutivo:

Tabla 12. Revisión de armados de cabezal de apoyo extremo.

	Dimensiones b x h (cm)	Acero en principal en lecho superior	Acero en principal en lecho superior	Acero en alma	Acero por cortante (estribos)
Datos de plano	180 x 130	15 vars. del No. 8	12 vars. del No. 10	5 vars. del No. 6 x 2 lados	6 ramas de # 4 @ 10 cm de 0 a 330 cm 6 ramas de # 4 @ 15 cm de 330 a 510 cm 6 ramas de # 4 @ 10 cm de 510 a 840 cm
¿Cumple con la revisión?	OK	OK	OK	OK	OK

Conclusión de revisión de cabezal: el diseño es aceptado.

Apoyo intermedio

Neoprenos

Se identificaron las mismas características geométricas de los neoprenos proyectadas en el apoyo extremo, por lo que a continuación, se presenta la revisión de los apoyos integrales de neoprenos:

Tabla 13. Revisión de apoyos de neopreno en apoyo intermedio.

	Tipo de apoyo	Dureza shore	L (cm)	W (cm)	Altura total del neop. (cm)	Esfuerzo de compres.	Deflexión de compres.	Compres. y rotación combin.	Estabilidad	Refuerzo
Datos de planos	Fijo	60	40	20	4,10	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	Móvil	60	40	20	5,70	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Conclusión de revisión de apoyo integral de neopreno: el diseño es rechazado.

Observación: Se debe aumentar las dimensiones de los neoprenos que se emplean para el apoyo fijo y móvil.

Topes sísmicos

A continuación, se muestra las dimensiones y características presentadas en proyecto:

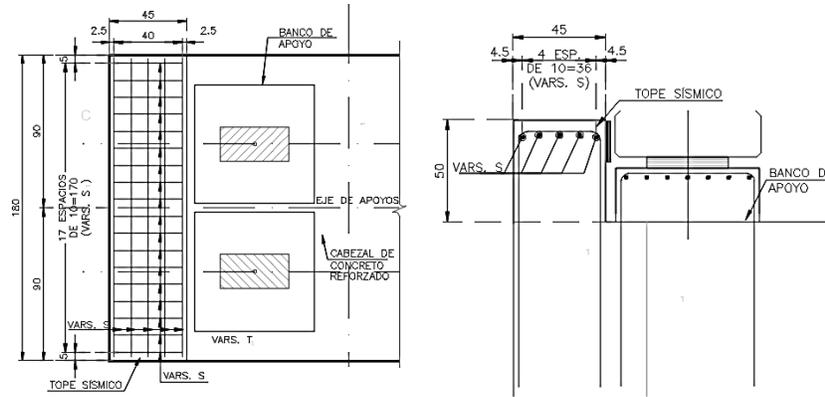


Figura 20. Dimensiones y armado de tope sísmico en apoyo intermedio.

A continuación, se muestra la revisión de los armados de los topes sísmicos:

Tabla 14. Revisión de tope sísmico en apoyo intermedio.

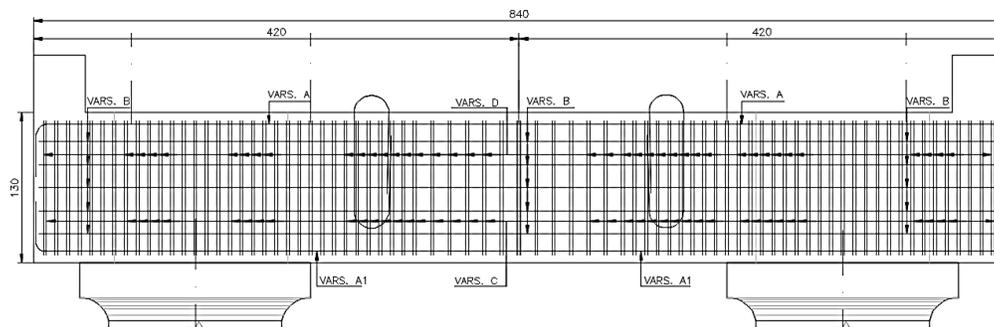
	Acero principal	Acero complementario para estribos	Acero para estribos	Acero para barra de anclaje	Dimensiones b x h (cm)
Datos de plano	Vars. del no. 5 @ 10 cm	Vars. del no. 5 @ 10 cm	Vars. del no. 5 @ 10 cm	Vars. del no. 5	45 x 50
¿Cumple con la revisión?	OK	OK	OK	OK	OK

Conclusión de revisión de topes sísmicos: el diseño es aceptado.

Observación: hay discrepancia en las dimensiones de topes sísmicos (“Tope sísmico y bancos de apoyo” en plano E-PJ-13)

Cabezal

A continuación, se muestra las dimensiones y características presentadas en proyecto:



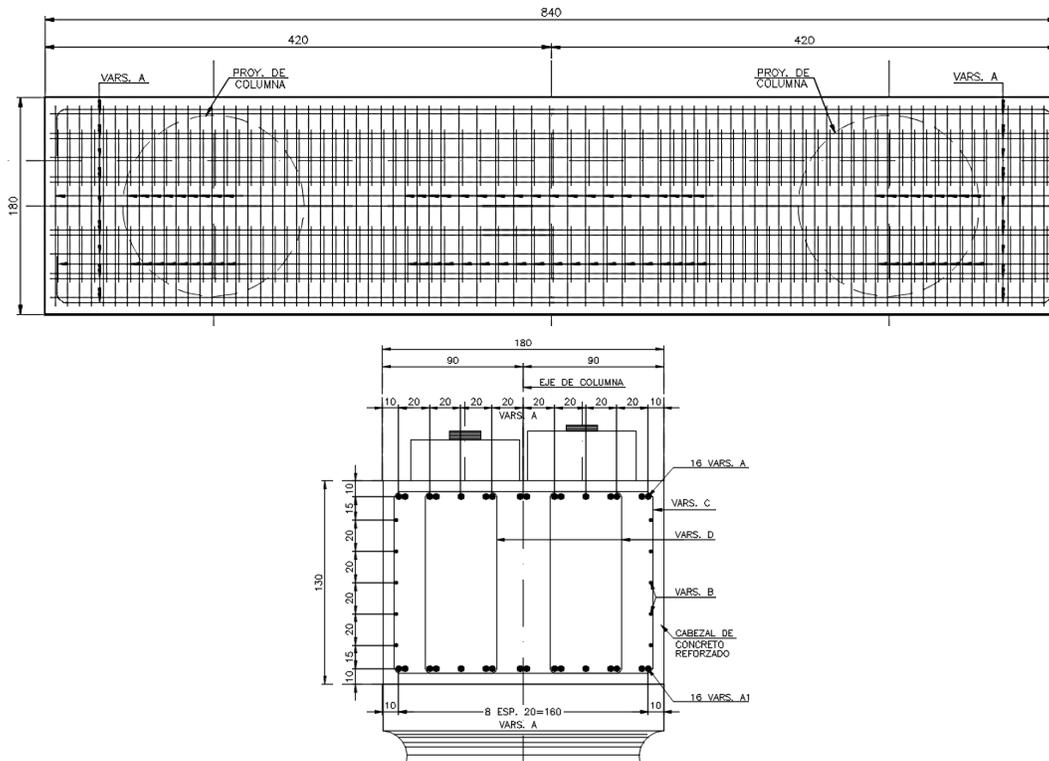


Figura 21. Dimensiones y armado de cabezal en apoyo intermedio.

A continuación, se muestra la revisión del armado de cabezal establecido en el proyecto ejecutivo:

Tabla 15. Revisión de cabezal en apoyo intermedio.

	Dimensiones b x h (cm)	Acero en principal en lecho superior	Acero en principal en lecho inferior	Acero en alma	Acero por cortante (estribos)
Datos de plano	180 x 130	16 vars. del No. 8	16 vars. del No. 10	5 vars. del No. 6 x 2 lados	6 ramas de # 4 @ 10 cm de 0 a 330 cm 6 ramas de # 4 @ 15 cm de 330 a 510 cm 6 ramas de # 4 @ 10 cm de 510 a 840 cm
¿Cumple con la revisión?	OK	OK	OK	OK	OK

Conclusión de revisión de cabezal: el diseño es aceptado.

3.3 Infraestructura

En este apartado, se analizaron las pila-columna del apoyo no. 6 y 8 (apoyo intermedio y apoyo extremo respectivamente), considerando la longitud de la misma, su altura libre y la descarga proveniente de la superestructura.

Apoyo extremo

A continuación, se muestran las dimensiones y armado de la pila-columna:

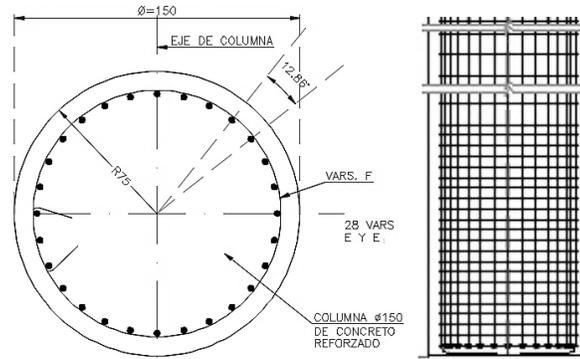


Figura 22. Dimensiones y armado de pila-columna en apoyo extremo.

En la tabla siguiente, se muestra la revisión del elemento:

Tabla 16. Revisión de pila-columna en apoyo extremo.

	Acero por flexión	Acero por cortante (estribos)	Dimensiones
Datos de plano	28 # 10	# 4 @ 10 cm de 0 a 220 cm # 4 @ 15 cm de 220 a 1040 cm # 4 @ 10 cm de 1040 a 1800 cm	$\phi = 1.50$ m
¿Cumple con la revisión?	OK	OK	OK

Conclusión de revisión de pila-columna: el diseño es aceptado.

Observación: Revisar el plano “E-PJ-14 Caballete Tipo 2_PJ_2c_Mod.3”, ya que se indica un número mayor de varillas por flexión en la tabla de cuantificaciones que las indicadas en el gráfico “CORTE B-B”.

Apoyo intermedio

El armado a flexión de ésta fue igual a la que se presentó en el apoyo extremo, como se observa en la siguiente figura:

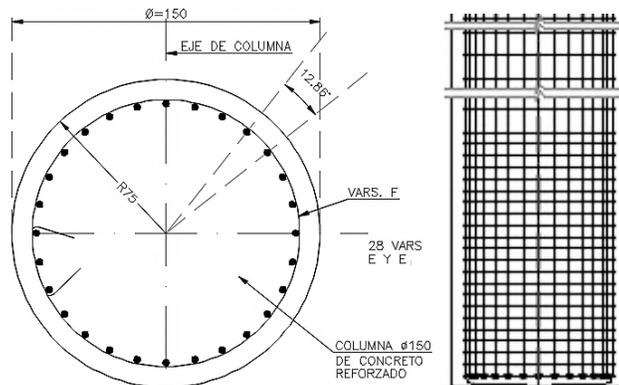


Figura 23. Dimensiones y armado de pila-columna en apoyo intermedio.

A continuación, se muestra la revisión del elemento:

Tabla 17. Revisión de pila-columna en apoyo intermedio.

	Acero por flexión	Acero por cortante (estribos)	Dimensiones
Datos de plano	28 # 10	# 4 @ 10 cm de 0 a 430 cm # 4 @ 20 cm de 430 a 1390 cm # 4 @ 10 cm de 1390 a 1900 cm # 4 @ 15 cm de 1900 a 2005 cm # 4 @ 15 cm de 2005 a 2150 cm	$\phi = 1.50$ m
¿Cumple con la revisión?	NO	OK	OK

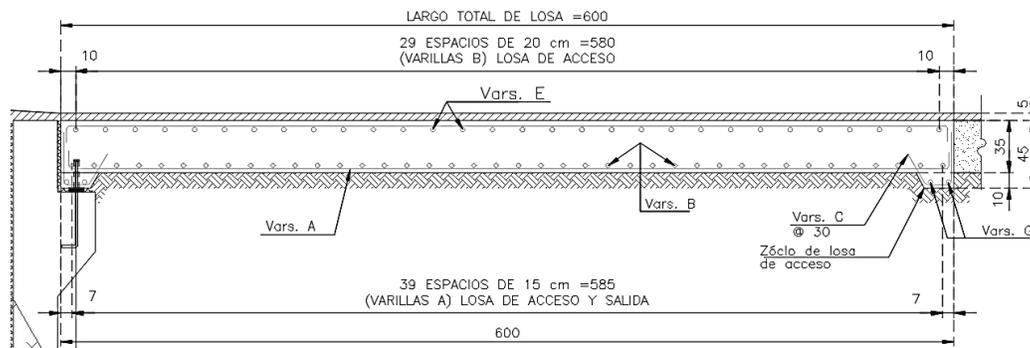
Conclusión de revisión de pila-columna de apoyo intermedio: el diseño es rechazado.

Observación: se obtuvieron momentos críticos en una dirección, por lo que se debe aumentar el número de varillas o modificar la geometría de la pila, sin dejar de considerar las cuantías máxima y mínima (8% y 1% respectivamente).

Además, se debe revisar el plano "E-PJ-12 Apoyo Tipo 6 PJ_2c_Mod.3", ya que se indica un número distinto de varillas por flexión en la tabla de cuantificaciones que las indicadas en el gráfico "CORTE B-B".

3.4 Accesos

La dimensión y el armado de la losa de entrada fueron idénticas a la del acceso de salida. Dichas características se presentan a continuación:



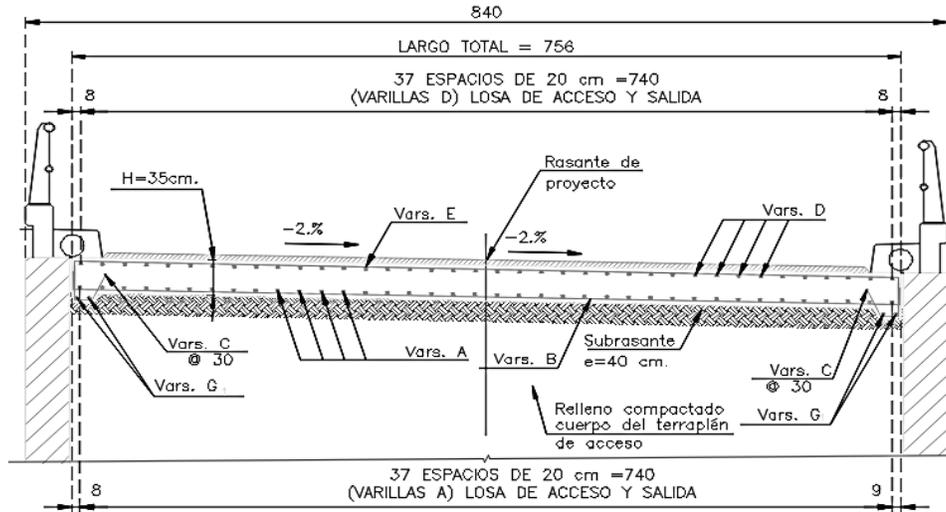


Figura 24. Dimensiones y características de losa de acceso.

A continuación, se muestra la revisión de los armados en el elemento:

Tabla 18. Revisión de armados de losa de acceso.

Ubicac.	Tipo de Refuerzo	Datos de planos	¿Cumple con la revisión?	Observación
Parrilla inferior	Acero principal	Vars. del no. 6 @ 20 cm	OK	---
	Acero transversal	Vars. del no. 4 @ 15 cm	OK	---
Parrilla superior	Acero principal	Vars. del no. 4 @ 20 cm	OK	---
	Acero transversal	Vars. del no. 4 @ 20 cm	OK	---
	Espesor	35 cm	OK	---

Conclusión de revisión de losa de acceso: el diseño es aceptado.

4. Dictamen técnico

A continuación, se presenta el siguiente cuadro, donde se hace el resumen de la condición de diseño de los elementos analizados:

		Elemento	Estado de diseño
Superestructura		Losa de rodamiento	Aceptado
		Trabe AASHTO IV de 27 m	Rechazado
		Trabe AASHTO V de 36 m	Rechazado
Subestructura	Apoyo extremo	Neoprenos	Aceptado
		Banco de apoyo	Aceptado
		Tope sísmico	Aceptado
		Muro de respaldo	Aceptado
	Apoyo intermedio	Cabezal	Aceptado
		Neoprenos	Rechazado
		Banco de apoyo	Aceptado
		Tope sísmico	Aceptado
Infraestructura	Cabezal	Aceptado	
	Pila de apoyo extremo	Aceptado	
Accesos	Pila de apoyo intermedio	Rechazado	
	Losa	Aceptado	

Con el diseño rechazado en particular de las trabes presforzadas, la pila y los neoprenos del apoyo intermedio, en general, el proyecto estructural de estudio se considera **RECHAZADO**.

Comentarios adicionales

Hay incongruencias en dimensiones y términos en los planos, que pueden llevar a una mala interpretación y a errores de construcción, además:

- se debe manejar el término Paso Superior Vehicular en vez del concepto "Puente Superior Vehicular"
- se recomienda realizar el plano de procedimiento constructivo para una correcta ejecución de la obra

Revisor

Ing. Daniel Iván Cobaxín Fermán

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

CONCLUSIONES GENERALES

La ingeniería de puentes y estructuras similares es un ramo del sector carretero de alta importancia, ya que ésta se emplea para diseñar estructuras que permitan la continuidad del flujo vehicular sobre un obstáculo con seguridad y eficiencia.

Cuando se revisa el diseño estructural de un elemento y el revisor encuentra una discrepancia, elabora una nota informativa rechazando o aceptando el diseño sin justificar y/o fundamentar su decisión.

Un documento que podría ayudar a justificar dicho veredicto sería un dictamen, el cual por su naturaleza, tiene una metodología o pasos a seguir para determinar la aceptación o rechazo de un diseño con validez de carácter técnico para la posterior toma de decisiones; sin embargo, en Ingeniería de puentes o estructuras similares, no existe este documento.

En este trabajo, se propuso una metodología para realizar un dictamen técnico, el cual debe entenderse como el documento en donde se presenta un veredicto o juicio por parte del revisor con la finalidad de aprobar, condicionar o rechazar el diseño de la estructura justificando dicha decisión con cálculos o criterios basados en normativas, manuales y especificaciones, para posteriormente servir como una herramienta para toma de decisiones tales como estudiar su pre o factibilidad técnica, realizar su presupuesto, iniciar trabajos de construcción, rediseño del mismo, entre otras acciones.

El revisor de puentes debe tener un amplio conocimiento en el ramo, ya que mientras no exista una metodología de diseño, los proyectistas seguirán aplicando diferentes criterios, los cuales no necesariamente se deben descartar.

En la práctica laboral, la metodología de revisión mostrada en este trabajo puede aplicarse a contratos de tipo "Actualización de proyecto ejecutivo", los cuales tienen como objetivo verificar que un proyecto estructural existente cumpla con la normativa vigente del año en revisión.

Cada puente o estructura similar tiene sus propias particulares hidráulicas, geotécnicas y/o estructurales, por lo que es necesario contar una metodología para de análisis.

En México, es necesario que los proyectistas en puentes y estructuras similares, actualicen sus conocimientos y se especialicen en el ramo; aunque solo un reducido número de instituciones educativas imparten materias relacionadas con el diseño de puentes o pasos vehiculares.

CONCLUSIONES PARTICULARES

La falta de divulgación y poca aplicación de la normativa actual del IMT, conduce a malas interpretaciones como el caso del factor de impacto y el seguir aplicando vehículos de proyecto erróneos.

Se debe tener cuidado de los manuales de diseño o publicaciones de empresas o instituciones, ya que pueden contener errores de traducción de conceptos y/o fórmulas, así como ejemplos con una incorrecta aplicación.

Se debe considerar el procedimiento constructivo, número de etapas constructivas y el proyecto de desvío en caso de requerirse, ya que puede influir considerablemente en las cantidades de material requeridas.

Se recomienda el modelado de estructuras considerando la interacción con el suelo, ya que describen mejor el comportamiento del elemento con el terreno de apoyo, como en el caso de losas de acceso y pilas.

Como herramientas de apoyo en el diseño estructural, puede acudirse a especificaciones que se establecen en el manual de diseño de obras civiles de la CFE, como por ejemplo el análisis por sismo.

Las especificaciones AASHTO emplean fórmulas o lineamientos de diseño de instituciones especializadas como ACI o AWS, ya que éstas, hacen investigaciones y estudios para un correcto funcionamiento del elemento a utilizar en el puente o estructura similar.

Para el diseño por esfuerzos permisibles o por factores de carga, se pueden emplear las especificaciones AASHTO edición 2002. A futuro, se debe promover más el uso de las especificaciones AASHTO LRFD, ya que, además de ser más actualizadas, podrían ofrecer diseños más óptimos o seguros, al tomar en cuenta la variabilidad del comportamiento de los elementos estructurales en base a métodos estadísticos.

Al momento de hacer la revisión de un elemento de concreto, se puede tener acero principalmente por flexión, por cortante, por temperatura y contracción y por armado, por lo que se debe analizar su ubicación que tiene dentro del elemento, para identificar el tipo de acero y funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2018), Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018 2ª edición, México, Dirección General de Servicios Técnicos.
-
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1984), Normas de servicios técnicos Proyecto Geométrico Carreteras, México, Secretaría de Comunicaciones y Transportes
-
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1991), Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018 4ª reimpresión, México, Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes
- American Association of State Highway and Transportation Officials 2002, Standard Specifications for Highway Bridges 17th edition , Washington DC, AASHTO.
- Meli Piralla, Roberto, Diseño estructural, 2ª edición, México, editorial Limusa
- Cuevas y González (2006), Aspectos fundamentales del concreto, 4ª. edición, México, editorial Limusa.
- ANIPPAC, Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas, México, ANNIPAC
- Normativa para la infraestructura del transporte, normativa SCT, Normas para el Proyecto de Nuevos Puentes y Estructuras Similares
- Pacheco Monteagudo Jorge Andrés, 2005. Estudio de la problemática estructural de las losas de transición, interacción terreno-losa, tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Muzás Labad Fernando (2000). Comportamiento y diseño de Losas de Transición. Revista de Obras Públicas, No. 3.397, pág. 51-56.
- Dirección General de Carreteras (1992), Nota de servicio sobre losas de transición en obras de paso, Madrid, Dirección General de Carreteras Tecnología.
- Manual de Inspección de Puentes 2018, DGST, SCT.
- Publicación técnica no. 398, IMT