



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería
Secretaría de Investigación Estudios de Posgrado

**BIM PARA EL DISEÑO Y PLANEACIÓN
DE PUENTES VEHICULARES DE ACERO**

TESIS

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA
CON OPCIÓN TERMINAL EN CONSTRUCCIÓN

Presenta:

ARQ. JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

Asesor de tesis:

M.I. CARLOS BUSTOS MOTA

Puebla, Pue.

Junio 2021



BUAP

Oficio No. SIEP/1048/2021

C. José Manuel Hernández Sánchez

Matrícula 220470052

Pasante de la Maestría en Ingeniería
con opción terminal en Construcción
Facultad de Ingeniería, BUAP.

Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Angel Cecilio Guerrero Zamora, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo con su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema titulado: **BIM para el diseño y planeación de puentes vehiculares de acero**, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Construcción, asignándose como Director al M.I. Carlos Bustos Mota.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Zaragoza, mayo 25 de 2021.

M.I. Angel Cecilio Guerrero Zamora

Director



C.c.p. M.I. Carlos Bustos Mota, director del Tema de Tesis

C.c.p. Archivo

AEPS/CBM/sco*

M.I. Ángel Cecilio Guerrero Zamora

Director de la Facultad de Ingeniería, BUAP

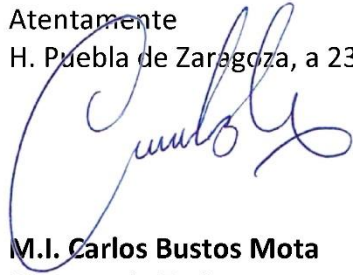
Presente.

El que suscribe, maestro en ingeniería Carlos Bustos Mota, en calidad de Director de la presente Tesis titulada: "BIM PARA EL DISEÑO Y PLANEACIÓN DE PUENTES VEHICULARES DE ACERO", para obtener el Grado de Ingeniería con Opción Terminal en Construcción, que presenta el ingeniero José Manuel Hernández Sánchez; no tengo inconveniente en autorizar la impresión de la Tesis citada, al cumplir con las revisiones necesarias para su terminación.

Lo que hago de su conocimiento para los efectos académicos a que haya lugar y sin más por el momento, me despido de usted.

Atentamente

H. Puebla de Zaragoza, a 23 de mayo de 2022



M.I. Carlos Bustos Mota

Director de Tesis

C.c.p. Interesado

AGRADECIMIENTOS:

“A mis padres, por su apoyo incondicional en el cumplimiento de mis metas. Gracias por ser los mis mejores guías de vida y por creer fervientemente en mis sueños.”

“A mi amigo Fernando Hébert, que me motivo a realizar mis estudios de posgrado y por su ánimo de perseverar el término de este proyecto, me mostraste que los sueños requieren de sacrificios, pero que la recompensa y satisfacción es invaluable.”

“A mi amigo Noe Xochicale, por ser una fuente de inspiración tanto profesional como humana, por sus aportes técnicos, pero más por mostrarme la visión de que siempre se pueden hacer las cosas de mejor manera”

“Al Maestro Carlos Bustos, por creer en mis capacidades y por darme la oportunidad de vivir tan grata experiencia de un posgrado y, sin duda alguna, gracias por su acompañamiento y amistad durante mi estancia en la Facultad de Ingeniería”

RESUMEN

La infraestructura carretera y de puentes vehiculares es un factor para el desarrollo económico de una sociedad, en la actualidad, el sector construcción a nivel global, demanda mecanismos que optimicen los recursos invertidos en su construcción. Las herramientas tecnológicas en materia de diseño y gestión de proyectos, parecen ser una buena alternativa. En este contexto, BIM es una metodología que ha cobrado fuerza en recientes años, pero cuya adopción aún no está completa en el área de infraestructura, razón por la cual se realiza la presente tesis.

Para sentar los precedentes del desarrollo de proyectos de puentes vehiculares en México mediante procesos BIM, la presente investigación consistió en una investigación sobre tal metodología y su relación con los índices de productividad e inversión en la construcción de infraestructura, centrándose en el planteamiento de una metodología BIM para elaborar un proyecto de un puente vehicular de acero.

ABSTRACT

The road and bridge infrastructure is a factor for the economic development of a society, at present time, the construction industry at a global level, demands mechanisms that optimize the resources invested in its construction. Technological advances for project design and management seem to be an excellent alternative. In this context, BIM is a methodology that has gained strength in recent years, but whose adoption is not yet complete in the area of infrastructure, reason why, this thesis is carried out.

In order to establish the precedents of the development of bridge's projects in México through BIM, the present research consisted of an investigation on such methodology and its relationship with the productivity and investment indicators in the construction of infrastructure, focusing on the approach of a methodology BIM to develop a project for a steel bridge.

INTRODUCCIÓN

A medida que cada día la sociedad va evolucionando con mayor rapidez, proporcionalmente, también lo hacen sus necesidades de traslado y transporte, tal dinamismo demanda la construcción de líneas de comunicación como carreteras y puentes con el menor tiempo y recurso económico posible.

El desarrollo de infraestructura carretera es uno de los más importantes para el desarrollo económico de un país, generando beneficios a la sociedad en términos de equidad y condiciones favorables para el desarrollo humano, y como resultado de lo anterior, se está en constante búsqueda de nuevas estrategias que logren satisfacer los niveles de productividad globales e inversión pública, ya que en la actualidad existe la tendencia a invertir menos de lo necesario.

Lo anterior obedece a diversas causas, las más relevantes son los proyectos que traen consigo un alto riesgo, elevadas inversiones a corto plazo, periodos de retorno largos y cuyos beneficios son rebasados por los sobrecostos por una mala ejecución. Es por esto que, la construcción de infraestructura es considerada una de las partes más complejas debido al gran número de actores que participan en proyectos de este tipo y a los montos de inversión necesarios para desarrollarlos.

La gestión de proyectos es un área en donde se han detectado importantes deficiencias, debido a la falta de coordinación entre las etapas de diseño y la construcción, además de una escasa comunicación entre los participantes del proyecto, y, sin dejar de lado a las costumbres arraigadas para la solución de conflictos conforme se vayan presentando durante la ejecución.

Como arquitectos e ingenieros tenemos la tarea de emprender la búsqueda de estratégicas y mecanismos que coadyuven a la solución de los problemas mencionados en el párrafo anterior.

Por consiguiente, es necesario cambiar la perspectiva en cuanto al uso de mejor tecnología y herramientas de gestión de proyectos, así como el establecimiento de metodologías de planificación orientadas a una mejora de los resultados. Autodesk México (2020) plantea que la industria global debe buscar herramientas más inteligentes y eficientes de diseñar y construir no sólo como un medio de estar al día con la demanda global.

Bajo este contexto se desarrolla el presente tema de investigación, que propone una metodología con procesos y herramientas BIM, para la elaboración de un proyecto de un puente vehicular de acero, donde uno de los objetivos es mostrar las ventajas de elaborar y gestionar proyectos con BIM frente a los métodos tradicionales que actualmente se utilizan.

La metodología basada en modelado de información para la construcción BIM (*Building Information Modeling*, por sus siglas en inglés) y se refiere al conjunto de procesos de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información coordinada, coherente, computable y continua; empleando modelos 3D y bases de datos que contengan toda la información en lo referente a la obra que se pretende diseñar o construir.

Para realizar el presente tema de investigación, se inicia en el capítulo I presentando un panorama general de lo que es la metodología BIM, sus antecedentes, sus principales características y los aportes al área de la ingeniería.

En el capítulo II, se muestra la situación actual de México ante el resto del mundo, referente a los temas de productividad en la construcción e inversión pública para el desarrollo de infraestructura carretera, además e identificar los factores que intervienen en ella

En el capítulo III, consiste en identificar los principales tipos de puentes vehiculares que existen, junto con la descripción de los elementos que lo

conforman, así como sus principales características. Por último, se explica la normatividad bajo la cual se rigen para su respectivo diseño.

En el capítulo IV, se muestra la información general referente a un proyecto de puente vehicular de acero, describiendo sus características geométricas y estructurales, además de presentar su procedimiento constructivo.

Finalmente, en el capítulo V, se presenta la metodología BIM que se planteó para el desarrollo del proyecto del puente vehicular descrito en el capítulo IV, describiendo el flujo de trabajo que se utilizó, el cual se apoyó con el uso en procesos y herramientas BIM.

ÍNDICE

RESUMEN	VII
INTRODUCCIÓN	VIII
1. METODOLOGÍA BIM	12
1.1 ¿Qué es la metodología BIM?	12
1.1.1 Breve historia de BIM	13
1.1.2 Definición	16
1.1.3 Ciclo de vida de un proyecto BIM	18
1.1.4 Beneficios y limitaciones de BIM	19
1.1.5 Dimensiones	21
1.1.6 Nivel de desarrollo (LOD)	22
1.2 BIM en México	24
1.2.1 Situación actual en el mundo	25
1.2.2 Situación actual en México	26
1.2.3 Normatividad y estándares	30
1.2.4 Herramientas de Software para BIM en México	35
2. BIM INFRAESTRUCTURA PÚBLICA EN MÉXICO	39
2.1 Panorama actual de la infraestructura Pública	39
2.2 Productividad en la construcción	47
2.3 El uso de BIM en el desarrollo de proyectos	53
2.4 Experiencia de puentes vehiculares con BIM	59
3. PUENTES VEHICULARES	65
3.1 Definición y clasificación	65
3.2 Componentes principales	71
3.3 Lineamientos generales	78
3.4 Metodología para el diseño de puentes vehiculares	82

ÍNDICE

4. CASO DE ESTUDIO	94
4.1 Características generales del Proyecto	94
4.2 Características físicas del sitio	96
4.3 Requerimientos geométricos	99
4.4 Requerimientos estructurales	102
4.5 Configuración estructural	104
4.6 Proceso constructivo	109
5. PROPUESTA DE METODOLOGÍA	114
5.1 Flujo de Trabajo	114
5.2 Modelado BIM 3D	116
5.2.1 Flujo de trabajo	118
5.2.2 Superestructura Trabes	121
5.2.3 Superestructura Losas	125
5.2.4 Guarnición	126
5.2.5 Parapeto	127
5.1.6 Acero de refuerzo	129
5.3 Modelado BIM 5D	133
5.3.1 Cuantificación de materiales	133
5.3.2 Presupuesto	136
5.3 Modelado BIM 4D	137
5.3.1 Programa de obra	137
5.4 Modelado BIM 2D	142
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
ANEXOS	150
BIBLIOGRAFÍA	153

1. METODOLOGÍA BIM

En este capítulo se aborda de manera general los motivos que dieron pauta al desarrollo de la metodología BIM, enunciando sus antecedentes más destacados, desde sus primeros registros que se tiene de su aparición hasta su evolución en la actualidad, asimismo se describe cuáles son las principales características; los alcances y las ventajas que ofrece al campo de la ingeniería de proyectos, también se menciona como ha sido su implementación, tanto a nivel global, como en el país, sin dejar de mencionar la normativa bajo la cual se rige tal metodología. Por último, se hace una breve descripción de los softwares que existen en el mercado mexicano, con la finalidad de conocer sus principales características y funciones.

1.1 ¿Qué es la metodología BIM?

Con la finalidad de contar con un panorama general del tema de investigación, se describe como aquella metodología que se basa en el modelado de información para la construcción (BIM, por sus siglas en inglés, *Building Information Modeling*) en conjunto con el uso de tecnologías de información y bases de datos (Santillán Doherty and Calleja, 2019). En términos generales, permite la creación de un modelo virtual de un edificio, carretera o cualquier obra civil que se va a realizar y, que puede ser visualizada, no solo en tres dimensiones, si no también, en cuarta dimensión (tiempo), en quinta dimensión (costos), y así, sucesivamente, dentro del entorno BIM, hasta poder alcanzar, temas tan relevantes como lo son operación y mantenimiento.

Con la aplicación de modelos computacionales integrados, se pueden ejecutar y resolver tareas simultáneamente obteniendo resultados similares a los que puede obtener un grupo de diferentes especialistas, permitiendo una interoperabilidad de la información, mejorando y dando valor a los procesos; además, permite representar características físicas y lógicas de las partes que conforman cada uno de los elementos constructivos de una obra como muros, columnas,

ventanas, puertas, escaleras, etc., lo que resulta en la simulación de la obra y la posibilidad de entender su comportamiento en un entorno virtual previo a su construcción real. (Santillán Doherty y Calleja, 2019, p. 17)

1.1.1 Breve historia de BIM

De acuerdo con varios autores que tratan sobre el origen y desarrollo de BIM, no existe como tal un registro exacto de su aparición en el ámbito de la construcción, esto resulta complejo definirlo, considerando las intenciones que cada empresa desarrolladora de software pretende alcanzar de acuerdo a sus estrategias comerciales o considerando que cada autor desea referenciar un acontecimiento en particular que sustente su investigación.

Por tal motivo, y, para efectos de esta investigación, a continuación, se enuncian una serie de hitos que, a juicio del autor, considera representativos conocer, con el objeto de identificar como se ha desarrollado la metodología BIM en el campo de la ingeniería de proyectos.

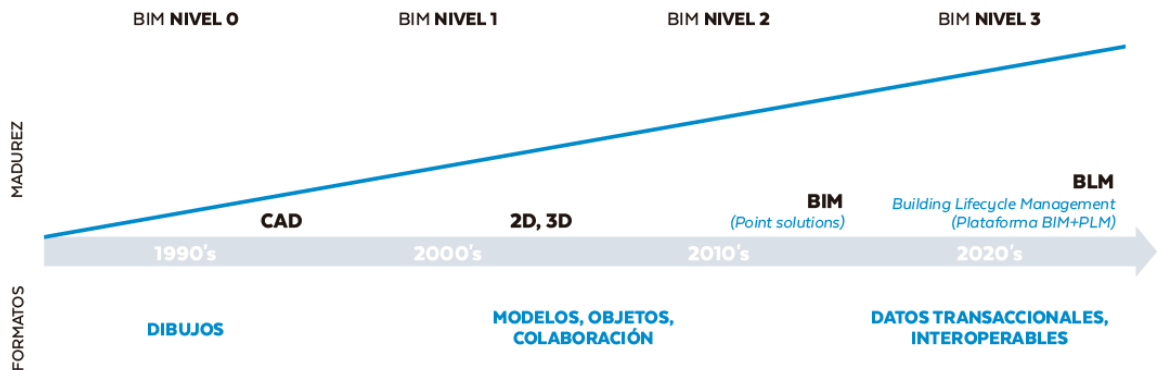
El primer hito data del año de 1975 en los Estados Unidos, en el artículo "*The use of computers instead of drawings in building design*" (C. Eastman, 1975), en el que se establece el concepto del modelo del edificio, donde las secciones y plantas podrían derivarse de un modelo 3D gracias al uso de ordenadores. Se indica el desarrollo de un sistema de descripción de un edificio (BDS, por sus siglas en inglés *Building Description System*) sobre el concepto anterior. En este artículo ya anticipaban el futuro de las compañías de software ofreciendo distintos sistemas de descripción de los edificios.

Posteriormente, en 1987 la empresa húngara Graphisoft, pionera en la aplicación del concepto BIM, implementó bajo el nombre de *Virtual Building* (Edificio Virtual) con su programa ArchiCAD, reconocido como el primer software de CAD para computadora personal capaz de crear dibujos en dos dimensiones (2D) y en tres dimensiones (3D).

Para 1994 se funda la Alianza Internacional de interoperabilidad (IAI, por sus siglas en inglés, *International Alliance of Interoperability*), iniciativa para crear un consorcio de empresas para crear unas clases de C++ para soportar un desarrollo integrado de aplicaciones. En el año 2003, se establece el Programa Nacional 3D-4D-BIM. Dos años más tarde por el Servicio de Edificios Públicos (PBS, por sus siglas en inglés, *Public Buildings Servíc*)

Para el año 2000, Graphisoft desarrolló un programa llamado Revit, que se escribió en C+ y utilizó un motor de cambio paramétrico, hecho posible a través de la programación orientada a objetos. En 2002, Autodesk compró la compañía y comenzó a promover en gran medida el software en competencia con su propio software Architectural Desktop basado en objetos.

En acontecimientos más recientes, en el 2011, la Oficina del gabinete del Reino Unido (uno de los países que más ha promovido el uso de esta metodología) redacta el Plan Nacional para la utilización de BIM en todos los proyectos públicos con el objetivo de estar para el año 2016 en un nivel 2 de BIM. Para ello definieron cuatro niveles de desarrollo que mejoraban el programa original al incluir diversas normas o protocolos para Arquitectos, Ingenieros y Constructores (AEC por sus siglas en inglés, *Architects, Engineers and Constructors*), y que definen los objetivos para alcanzar la implementación BIM. (Figura I.1)



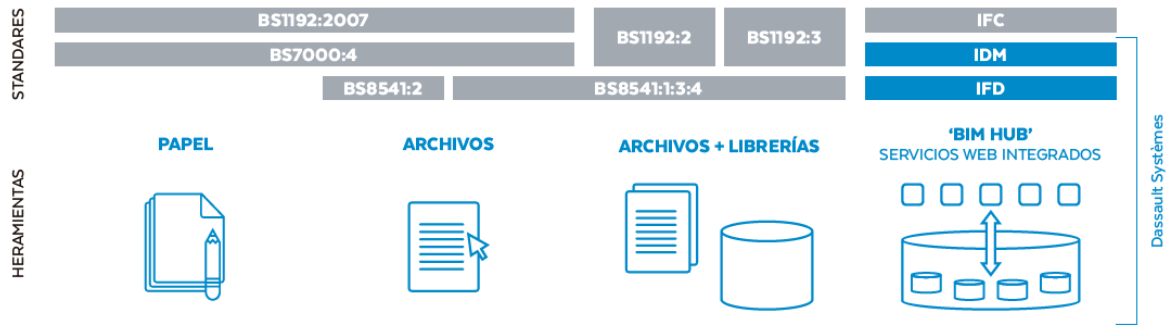


Figura I.1 Niveles de desarrollo del Plan Nacional para la utilización de BIM en Reino Unido
 Fuente: McAuley, B., Hore, A. y West R. (2017) BICP Global BIM Study

Nivel 0 (1990-2000)

- Uso de programas CAD dirigido exclusivamente a la creación de diseños o proyectos en dos dimensiones (2D).
- Se reconoce el uso de software para el diseño y la elaboración de esquemas gráficos mediante herramientas CAD (2D), dejando a un lado el dibujo de planos en papel realizados.

Nivel 1 (2000-2010)

- Da inicio a proyectos desarrollados en herramientas CAD en dos y tres dimensiones.
- Se inicia la era de la digitalización de datos. La imagen en 3D se utiliza únicamente como una representación gráfica.

Nivel 2 (2011-2016)

- BIM en la fase de diseño y construcción, principalmente en obras públicas.
- Se hace mención de los proyectos inteligentes, donde cada objeto esta enriquecido con datos y características que permiten ser manejados en un ambiente de tres dimensiones (3D) BIM tanto para controlar el comportamiento del edificio desde diferentes ángulos como en diferentes ámbitos disciplinarios (térmico, estructural, funcional, entre otros).

Nivel 3 (2020-20 ...)

- El Nivel 3 se refiere a proyectos totalmente colaborativos entre todos los niveles y los participantes.
- Hay una integración total de toda la información en un único modelo 3D BIM en donde todos pueden acceder y compartir información en tiempo real.
- En esta fase se utiliza una plataforma BIM en la cual los colaboradores acceden y modifican el proyecto según los diversos grados de privilegio
- Las plataformas BIM ofrecen un procedimiento llamado *gate* (puerta), que sirve para pasar los originales elaborados de un área a otra, previo proceso de revisión y/o validación de los documentos.
- Los procesos BIM afectan el ciclo de vida del edificio, incluida la gestión, el mantenimiento y el fin de vida desde el punto de vista ciclo de vida del edificio.

1.1.2 Definición

Según Rawilson en su documento: “Estrategia del BIM para México”, se define a BIM o MIC (Modelado de Información para la Construcción, como también se conoce en México), como una metodología colaborativa interdisciplinaria que conjunta herramientas, procesos y tecnologías digitales permitiéndonos generar información y documentación sobre el proyecto durante todo su ciclo de vida.

Por otro lado, una definición global es por parte de la *National BIM Standard Project* (2006) que la define la metodología como:

“Una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación. BIM es un recurso de conocimiento compartido para obtener información sobre una instalación que constituye una base fiable para las decisiones durante su ciclo de vida; definido como válido desde la concepción inicial hasta la demolición”.

Al desarrollar un modelo BIM lo que se busca es unificar la información de proyecto y construir una base de datos expresada en un modelo tridimensional (3D), geo-referenciado a lo largo de las diferentes etapas que lo conforman. Es esta base de datos que en un futuro permitirá la coordinación de las distintas disciplinas, conectándolas para hacer una buena planificación y control de obra, evitando interferencias e incongruencias durante su ejecución y mantenimiento.

Con el objetivo de evitar confusiones se presenta a manera de resumen, un listado de que es y que no es BIM de acuerdo a la “Estrategia para la adopción del Modelado de Información en la Construcción (MIC)” (Secretaría de Hacienda, 2019):

Si es

- Una metodología.
- La combinación de la representación virtual de la obra con tiempo e inversión.
- Un modelo dinámico que acumula información conforme avanza la obra
- Información digital que permite la reutilización de los datos y su interrelación.
- La interacción de diversos actores y disciplinas.
- Es posible utilizarse en obras grandes y pequeñas sin importar del monto.

No es

- Un solo software.
- Un plano tridimensional de la obra.
- Un solo archivo en un conjunto de información.
- Información digital que permite la reutilización de datos y su interrelación.
- Llenar más formatos aislados con información duplicada o no congruente.
- Solo posible en obras en las que participa más de un proveedor.
- No viable en proyectos pequeños por el costo de la metodología.

1.1.3 Ciclo de vida de un proyecto BIM

El ciclo de vida de un proyecto BIM comprende todas las fases que componen un proyecto, desde los primeros bosquejos, siguiendo con el anteproyecto hasta llegar al diseño detallado, pasando por su construcción, control de costos y tiempos en la etapa de construcción y/o dirección de obra, hasta llegar a su etapa de operación y mantenimiento dónde el proyecto estará gestionado y computarizado para el control de cada una de ellas. (Autodesk México, 2020)

En la Figura I.2 se muestra un esquema de todas las etapas que intervienen en el ciclo de vida de un proyecto realizado con la metodología BIM.



Figura I.2 Ciclo de vida de un proyecto BIM

Fuente: Koala Architecture & Engineering, <https://cutt.ly/uEng1BK>

Cabe destacar que las etapas de operación y mantenimiento se permite gestionar la vida útil de la construcción y poder programar su mantenimiento hasta su renovación, adicionalmente en la etapa de demolición, se puede hacer una

estimación de la cantidad de residuos que generará y por lo tanto que huella ecológica llegarán a producir. De esta manera, se podrá realizar un proyecto lo más sostenible y respetuoso posible con el medio ambiente.

1.1.4 Beneficios y limitaciones de BIM

Actualmente aún existe un cierto grado de confusión sobre las ventajas que posee BIM frente a una metodología tradicional CAD. Puesto que se tiene la idea errónea de que es simplemente una tecnología, o que solo se refiere al diseño 3D, tal y como se vio anteriormente sobre lo que es y no es BIM, según “Estrategia para la adopción del Modelado de Información en la Construcción”.

Pero en realidad debe entenderse como un proceso para crear y administrar toda la información sobre un proyecto, que conduce a una salida conocida como modelo de información de construcción, que contiene descripciones digitales para cada aspecto del proyecto físico. (BIMnD España, 2020).

De acuerdo con el portal PlanBIM Chile y con el objetivo de tener una mejor comprensión de las ventajas que ofrece el uso de BIM, a continuación, se enuncian los principales beneficios de su aplicación:

- Mejorar la administración de datos e información compleja de proyectos.
- Los modelos 3D facilitan la comprensión de un proyecto y un mejor manejo de las expectativas de los clientes.
- Facilita la comunicación, trazabilidad y transparencia de la información, optimizando los flujos de trabajo.
- Facilita la integración, actualización y coordinación de toda la información generada por los diferentes actores de un proyecto, fomentando el trabajo colaborativo de interdisciplinario.
- Permite prever y solucionar los problemas de manera anticipada, lo que disminuye los inconvenientes durante la construcción y duplicidad del trabajo.

- Permite simular el comportamiento de un proyecto, posibilitando la optimización del diseño, uso, eficiencia energética, mejorando así su sustentabilidad en el tiempo.
- Permite simular y planificar medidas de seguridad y prevención de riesgos.
- Facilita el uso de componentes constructivos prefabricados, haciendo más eficiente la construcción.
- Permite reducir los plazos de entrega y costos de los proyectos.
- Permite el desarrollo de diseños más eficientes y sustentables, disminuyendo el consumo de energía y emisiones.

En cuanto a las desventajas que se presentan en la aplicación práctica de BIM no se refieren en general a la capacidad de la metodología ni del software BIM, sino a la implementación efectiva dentro de los sistemas existentes y a la formación y equipamiento de los equipos con las habilidades necesarias para aprovechar todo su potencial.

A continuación, se enuncian algunos de los problemas más habituales a la hora de implementar BIM:

Alto costos

- Uno de los mayores problemas que puede surgir al momento de implementar una metodología BIM son sus altos costos en la adquisición de equipos y tecnología.
- En empresas grandes y medianas puede ser más sencillo alinear sus equipos con BIM, ya que tienen equipos amplios que pueden adaptar adecuadamente.

Resistencia al cambio

- La mayoría de los profesionistas que están involucrados están acostumbrados a trabajar con herramientas tradicionales que conocen y dominan a la perfección.

- Existen barreras como el miedo al fracaso, salida de la zona de confort, tiempo para aprender a utilizar el software

Convivencia con sistemas no BIM

- Los proyectos piloto de BIM o de formación en BIM deben seleccionarse cuidadosamente según el tamaño, el calendario y la disponibilidad de los miembros del equipo.

Con base en lo anterior, se puede concluir que la cantidad de beneficios es mayor en relación con las desventajas, aunque no se debe olvidar que su implementación en proyectos constructivos es gran un reto, el éxito o fracaso dependerá en gran parte a la disponibilidad que se tiene para adoptar la metodología por parte de una organización privada o institución gubernamental.

1.1.5 Dimensiones

Como ya se ha mencionado, el uso del BIM no solamente abarca la parte de diseño y modelado con el fin de obtener planos en dos dimensiones (2D) y modelos en tres dimensiones (3D), sino que, incluyendo a las anteriores, existen más dimensiones aceptadas en un proyecto BIM (Figura I.3.)

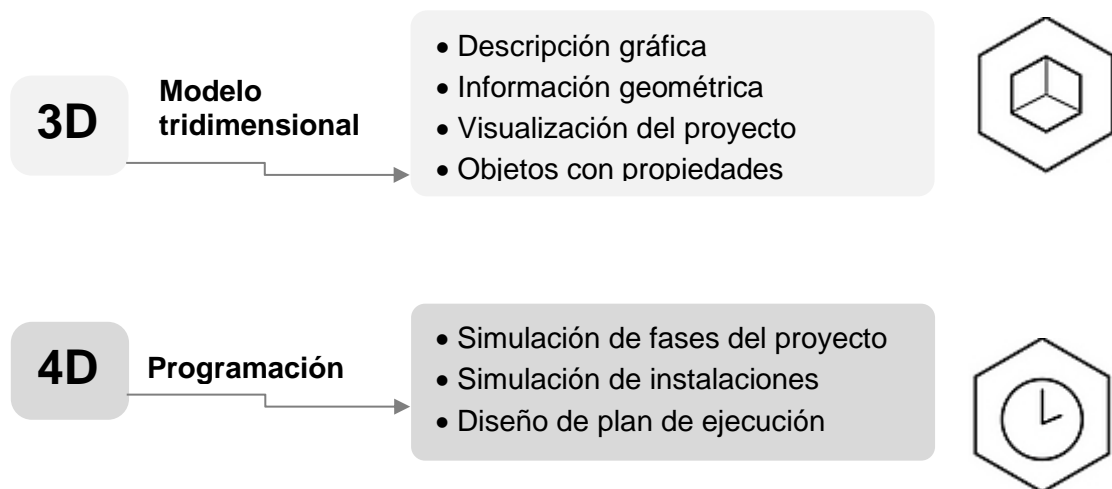




Figura I.3 Dimensiones de BIM

Fuente: Elaboración propia con información del portal Building new and dimensions (2019), <https://www.bimnd.es/7dimensionesbim/>

1.1.6 Nivel de desarrollo (LOD)

El Nivel de desarrollo LOD por sus siglas en inglés *Level Of Development*, es el estándar que detalla la descripción de contenido gráfico y no gráfico en modelos en cada una de las etapas definidas (Bedrick *et al.*, 2020).

Según el blog Practical BIM (2013) en su artículo “*What is this thing called LOD*”, LOD fue desarrollado por Vicosoftware (actualmente dentro del grupo Trimble y originalmente vinculada a Graphisoft), una compañía que produce software de costos de construcción. Al observar las ventajas de calcular los costos

directamente de un modelo BIM, notaron que se tenía un problema para conocer qué tan precisos o definitivos son los elementos del modelo. Así que desarrollaron el concepto que llaman "Nivel de detalle", es decir, una medida de cuán definitivo es un elemento en términos de su costo.

Posteriormente, el Instituto Americano de Arquitectos (AIA, por sus siglas en inglés de *American Institute of Architects*), decidió que este sistema sería bueno que se aplique a todas las etapas de un modelo BIM, desde el análisis energético hasta la programación 5D. Con prudencia, lo renombraron como "Nivel de desarrollo" porque el "Nivel de detalle" podría confundirse con la cantidad de información, más que con la decisión de la información, con lo que se catalogaron las siguientes definiciones:

LOD 100

- En este nivel de desarrollo, el elemento puede estar representado gráficamente con un símbolo u otra representación sencilla, no se considera la información obtenida de este modelo de detalle como precisa.

LOD 200

- Además de elementos genéricos, también se incluyen componentes específicos con una geometría, localización y orientación aproximada a la realidad. Se pueden hacer análisis más detallados que en el nivel 100 pero no es suficiente para pasar a la ejecución.

LOD 300

- En este modelo el elemento se encuentra representado como un sistema específico en términos de cantidad, tamaño, forma, localización y orientación. Los elementos se posicionan de forma precisa. Se pueden realizar mediciones reales de proyecto.

LOD 400

- Un modelo con nivel de desarrollo 400 es uno en que los elementos se encuentran modelados con suficiente detalle para permitir su fabricación, ensamble e instalación.

LOD 500

- Es un modelo medido en campo que representa la realidad. Contiene la geometría, tamaño, localización, orientación y materiales utilizados en la construcción.

En la Figura I.4 se muestra un esquema del nivel de desarrollo (LOD) en BIM:

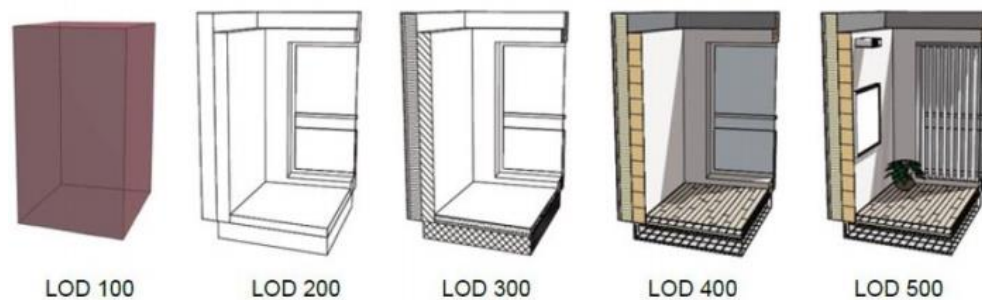


Figura I.4 Especificación de nivel de desarrollo. Fuente: (BIM Forum, 2020)

El LOD un estándar que debe seguirse en un proyecto BIM, este conjunto de información es recabada BIM Forum (Bedrick *et al.*, 2020) y año tras año se actualiza, definiendo las características que se deben cumplir, es decir, definir los elementos de la construcción que se considerarán en un nivel específico.

1.2 BIM en México

Hasta este punto, se ha descrito de forma general el contexto que engloba el uso BIM en cuanto a su participación en el desarrollo de proyectos de construcción, con el fin de tener una visión integral de sus principales características.

Por consiguiente, se considera oportuno comenzar a examinar de qué manera, se ha ido desarrollando su implementación en el mundo y, principalmente para el objeto de la presente investigación, conocer cuál es la situación actual en la que

se encuentra México en cuanto la adopción de herramientas digitales para la elaboración de proyectos de ingeniería.

1.2.1 Situación actual en el mundo

Para analizar los avances de la implantación de BIM en el mundo, se muestra un mapa (Figura I.5) en el que se aprecian los países que han comenzado a adoptar los distintos niveles de mandato.

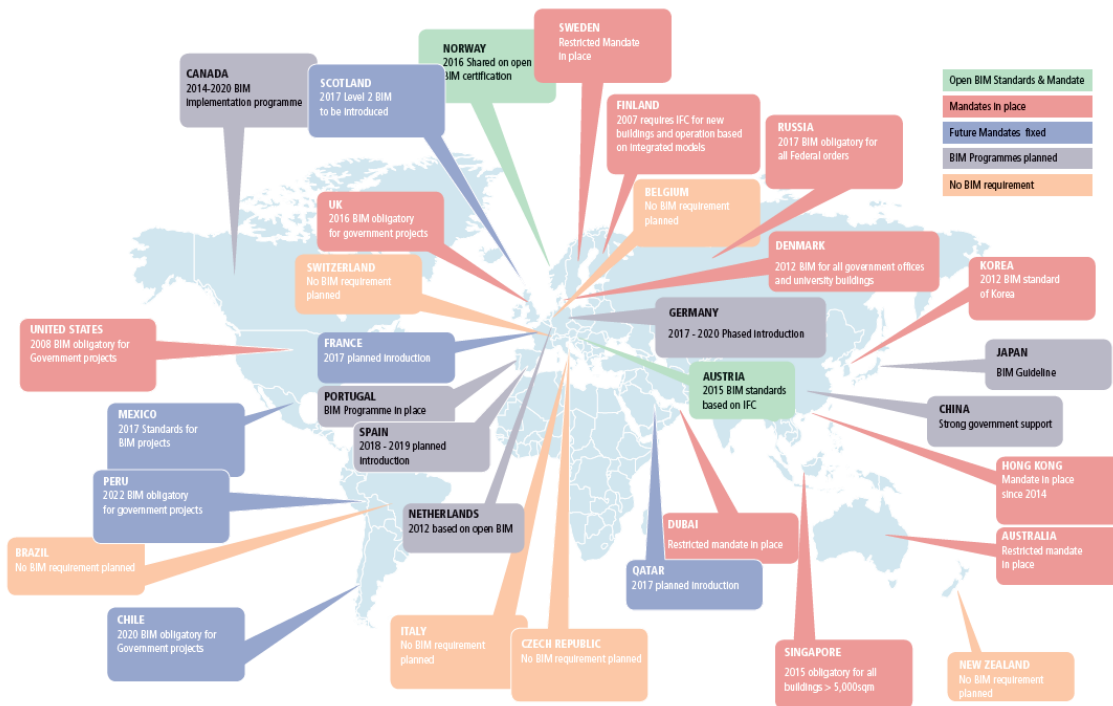


Figura I.5 Mapa de implantación BIM en el mundo 2017.
Fuente: BICP Global BIM Study, Hore, McAuley and Roger (2017)

El nivel de madurez que ha alcanzado la metodología BIM en cada país es resultado de su propia concepción de la metodología, creando organismos encargados de redactar y actualizar las distintas normativas, adaptándose a las necesidades y características culturales de cada país.

De manera análoga en la Tabla I.1 se muestra la situación actual los países que están implicados en el desarrollo de estrategias en la implementación de normas, estándares e ideologías que mejor se adapten con la cultura de cada región.

Paises	Situación actual	Paises	Situación actual
Alemania	Obligatorio para 2020	Irlanda	Hoja de ruta para la transición digital de 2018 a 2021
Austria	Probable uso para el 2018	Italia	Obligatorio para 2019
Brasil	Hoja de ruta en revision	México	Normas para proyectos BIM para 2019
Canadá	Sin regulacion hasta la fecha	Noruega	Obligatorio desde 2016
Chile	BIM obligatorio para 2020 en obras publicas	Nueva Zelanda	Sin regulacion hasta la fecha
China	Se requiere BIM a traves del Plan Nacional	Paises	Bajos No obligatorio
Dinamarca	Obligatorio desde 2007 (se extendio al 2011)	Peru	Obligatorio para obras publicas para 2022
Dubái	Obligado desde 2013	Portugal	No se requiere BIM para planeacion
EE.UU.	Obligatorio en diferentes estados	Qatar	Sin regulacion hasta la fecha
Escocia	Obligatorio desde 2017	Reino Unido	Obligatorio desde 2016
España	Obligatorio desde 2018	Republica Checa	Sin regulacion hasta la fecha
Finlandia	Aprobado por el senado en 2007	Singapur	Obligatorio desde 2015
Francia	Obligatorio desde 2017	Suecia	Sin regulacion hasta la fecha
Hong Kong	Obligatorio desde 2014	Suiza	Obligado por la Administracion de Transporte

Tabla I.1 Situación actual de la implantación de BIM en el mundo
Fuente: Elaboración propia con información del BICP Global BIM Study,
Hore, McAuley and Roger (2017)

1.2.2 Situación actual en México

Como se mostró anteriormente, varios países han tomado en serio la necesidad de mejorar la industria de la construcción en sus sectores mediante leyes, estándares, guías o mandatos. Por lo que, es importante saber cómo se encuentra México y que se está haciendo actualmente para lograr esta adopción. Los inicios de la adopción de herramientas digitales en la industria de la construcción tienen como antecedente a las empresas CFE y PEMEX, las cuales empezaron a desarrollar sus proyectos usando Modelos Electrónicos Tecnológicos Inteligentes (METI). Aunque esta tecnología resultaba muy abstracta y no alcanzaba a cubrir las fases que sus proyectos requerían, de esta manera, este fue el primer acercamiento en México para buscar mejorar a inicio del siglo XXI (Vázquez Bustos y Víctor & Segura Ozuna, n.d.).

Según el sitio web 3dCadPortal (2013), la implementación más conocida de BIM en una empresa constructora mexicana fue la de ICA, que creó en el 2009 su rama llamada ICA BIM, la cual utilizaba los modelos tridimensionales para

detectar oportunamente incongruencias, interferencias y faltantes de información, antes de iniciar con la construcción del proyecto, también realizaban cuantificaciones para obtener presupuestos más precisos además de que fue la primera empresa en México que utilizó BIM para generar elementos prefabricados a partir del modelo.

Gracias a estas iniciativas empezó a conocerse sobre BIM y empezaron a generarse varias vertientes para fomentarlo. Sin embargo, esta metodología solo ha sido promovida en gran medida a esfuerzo separados de empresas privadas y poca participación del gobierno.

Actualmente en México, dentro de las acciones que se tienen para la implementación de BIM, se encuentran tres vertientes principales, la primera que es impulsada por el sector educativo, la segunda por el sector privado y la tercera que es la promovida por el sector gubernamental, siendo esta última la de mayor interés dentro de la presente investigación.

En el ámbito académico han dado los primeros pasos, introduciendo BIM como materia en universidades como el Tecnológico de Monterrey, Universidad Iberoamericana, Universidad La Salle, UNAM y las universidades autónomas de Yucatán, Chihuahua y Nuevo León. Por otro lado, la UNAM es la única universidad pública que realiza un diplomado de la metodología BIM como formación profesional adicional. (Structuralia, 2020)

Como suele ocurrir en la mayoría de los países, el sector privado se adelanta al explotar las virtudes que puede tener una nueva tecnología, y toma el riesgo de adoptarla en aras de adelantarse a su competencia. El ejemplo más destacado, es el de la empresa española Bovis, que ha desarrollado cuatro importantes proyectos dentro del país: Bancomer en Atizapán, el Edificio Rubén Darío en Polanco, Torre Reforma y Torre Chapultepec demostrando exitosamente las

bondades del uso de herramientas digitales para la ejecución de dichos proyectos. (Structuralia, 2020).

Por otro lado, la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) se encuentra generando cursos y diplomados de BIM en busca de apoyar a la industria (BIMmanager, Fundación de la Industria de la Construcción, n.d.).

Desde la parte gubernamental, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) con la participación de organizaciones como *BIM Task Group* y AMIBIM, entre otras se definió la estrategia para normar el uso del BIM, o Modelado con Información para Construir (MIC).

Este programa tiene el propósito de mejorar los procesos de desarrollo de la infraestructura pública, considerando la eficiencia en la planeación, disminución de sobretiempos y sobrecostos, así como el fortalecimiento de la transparencia y la rendición de cuentas. (Secretaría de Hacienda, 2019)

La denominada “Estrategia para la implementación del Modelado de Información de la Construcción (MIC) en México” plantea el hito de migrar de la metodología tradicional al BIM, la totalidad de los sectores en los que se ejecuten proyectos de infraestructura pública. Para lograr el objetivo principal señalado, se ha propuesto la realización de cuatro objetivos específicos:

1. Fomentar el uso de MIC en los proyectos de infraestructura.
2. Mejorar los procesos de los proyectos de infraestructura pública mediante la metodología y aplicación de herramientas tecnológicas
3. Utilizar los resultados de la implementación de la metodología para una mejora continua en la infraestructura.
4. Impulsar la participación del sector privado y otros organismos en la estrategia para completar la cadena de valor.

Para ejecutar la Estrategia se diseñó una hoja de ruta (Figura I.6), la cual contiene las líneas acción concretas que se deben seguir para cumplir con dicho propósito.

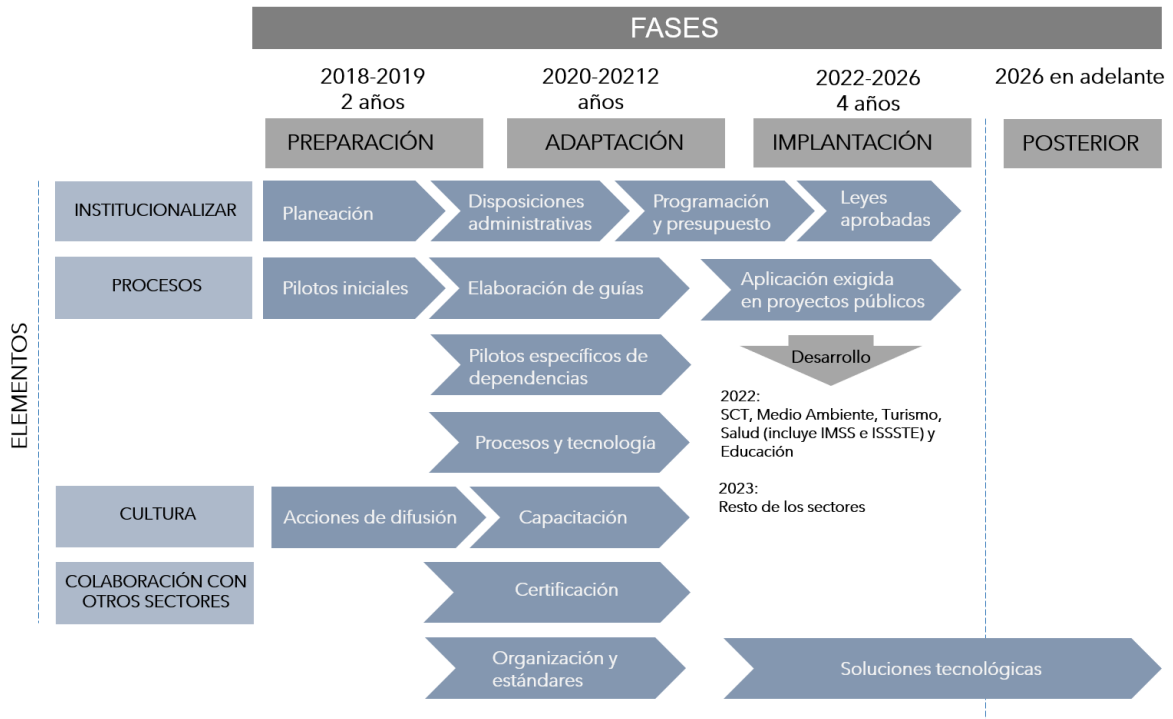


Figura I.6 Hoja de ruta propuesta para la implementación de MIC en México
Fuente: Elaboración propia con información obtenida la SHCP (Secretaría de Hacienda, 2019)

En el reporte sobre los avances de las principales acciones del BIM en Latinoamérica en el año 2020, se comparten objetivos similares con el MIC, pero estableciendo su propia línea de fechas y metas (Figura I.6).

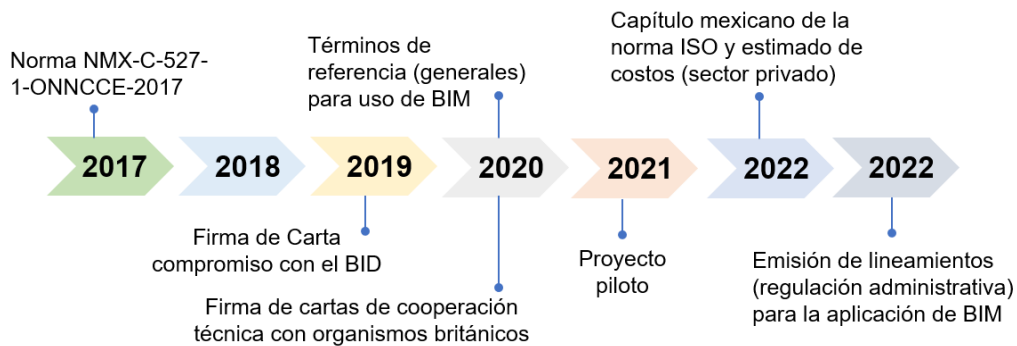


Figura I.7 Línea de fechas y metas de la implementación de BIM en Latinoamérica
Fuente: Elaboración propia con información obtenida la SHCP (Secretaría de Hacienda, 2020)

Dentro de las principales acciones este programa se tiene los siguiente:

- Promover el desarrollo de la metodología BIM dentro del sector público.
- Desarrollar la normatividad para exigir el uso de BIM en proyectos.
- Colaborar con la red BIM de Gobiernos Latinoamericanos.
- Colaborar con el Gobierno Británico para la implementación.
- Participar en el desarrollo e implementación de la metodología BIM con el sector privado y académico.
- Aplicar BIM en un proyecto piloto:
 - Trabajar términos de referencia con base en el nivel de madurez de BIM en México.
 - Establecer canales de colaboración con otras dependencias.
 - Proporcionar herramientas para la aplicación de BIM por usuarios públicos.

1.2.3 Normatividad y estándares

Además de tener la capacidad de compatibilidad de archivos, las herramientas BIM también deben ser compatibles entre si a nivel de procesos o de flujos de trabajo. Esto es básico en el caso de grupos de diseño interdisciplinarios que necesitan colaborar en diferentes aspectos del diseño del proyecto u obra.

Al seleccionar el tipo herramienta BIM es necesario saber de qué manera soporta los estándares y flujos de trabajo abiertos, los cuales deben permitir una adecuada coordinación entre los participantes del proyecto.

Por ello existen asociaciones alrededor del mundo que colaboran y publican estándares y protocolos para la implementación de la metodología BIM. A continuación, se describe información más relevante sobre los estándares y documentos generados por las asociaciones que promueven el uso de BIM como herramienta de mejora en proyectos de construcción:

Clases fundamentales de la industria (IFC)

Las clases fundamentales de la industria (IFC, por las siglas en inglés de *Industry Foundation Classes*), es un formato específico de datos que permite el intercambio de un modelo informativo sin pérdida o distorsión de datos o información. Se trata de un formato abierto, neutro, no controlado por los productores de software, nacido para facilitar la interoperabilidad entre varios operadores, es decir en la fase de proyecto y de ejecución de una construcción participan varios profesionales, cada una por su disciplina o área de interés, puesto que es de suma importancia que los profesionistas involucrados puedan intercambiar informaciones colaborando eficazmente a la realización del proyecto.

Por tal razón, el IFC ha sido pensado para elaborar toda la información de la construcción a lo largo de todo su ciclo de vida, desde el anteproyecto hasta la ejecución y su mantenimiento, pasando por las distintas fases de diseño y planificación.

PAS 1192

- Establece los requisitos para el nivel de detalle del modelo (el contenido gráfico), la información del modelo (contenido no gráfico, como los datos de especificación), la definición del modelo y los intercambios de información del modelo. Son la base para el desarrollo del Nivel 2 de BIM del modelo del gobierno británico. (McPartland, 2017)

BuildingSmart International of OpenBIM

- Es el organismo mundial de la industria que impulsa la transformación digital de la industria de la construcción. Se encarga de desarrollar y promover estándares de intercambio de información como el IFC. (*BuildingSMART International*, 2021)

NBS

- Es una plataforma global integrada para todos los involucrados en el diseño, suministro y construcción del entorno construido. Promueve estándares para fabricantes y facilita información para especificadores.

National BIM Estándar United States

- Proporciona normas basadas en el consenso mediante la referencia a las normas existentes, la documentación de los intercambios de información y la entrega de las mejores prácticas comerciales para todo el entorno de la construcción en Estados Unidos. (*National BIM Standard Project, 2006*)

Planbim, Chile

- En Chile, se estima que el uso de BIM sea obligatorio para 2020 para el desarrollo y operación de proyectos de edificación e infraestructura pública. Es el país latinoamericano que se encuentra más avanzado al respecto. En 2016 firmó un acuerdo de colaboración Chile-Reino Unido, los avances que ha tenido hasta ahora están basados en una visión colaborativa entre sectores. Algunos de los documentos más importantes derivados de esta colaboración son el Seminario Plan BIM, El Seminario Plan BIM-Estándares y la Guía inicial para implementar BIM.

BIM Forum

- Establece la especificación del nivel de desarrollo (LOD) es una referencia que permite especificar y articular el contenido y la fiabilidad de los modelos de información para la construcción (BIM) en las diversas etapas del proceso de diseño y construcción. Esta es la guía de referencia más conocida en Latinoamérica. (BIM Forum, 2020)

Uniclass

- Es una estructura de clasificación de elementos consistente para todas las disciplinas de la industria de la construcción. Contiene tablas que clasifican artículos de cualquier escala. (NBS, 2015)

MasterFormat

- Es un sistema de clasificación de elementos que utiliza listas de números y títulos que ayudan a organizar y comunicar el plan de proyecto a todo el equipo de proyecto, además ha influido en innumerables clasificaciones asociadas. (CSI Resources, 2021a)

UnifoFormat

- Es un método de organizar la información de la construcción basado en elementos funcionales, o partes de una instalación caracterizadas por sus funciones, sin tener en cuenta los materiales y métodos utilizados para llevarlas a cabo. Estos elementos se denominan a menudo sistemas o ensambles.

Omniclass (OCCS)

- Es un sistema de clasificación para la industria de la construcción, Se utiliza para el archivo de materiales físicos o la organización de la información de proyectos, pero su principal aplicación es proporcionar una estructura de clasificación para bases de datos electrónicas y programas informáticos. (CSI Resources, 2021b)

Cobie

- Es una especificación de intercambio de información para la captura del ciclo de vida y la entrega de la información que necesitan los administradores de las instalaciones. COBie se puede ver en el software de diseño, construcción y mantenimiento, así como en simples hojas de cálculo. (U.S. ARMY Corps of Engineers, Engineering Research Developmental Center (ERDC), 2021)

Normas ISO

Las normas ISO son una parte importante para poder gestionar los estándares de manera global dentro de BIM, actualmente la elaboración de normas del

modelo BIM a nivel internacional recaen en el Subcomité ISO/TC 59/SC 13, Edificación y obra civil. Las normas ISO vigentes que hablan sobre BIM incluyen las siguientes:

ISO 19650:2018-1,2

- *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM).*
 - *Part 1: Concepts and principles*
 - *Part 2: Delivery phase of assets*

ISO 16739-1:2018

- *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries.*
 - *Part 1: Data schema*

ISO 15686-4:2014.

- *Building Construction – Service Life Planning*
 - *Part 4: Service Life Planning using Building Information Modeling.*

ISO 2981-1-2016.

- *Building information models – Information Delivery Manual*
 - *Part 1: Methodology and format*

ISO 2981-2-2012.

- *Building information models – Information Delivery Manual*
 - *Part 2: Interaction Framework*

Sobre las regulaciones y avances de BIM en el sector de México existe una única norma lanzada por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCE, 2017):

PROY-NMX-C-527/1-ONNCCE-2017

- Industria de la Construcción - Modelado de Información - Especificaciones
 - Parte 1: Plan de Ejecución para Proyectos

Siendo unas de las principales referencias que por el momento se encuentra dentro del sector mexicano como apoyo a la normalización de la metodología, la cual tiene por objeto establecer las especificaciones para implementar el modelado de información en proyectos a través de la selección y seguimiento de un plan de ejecución. Además, la norma es aplicable a proyectos que implementen el modelado de información, ya sean de edificación o infraestructura, públicos o privados, y en cualquier etapa de su ciclo de vida.

1.2.4 Herramientas de Software para BIM en México

Como se mencionó, BIM no es un software, sino una metodología de colaboración, por lo tanto, su implementación no se limita al uso de un solo programa o compañía. Dependiendo de la función que se desee realizar, existe un amplio catálogo de softwares disponibles en el mercado para nuestro país. Algunos de los requerimientos más habituales que buscan satisfacer estos programas incluyen conceptualizar el proyecto, análisis de ingenierías, diseño para la construcción, cuantificación de materiales, presupuestación, planificación y programación de obra (tiempo y costo) y llevar la administración del proyecto entre otros más.

Existen programas aislados y otros que son parte de plataformas colaborativas que han adquirido popularidad y su uso se extiende cada vez más entre los despachos de diseño y empresas constructoras. En el mercado mexicano se está extendiendo el número de compañías promotoras de software relacionados con BIM, no obstante, por su popularidad, son cuatro las que tienen mayor trascendencia: Autodesk, Allplan, Bentley y Tekla. A continuación, se explicará brevemente acerca de sus principales funciones y características:

Revit (Autodesk)

- Revit es un software CAD BIM, donde colaboran diferentes disciplinas (arquitectura, instalaciones y estructuras). Es propiedad de Autodesk y se encuentra desarrollado para Windows. Es el software más utilizado gracias a su fácil manejo y conectividad entre disciplinas.
- Debido a su conectividad con la suite de Autodesk (Figura I.8) que incluye otros programas muy populares como Navisworks, que funciona para definir los tiempos de ejecución y dar seguimiento a la obra, así como para la visualización y detección de interferencias del modelo tridimensional, Infracad 360 para conceptualización de proyectos de infraestructura, AutoCAD Civil 3D para modelar infraestructura y Robot para el análisis estructural, entre otros programas.
- Una de las limitantes del flujo de trabajo usando Revit es el costo de la licencia del programa y, en su caso, del conjunto de programas necesarios para aprovechar mejor su potencial.



Figura I.8 Softwares incluidos en la suite de Autodesk
Fuente: (Autodesk, 2021) *Architecture. Engineering and Construction*

ArchiCAD (Graphisoft)

- ArchiCAD es la segunda herramienta BIM más utilizada después de Revit, les permite a los usuarios trabajar con objetos paramétricos. Este programa permite a los usuarios crear edificios virtuales con elementos

constructivos como muros, techos, puertas, ventanas y muebles. Al igual que en el caso de Revit, la comunidad de usuarios es grande, existiendo diversos recursos de ayuda y objetos creados para su uso en Archicad.

- Algunos de los atractivos de ArchiCAD incluyen la capacidad para diseñar fachadas complejas y la integración en el flujo de trabajo con aplicaciones como Rhinoceros y Grasshopper. En el caso de la colaboración, ArchiCAD puede operar con un flujo abierto de trabajo para el intercambio de información, se centra en el diseño arquitectónico, siendo una de sus desventajas que no cuenta con una integración completa entre las diferentes disciplinas, como es el caso de Revit.

Allplan (Nemetschek)

- Es un software de diseño en dos y tres dimensiones (2D/3D) que permite el intercambio y recolección de información. Ofrece tres soluciones principales, Allplan Architecture, para diseño de edificios y gestión de proyectos arquitectónicos; Allplan Engineering, especializado en obras de infraestructura y para ingenieros civiles, así como Allplan Bimplus, que es una herramienta de colaboración.
- Desde sus inicios, el programa integra el trabajo colaborativo con un servicio centralizado y automatizado de intercambio de proyectos, debido a que la compañía Nemetschek tiene una amplia variedad de programas con distintas funcionalidades, por lo que AllPlan cuenta con buena interoperabilidad. Aunque es un software menos popular que Revit o ArchiCAD en México

TEKLA (Trimble)

- Al igual que otros programas basados en 3D, no dibuja simplemente líneas sino directamente sólidos paramétricos dentro de un modelo 3D. Tekla Structures es un software especializado en el modelado estructural, con él es posible modelar directa y rápidamente perfiles y detalles generales. A

través de macros y soluciones predefinidas permite resolver uniones y nudos estructurales.

- Tekla Structures también diseña y despieza automáticamente estructuras de acero, así mismo, permite estimar costos y analizar diferentes opciones de diseño.
- Para la colaboración, Tekla se encuentra integrado perfectamente con el software de Trimble. También cuenta con un flujo de trabajo especializado con Revit para poder utilizar sus capacidades estructurales junto con la arquitectónicas y de instalaciones del software de Autodesk.

Como se pudo apreciar en este capítulo, se abordaron los conceptos generales que están relacionados con la metodología BIM, así como de las necesidades que dieron pauta a su implementación, y, como esta, ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, con la ayuda de instituciones que han hecho esfuerzos para crear estándares y normas, lo que nos permite una adecuada coordinación entre distintos los grupos interdisciplinarios que intervienen en un proyecto.

Por consiguiente, hasta este punto, se espera que al conocer todas estas ventajas que BIM aporta al campo de la arquitectura e ingeniería en cuanto a la ejecución de proyectos, se tenga una clara referencia de lo que es y no es BIM, con el objeto de comprender la importancia de su aplicación en el desarrollo de infraestructura de transporte, como una posible solución a una baja productividad, la cual afecta a la mayor parte del mundo y particularmente, en México, haciendo más eficiente los procesos que participan en su diseño y construcción de infraestructura.

2. BIM E INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE EN MÉXICO

En lo que respecta al este capítulo, se muestran los principales indicadores en los últimos años sobre el crecimiento de la infraestructura de transporte en México, también se analizan los índices de productividad en la construcción que se tienen en referencia con otros países, así como los principales factores que influyen en ella. Posteriormente, se realiza una descripción de los principales procesos que participan en el diseño y gestión de proyectos con BIM, con la finalidad de analizar los beneficios que conlleva su utilización, por último, se describe la experiencia que se obtuvo al aplicar la metodología BIM, en un proyecto de un puente vehicular en México.

2.1 Panorama actual de la infraestructura de transporte

Hoy en día se sabe que la infraestructura incide de manera directa en la calidad de vida de los habitantes de un país, y también se reconoce que las obras de infraestructura contribuyen en forma importante a la actividad económica y al empleo. Por ello, los gobiernos dedican una parte significativa de sus recursos de inversión al desarrollo de todo tipo de proyectos de infraestructura, y organizaciones como la Comisión Económica para América Latina de las Naciones Unidas (CEPAL) recomiendan destinar cada año montos equivalentes al 6 % del PIB a la inversión en infraestructura. (de Buen Richkarday, 2021).

La inversión en infraestructura de comunicaciones y transportes se refiere, principalmente, a la que permite la conectividad entre personas y regiones. En el caso de comunicaciones, se refiere a la inversión en infraestructura que permita acceder a redes telefónicas, tanto fija como celular, internet, radio y televisión, mientras que el transporte se refiere a la infraestructura carretera, ferroviaria, marítima y aeroportuaria.

Al incrementar la conectividad entre personas y regiones, es más factible que se tenga mayor acceso a servicios básicos como la educación y la salud, así como

el acceso a diferentes bienes, mediante la ampliación de rutas comerciales. (Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, 2020).

No obstante, es necesario analizar el entorno actual sobre el gasto asignado para el desarrollo de Obra Pública. A continuación, se muestra la Figura II.1 donde se realiza una comparativa de los recursos asignados por parte del Programa de Egresos de la Federación destinados a la inversión de infraestructura pública entre el año 2015 y 2020 en porcentaje del PIB.

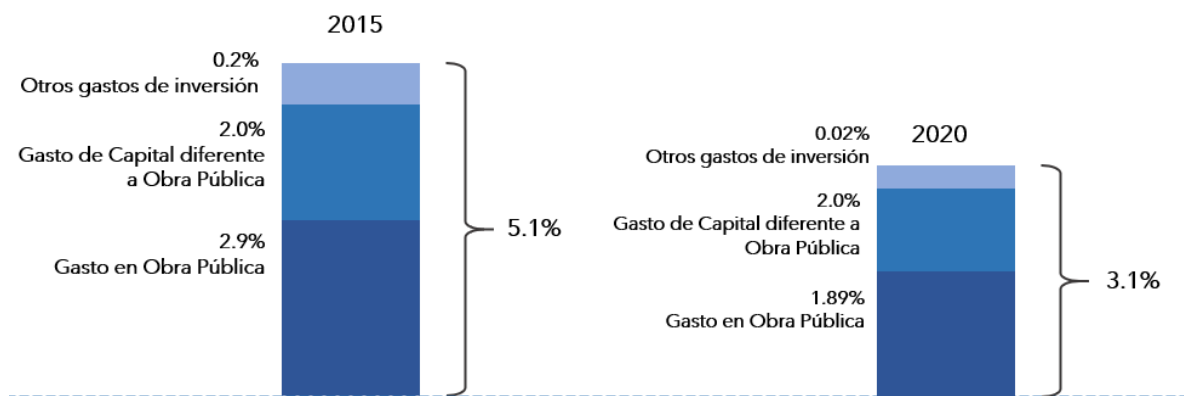


Figura II.1 Gasto de inversión como porcentaje del PIB

Fuente: Elaboración propia con información de la Cuenta Pública 2015 y 2020

En la gráfica se demuestra que ha ido en decremento el gasto de inversión y actualmente se encuentra por debajo del 6% del PIB recomendado, el cual se supone se debe designar para la inversión en infraestructura pública.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), es la instancia gubernamental con mayor ejercicio del gasto en infraestructura. Sin embargo, como se mostró en la Figura II.1, la inversión para el desarrollo de infraestructura en ha visto mermado sus recursos año tras año.

Además, con la disminución de los recursos del gobierno federal destinados a obras de la SCT, es un reflejo de la caída de la inversión en infraestructura pública, que muestra sus niveles más bajos desde 2012. Entre 2014 y 2020, la

inversión pública para infraestructura en todos los sectores se redujo más de 20%. (Camara Mexicana de la industria de la construcción CMIC, 2021)

Con relación al gasto de inversión con indicadores de transporte, los años que se presentan son de 2012 a 2019, debido que es la información más reciente y disponible en el documento "Principales estadísticas del sector comunicaciones y transporte 2020" (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2020). Los indicadores relacionados con la inversión en el sector transporte son:

- Longitud de la red nacional carretera
- Longitud de vías ferroviarias
- Número de aeropuertos

A pesar de que el sector transporte es de los de mayor inversión en el país, esto no se ve reflejado en los indicadores, ya que los tres se han mantenido relativamente estables. En el caso de la red nacional carretera se ha incrementado 8% en el periodo de 2012 a 2018, pasando de 377 mil 660 kilómetros en 2012 a 407 mil 959 kilómetros en 2018. (Figura II.2)

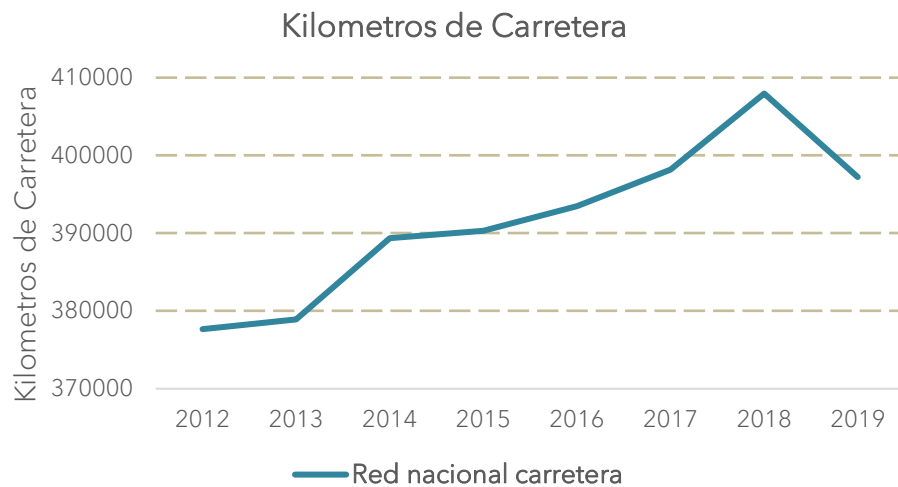


Figura II.2 Longitud de la red nacional carretera 2012-2019
Fuente: Elaboración propia con información de las Principales estadísticas del sector comunicaciones y transporte 2020

En el caso de la longitud de las vías ferroviarias, permanecieron constantes de 2012 a 2015 para incrementarse en 2016 y permanecer constantes a 2019. En el período de 2012 a 2018, la longitud de las vías ferroviarias se ha incrementado en 0.8% (Figura II.3)

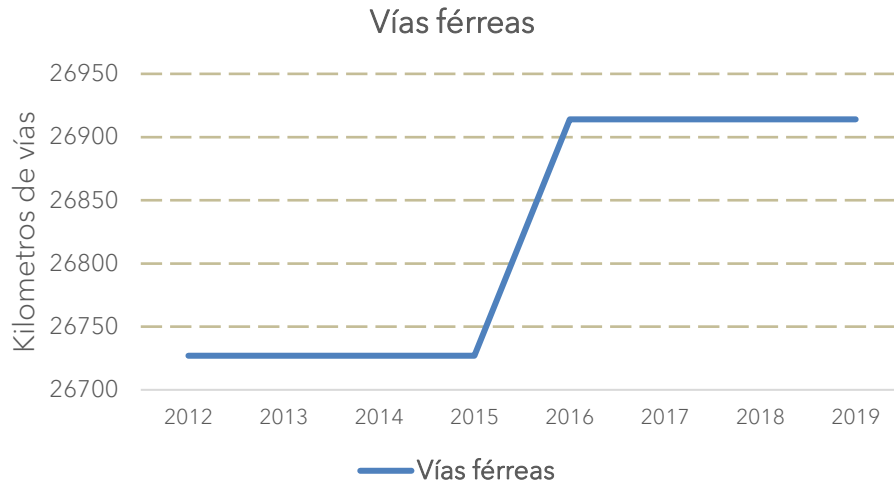


Figura II.3 Longitud de vías férreas 2012-2019
 Fuente: Elaboración propia con información de las Principales estadísticas del sector comunicaciones y transporte 2020

En los aeropuertos se observa algo similar a lo sucedido con las vías ferroviarias, se han mantenido constantes de 2012 a 2016, con 76 aeropuertos. En 2019, se inició la construcción de un nuevo aeropuerto en el país, para pasar a 77 aeropuertos, sin modificarse el número en el 2020.

Por otro lado, en un estudio que realizó el CEESCO Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (2019) sobre la situación de la industria de la construcción en México, se indica el porcentaje de participación de la Obra Pública por entidades federativas en el primer trimestre del año 2019 (Figura II.4).

- Los estados que registraron mayores caídas en el valor de obra pública durante los primeros tres meses de 2019, fueron: Baja California Sur

68.9%, Quintana Roo con -66.7% y Querétaro con -66.4%, relacionado al primer trimestre de 2018.

- Los estados que observaron mayores incrementos en la contratación de obra pública durante los primeros tres meses de 2019 fueron: Colima con 151.8%, Nayarit, 67.9% y Campeche con 56.4%, en comparación a los primeros tres meses de 2018.

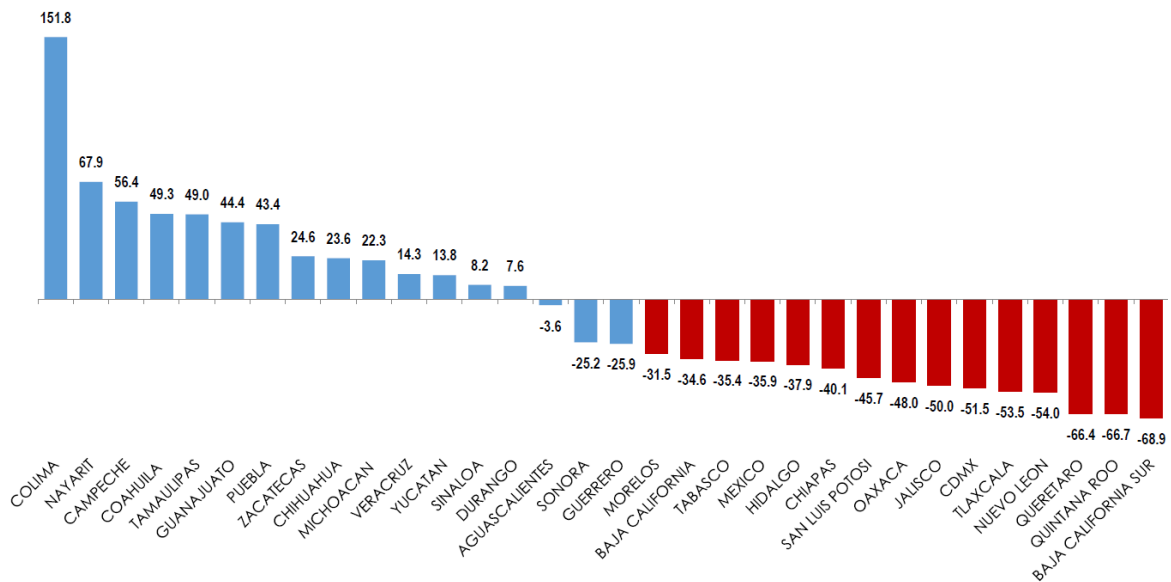


Figura II.4 Variación porcentual de la Obra Pública por entidad federativa

Fuente: (Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción, 2019) con información de la ENEC del INEGI

En datos recientes, en el periodo enero-marzo de 2021 representó el segundo trimestre con la menor derrama para el sector desde que inició la administración. Entre enero y marzo, el gobierno federal destinó seis mil 40.3 millones de pesos a obras carreteras, de caminos, puentes, puertos, trenes y telecomunicaciones, a cargo de la dependencia, cifra 26.7% menor a la derrama del mismo periodo de 2020.

En términos estadísticos, la inversión en infraestructura a cargo de la SCT en el arranque del año 2021 fue 48.4% menor a la del último cuarto del 2020, de

acuerdo con las Estadísticas Oportunas de las Finanzas Públicas de la Secretaría de Hacienda. (Camara Mexicana de la industria de la construcción CMIC, 2021)

El Centro de Investigación Económica y Presupuestaria (CIEP) dijo en el reporte Infraestructura en México: Prioridades y deficiencias del gasto público, que esta caída en el gasto público en infraestructura impacta en el desarrollo económico y humano de la población.

Con el objetivo revertir esta situación, el gobierno de México ha establecido una serie de estrategias para facilitar y acelerar la implementación de proyectos que contribuyan al crecimiento y desarrollo del país, mediante el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024 (PSCyT), derivado del Programa del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024.

Aunque en el Programa Sectorial se establecen cuatro objetivos prioritarios, para efectos de esta investigación y considerando el autor como mayor interés los temas que competen con la infraestructura de transporte, solo se describen las estrategias puntuales de los primeros dos objetivos:

Objetivo prioritario 1

- Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición.

- Estrategia prioritaria 1.1
 - Mejorar el estado físico de la Red Carretera Federal a través de la conservación y reconstrucción para aumentar el bienestar, la conectividad y seguridad de los usuarios de carreteras.

- Estrategia prioritaria 1.4

- Incrementar la cobertura y accesibilidad de las vías de comunicación para impulsar el desarrollo regional y disminuir la marginación.
- Estrategia prioritaria 1.5
 - Mejorar la planeación y prospectiva de la infraestructura carretera, para contar con procesos sólidos y ágiles de terminación de obra y detectar oportunamente las necesidades futuras de la infraestructura carretera.

Objetivo prioritario 2

- Contribuir al desarrollo del país mediante el fortalecimiento del transporte con visión de largo plazo, enfoque regional, multimodal y sustentable, para que la población, en particular en las regiones de menor crecimiento, cuente con servicios de transporte seguros, de calidad y cobertura nacional.
- Estrategia prioritaria 2.1
 - Promover proyectos de infraestructura aeroportuaria y ferroviaria en función de las prioridades del desarrollo regional y la inclusión social, a fin de mejorar la cobertura propiciar una mayor conectividad territorial, en particular en las zonas de menor crecimiento.
- Estrategia prioritaria 2.3
 - Actualizar el marco jurídico del transporte, en términos de impacto, eficiencia, competitividad, transparencia, equidad e inclusión, a fin de fortalecer la capacidad rectora del Estado y evitar la corrupción.
- Estrategia prioritaria 2.6
 - Impulsar la planeación estratégica de largo plazo del sector transporte con base en criterios de desarrollo regional y logístico,

inclusión social, conectividad, sustentabilidad e innovación tecnológica, a fin de contribuir al desarrollo económico y social sostenido.

Por último, en noviembre del año 2019 fue presentado por parte de un grupo de organizaciones del sector privado entre las que destacan del Consejo Coordinador Empresarial (CCE) y la Asociación Mexicana de Bancos (AMB), el denominado Acuerdo Nacional de Inversión en Infraestructura del Sector Privado 2019.

En el documento presentado, se establece que el sector privado ha identificado mil 600 proyectos de inversión pública y privada en infraestructura que podrían contribuir a lograr un crecimiento superior al 4% propuesto por el gobierno de México en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, con un objetivo de alcanzar una inversión anual en infraestructura de alrededor del 5% del PIB Nacional.

Los principales rubros de inversión se suscriben a obras de infraestructura en Turismo, Transporte y Telecomunicaciones.

Los compromisos establecidos entre la Iniciativa Privada y el Gobierno Federal son:

- Concluir obras en proceso e iniciar nuevos proyectos de inversión privada, nacional y extranjera.
- Promover y facilitar la participación de la inversión privada en infraestructura.
- Definir el mejor esquema para la ejecución de cada proyecto.
- Identificar, evaluar, estructurar y autorizar el desarrollo de proyectos de infraestructura, en el ámbito de su competencia.

En el Acuerdo Nacional de Inversión en Infraestructura del Sector Privado 2019, en lo que concierne al sector del Transporte, se proponen 42 proyectos carreteros, 8 ferroviarios, 22 en puertos marítimos y 29 en aeropuertos.

En cuanto la construcción de carreteras y puentes, destacan por su monto e importancia los siguientes proyectos:

- Culminación a 4 carriles de la autopista Manzanillo-Guadalajara;
- El segundo piso de la Caseta de Indios Verdes a la Caseta de la autopista México-Pachuca
- El Viaducto elevado de Santa Catarina, N.L.
- La denominada Autopista Interserrana.
- La Autopista de Las Varas a Puerto Vallarta.
- La Autopista La Piedad-La Barca; La Autopista de La Tinaja a Cardel, Ver.;
- El Libramiento Periférico de la zona conurbada de Córdoba, Orizaba y Ciudad Mendoza en Veracruz.
- El Puente Internacional Nuevo Laredo.
- Terminación de la ampliación carretera entre Coatzacoalcos y Salina Cruz.
- Culminar el Tren Interurbano México-Toluca
- El corredor ferroviario del municipio de García al aeropuerto de Monterrey

Cabe mencionar que, el acuerdo establece un mecanismo de participación continua donde se dará seguimiento y se incorporarán nuevos proyectos. Los proyectos pueden generarse desde el Gobierno Federal, Gobiernos Locales o la Iniciativa Privada.

2.2 Productividad en la construcción

El sector de la industria de la construcción está cambiando a un ritmo acelerado en todo el mundo, donde, además, la competitividad se ha convertido en un factor determinante en el desarrollo de cualquier país, por lo que se busca implementar mejores planes estratégicos, así como la utilización de nuevas herramientas tecnológicas con el fin de incrementar la productividad en dicho sector, ya que actualmente se exhibe un rezago en la construcción respecto al resto de la economía a nivel mundial.

La importancia de este sector en la economía radica en que su comportamiento se asemeja a la economía en su conjunto, esto es, en periodos de crecimiento de la economía, el sector de la construcción invariablemente crece, mientras que, en periodos de recesión, la construcción es el sector que resiente primero dicha situación (Robles Rodríguez y Velázquez García, 2013).

Desde una perspectiva global, el McKinsey Global Institute (2017) en su estudio “*Reinventing construction: A route to higher Productivity, 2017*” menciona que la construcción es a nivel mundial, la industria con la menor crecimiento en productividad en los últimos 20 años a pesar de los múltiples cambios geopolíticos en el mundo.

En una muestra de países analizados (Figura II.5), en los últimos diez años, menos de una cuarta parte de las empresas constructoras han igualado el crecimiento de la productividad logrado en las economías generales en las que trabajan, lo que quiere decir que hay muchos proyectos de construcción que sufren por sobrecostos y tiempo.

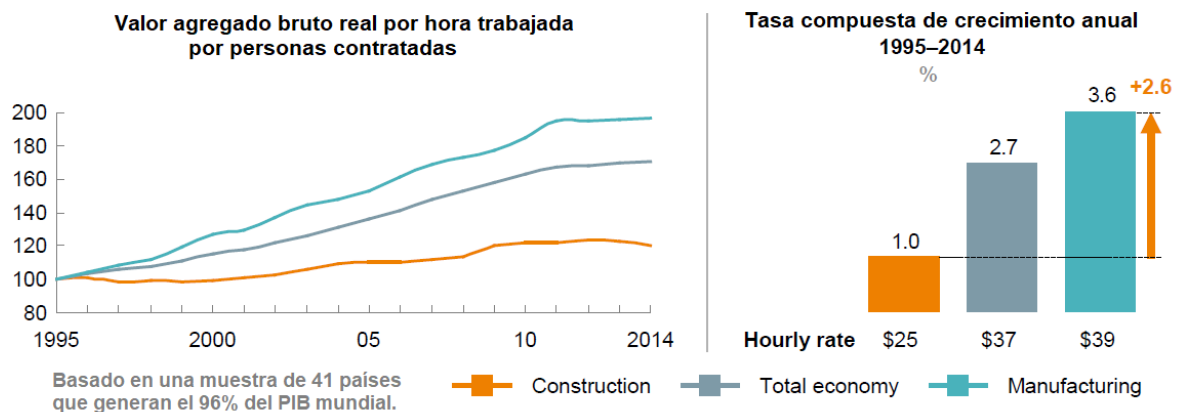


Figura II.5 Crecimiento de la productividad laboral a nivel mundial
Fuente: (McKinsey Global Institute, 2017)

Por consiguiente, el desempeño de la productividad laboral de los sectores de la construcción en todo el mundo no es uniforme, como se muestra en la Figura II.6,

existen grandes diferencias regionales, aunque también existen focos visibles de excelencia.

Desafortunadamente, se aprecia que en México es uno de los países con mayor rezago en cuanto al crecimiento de su productividad laboral, en relación con Estados Unidos y países de Europa principalmente.

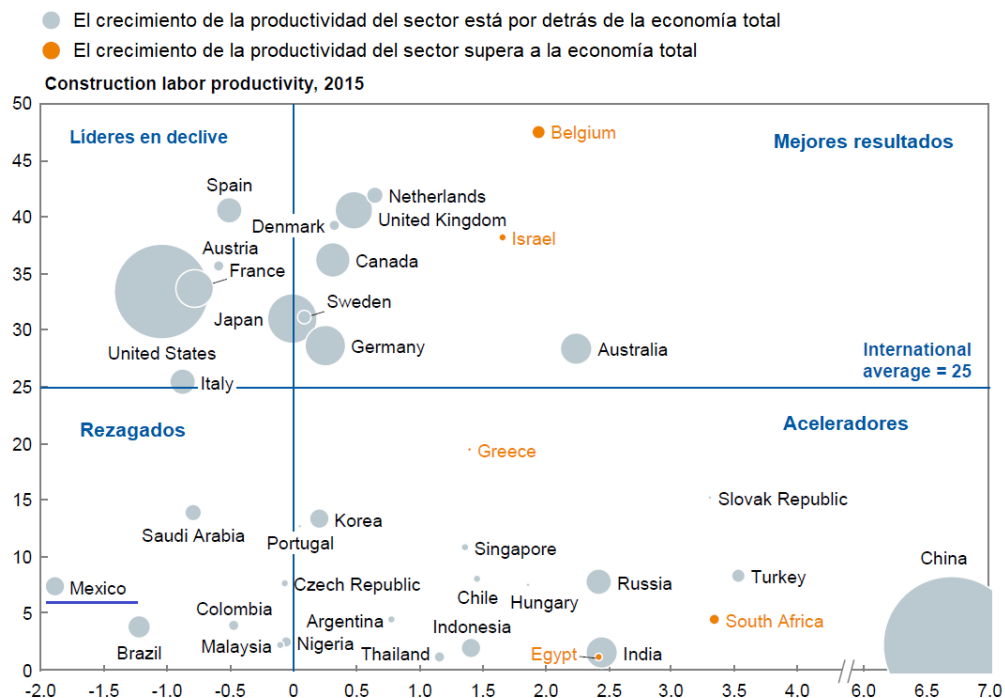


Figura II.6 Crecimiento de la productividad de la mano de obra en la construcción, 1995-2015
 Crecimiento anual del valor agregado bruto real por hora trabajada por personas
 Fuente: (McKinsey Global Institute, 2017)

Dentro del mismo estudio, el *McKinsey Global Institute* (2017), hace mención sobre los enormes sobrecostos y retrasos en los proyectos de construcción como factor influyente en la productividad laboral de la construcción, y que, el precio promedio de los proyectos de construcción aumentó más rápido que el índice de precios al consumidor entre 2008 y 2016.

Esto demuestra la disminución relativa en el valor que entrega la industria de la construcción con respecto al resto de la economía (Figura II.7).

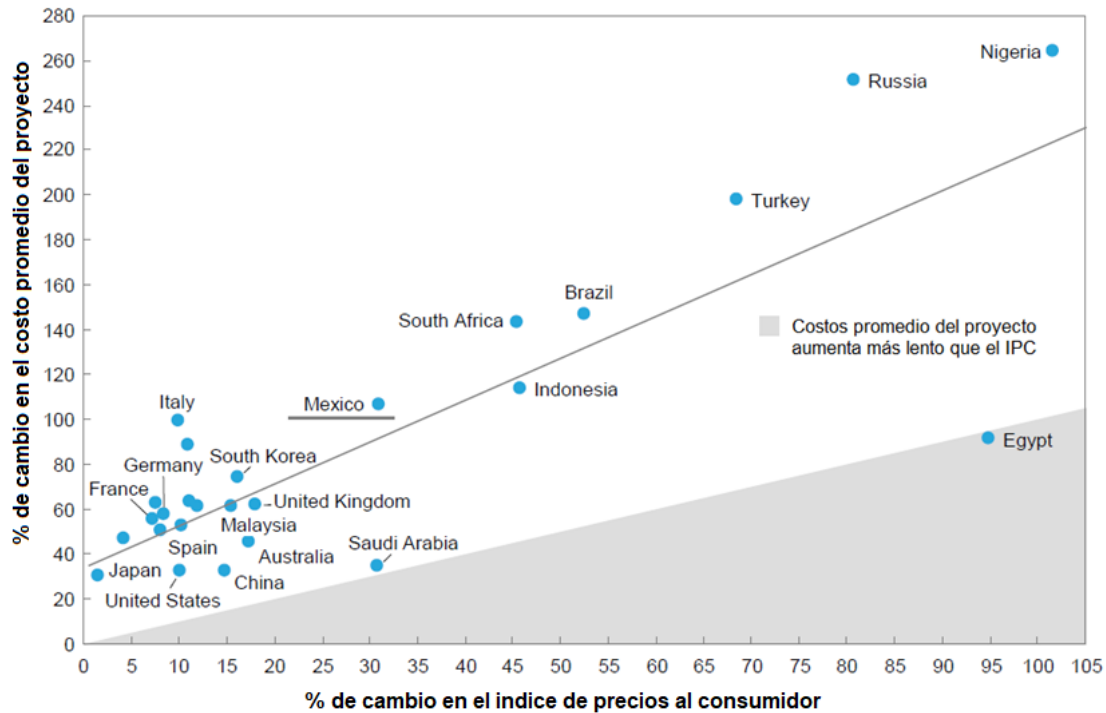


Figura II.7 Costos del proyecto (moneda local) frente al índice de precios al consumidor
Fuente: (McKinsey Global Institute, 2017)

En lo que respecta a los factores que inciden en una baja productividad en la mayoría de los países incluyendo el nuestro, el *McKinsey Global Institute* dentro de su estudio, identificó 10 causas fundamentales que subyacen un bajo crecimiento de del sector de la construcción, las cuales se dividen en tres bloques:

1. Fuerzas externas

- Incremento de las características del proyecto y complejidades del sitio.
- Regulación extensiva, terrenos irregulares, y la inversión pública.
- Informalidad y susceptibilidad a la corrupción distorsiona el mercado.

2. Industria dinámica

- La construcción es opaca y altamente fragmentada
- Estructuras contractuales y los incentivos están desalineados
- Hecho a medida o subóptimos requisitos del propietario

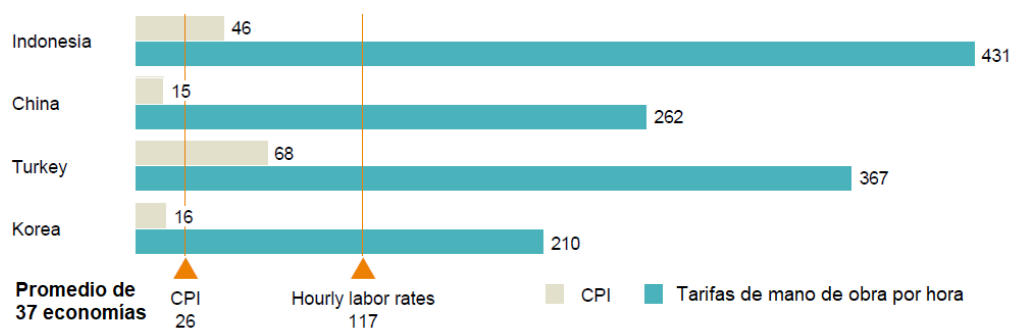
3. Factores operativos

- Procesos de diseño y la inversión es inadecuada
- Mala gestión de proyectos y conceptos básicos de ejecución
- Mano de obra insuficientemente calificada en primera línea y niveles de supervisión
- La industria invierte insuficientemente en digitalización, innovación y capital

Por su parte, en el artículo “La productividad en la construcción, muy baja” publicado en la revista Forbes (Arreola, 2018) señala que las principales causas de una baja productividad de la construcción en México son:

- La contratación de personas en lugar de la compra de máquinas, dado especialmente el bajo nivel salarial del país y el sector.
- La volátil demanda para construir, dependiente de las condiciones de los sectores público y privado, que ocasiona ciclos continuos de inversión y freno a la misma.
- El bajo grado de digitalización e innovación. Por ejemplo, apenas 1% de los costos globales del sector pasan por el software, mientras que otras industrias destinan entre 3.5% y 4.5%.

Otro factor para considerar es que, México se encuentra entre los 10 países con la mayor diferencia de puntos porcentuales de cambio en el índice de precios al consumidor (IPC) y los costos laborales por hora de construcción, lo que representa como una baja productividad por cada hora trabajada en el sector de la construcción (Figura II.8).



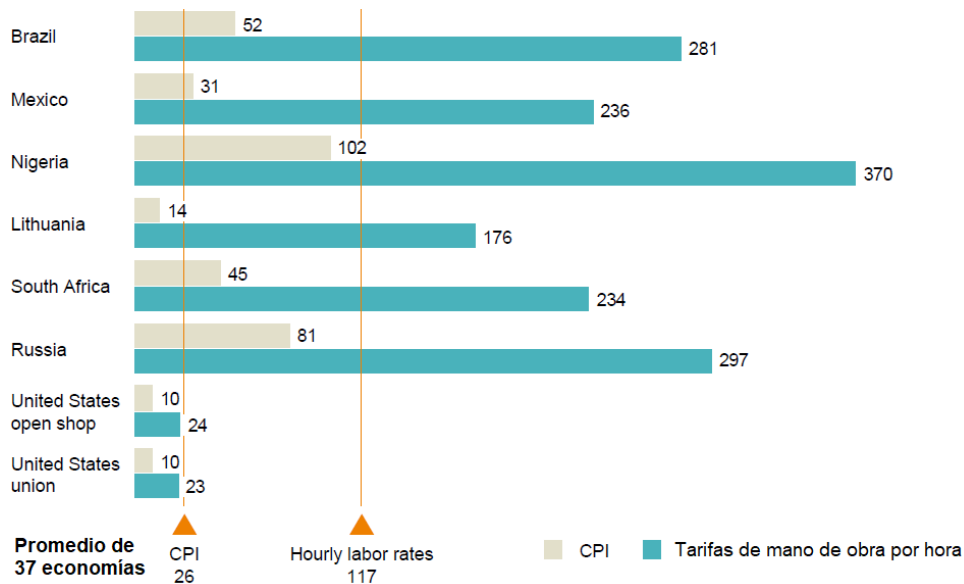


Figura II.8 Países con mayor diferencia entre el precio al consumidor y las tarifas de mano de obra. Fuente: (McKinsey Global Institute, 2017)

En función a los resultados del anterior análisis, sin duda es evidente que México está en desventaja y rezago en relación con el crecimiento productivo frente a economías más desarrolladas, de modo que, es trascendental que se actúe con rapidez y eficiencia en la implementación de nuevas herramientas tecnológicas que permitan mejorar sus índices de competitividad en el sector.

Considerando que se debe de aprovechar de forma óptima los recursos destinados a la infraestructura ya sea con inversión pública o con inversión privada, en beneficio del desarrollo económico del país, ya que como se mencionó al inicio de este capítulo, aparte de tener recursos limitados, estos tienden a disminuir conforme avanza el tiempo.

Por esta razón, el McKinsey Global Institute establece 7 estrategias para contrarrestar las causas que están ligadas al bajo crecimiento de la productividad. Con estos enfoques se pueden reducir costos, mejorar la confiabilidad y aumentar, principalmente la productividad:

1. Reformar la regulación y aumentar la transparencia.
2. Replantear el marco contractual.
3. Rediseñar los procesos de diseño e ingeniería.
4. Mejorar la gestión de la cadena de suministro y las adquisiciones.
5. Mejorar la ejecución en el sitio.
6. Impulsar el uso de la tecnología digital, nuevos materiales y automatización
7. Volver a capacitar a la fuerza laboral.

Conforme a los alcances de la presente investigación, de la lista anterior se desprende el punto número 6, donde se hace mención sobre el impulso del uso de tecnología digital, el cual, es el eje principal que guiará a los lineamientos para continuar con el desarrollo de esta investigación. Ya que, dentro de los principales objetivos, es la aplicación de una metodología BIM como herramienta tecnológica para incrementar la productividad en el diseño y planeación de proyectos de infraestructura de transporte.

2.3 El uso BIM en el desarrollo de proyectos

De acuerdo con lo descrito en el capítulo 1, concerniente a la implementación de BIM en el proceso de proyectos de construcción en México, se observa que su evolución ha sido de manera paulatina, utilizada principalmente por el sector privado en el desarrollo proyectos de edificios. Además, como también se ha analizado, su aplicación en el ámbito de la infraestructura pública aún se encuentra en fase de implementación, debido a su complejidad y particularidad, las estructuras como puentes, caminos, túneles, etc., están un pequeño paso por detrás en cuanto al uso de la metodología, siendo un factor relevante en la eficiencia operativa durante su diseño, planeación y ejecución. (Factoria 5, 2020)

Por lo anterior, debe considerarse que, con el crecimiento en los índices la productividad, se puede inferir en los efectos positivos potenciales en los demás

sectores económicos, y esto constituiría un beneficio económico y social al país. (Alpuche Sánchez, 2004). Asimismo, traería consigo ventajas adicionales como:

- Mayor competitividad.
- Satisfacción del cliente.
- Confianza de clientes y proveedores.
- Permanencia en el mercado a mediano y largo plazo.
- Disminución y cumplimiento de los plazos de entrega.
- Disminución de costos.
- Uso eficiente de los recursos naturales y de la fuerza laboral.
- Reducción de desperdicios de materias primas.
- Evita atrasos en las fechas de terminación de cada elemento en la obra.
- La reducción de los tiempos muertos de máquinas.

De lo anterior, es necesario analizar si la utilización de herramientas digitales y/o tecnológicas (BIM) como una alternativa a los procesos tradicionales de proyectos de construcción, permitiría lograr resultados más eficientes en el desarrollo de infraestructura pública de transporte, y no es mera moda o tendencia.

Primeramente, los alcances de la metodología deben de estar definidos en un plan de ejecución, con la intención de definir los procesos a realizar durante la etapa de generación de información y modelado BIM. Desde un inicio es importante definir qué alcances tendrá dentro del proyecto, de lo contrario, la información que se pueda obtener del modelo podrá estar incompleta y se tendrá que invertir tiempo adicional a esta tarea.

2.3.1 BIM para el diseño de proyectos

Carlos Jurado (2014), en su artículo “Beneficios de BIM en el diseño de proyectos” publicado en la revista Costos, dice que las etapas del ciclo de vida de una edificación se pueden dividir en 4: diseño, licitación, construcción y operación; también explica que, si nos enfocamos sólo en las 3 primeras, el

esfuerzo que se invierte durante la ejecución es alrededor del 65% del proyecto, lo que es mayor a lo invertido en el diseño. (Figura II.9)



Figura II.9 Grupo de Procesos de un proyecto
Fuente: PMBOK 5ta Edición

Además, explica que entre más cerca estemos del inicio del proyecto, mayor será la posibilidad de influir en los costos y funcionalidad del proyecto. Es por esto la importancia de mover todo el esfuerzo hacia la parte de diseño. En la Figura II.10 se muestra una de las gráficas más representativas que *Patrick Macleamy* ajustó de la curva existente de costo vs esfuerzo obtenida de las buenas prácticas de *Project Management Institute*.

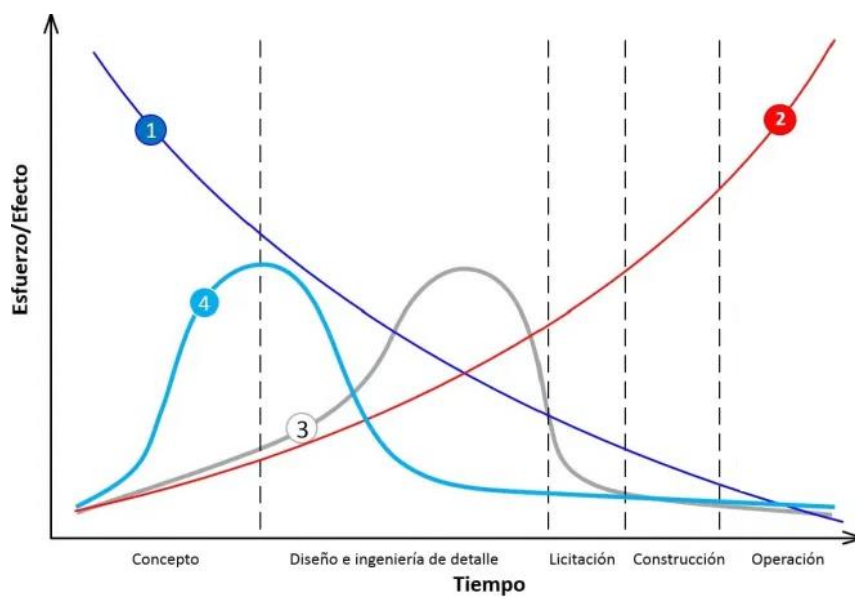


Figura II.10 Curva costo vs esfuerzo (curva Macleamy)

Fuente: Revista Costos, Perú (Jurado, 2014)

Se puede decir que dentro de la etapa de diseño es donde más se tiene documentado la mejora del proceso BIM, cuando se compara con el proceso tradicional. Dentro de este ciclo de vida, la AIA recomienda fragmentarlo en procesos para poder obtener el producto final:

- Diseño esquemático
- Diseño conceptual
- Desarrollo de diseño y
- Documentos de construcción

Al diseñar con un modelo BIM, los diseñadores pueden trabajar con conceptos en 3D en una representación del entorno real, una vez creado el modelo se puede evaluar una variedad de configuraciones y geometría. (Figura II.2)

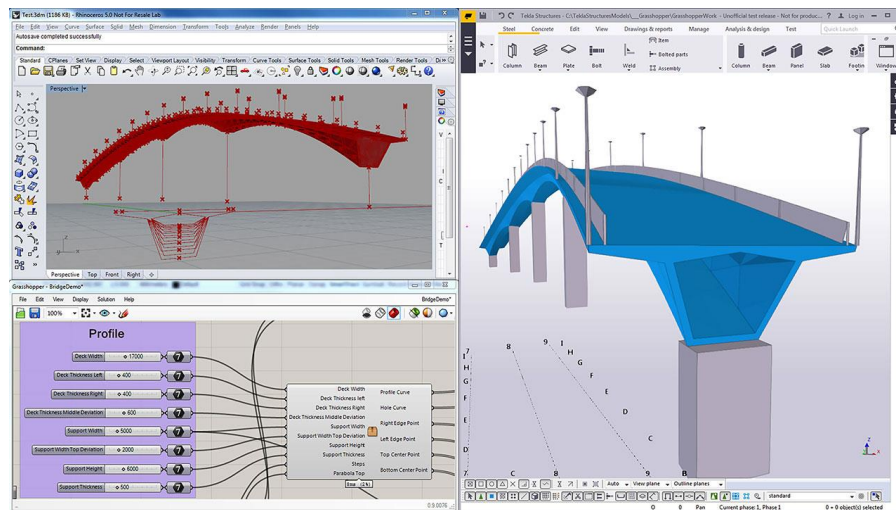


Figura II.2 Ejemplo del modelado y diseño de la geometría de un puente

Fuente: (Tekla Trimble, 2021)

Ya que la complejidad de muchos proyectos de infraestructura requiere una intensa colaboración multidisciplinaria y dado que el modelo se compone de objetos ricos en datos, con relaciones definidas entre sí y con el entorno, los diseñadores en el proyecto tienen a su disposición información bastante útil y

pueden, a su vez, contribuir al modelo sin que se comprometa la fidelidad de los datos. (Figura II.3)

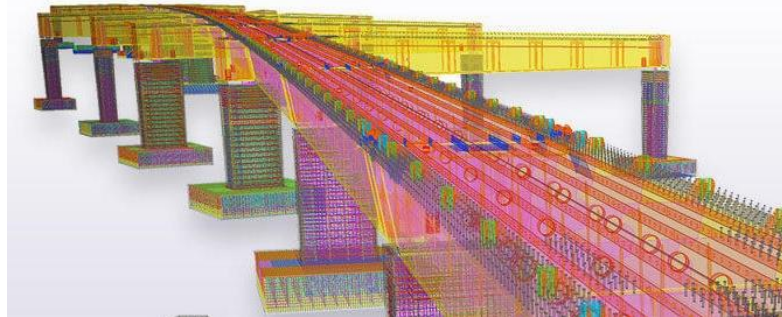


Figura II.3 Ingeniería de detalle de acero de refuerzo en puentes
Fuente: (Tekla Trimble, 2021), <https://cutt.ly/5EnUx09>

Posteriormente, una vez que el modelo esté correcto, se puede producir todos los planos (de ingeniería básica, de taller, habilitado, de construcción, etc) especificaciones y listas de materiales que le siguen con la total seguridad de que esta documentación es la correcta. (Figura II.4)

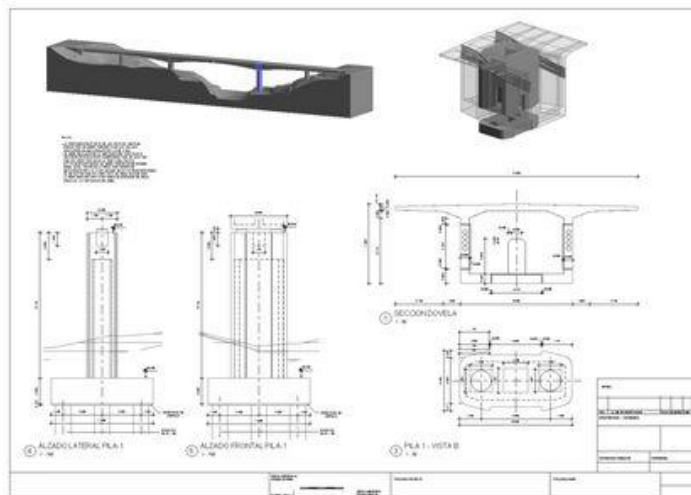


Figura II.4 Documentación obtenida con BIM
Fuente: Modelical, <https://cutt.ly/8EnIFuT>

A diferencia del método tradicional donde se usa información bidimensional, con la metodología BIM se automatiza principalmente los aspectos de la producción

del dibujo, ya que redistribuye los esfuerzos, poniendo más énfasis en el diseño conceptual y desarrollo de diseño.

2.3.2 BIM para la gestión de proyectos

Mediante la metodología BIM, el alcance del proyecto queda claramente vinculado al modelo digital 3D con toda la información de cada una de las unidades de obra, lo que permite establecer mejor la planeación previa a la construcción, por ejemplo, en actividades como la división de etapas, secuenciación, calendarización, cálculo de cantidades y costos.

Al contar con acceso al modelo, los involucrados (clientes o contratistas) pueden licitar de manera más precisa en menos tiempo al evaluar las diferentes actividades que requieren coordinarse, como los caminos temporales, la ubicación de materiales y otros asuntos de logística antes de iniciar la obra. Las operaciones de construcción también se facilitan a través del proceso BIM, ya que permite agregar datos al modelo para permitir la gestión de tiempos (4D) y costos (5D) del proyecto.

La gestión de tiempos (planificación) se puede elaborar en softwares como MS-Project o primavera y después importarse al programa 4D, o bien, puede realizarse directamente dentro del propio programa 4D. Actualmente los programas para la gestión de tiempo y programación más conocidos son Synchro y la herramienta Timeliner de Navisworks. Aunque este último es un poco limitado para elaborar la programación. (Figura II.5)

Los procesos por seguir para la elaboración de un programa de trabajos están copiados en la guía PMBoK del PMI en el grupo de procesos del área de gestión del tiempo:

- Planificar la Gestión del Cronograma
- Definir las Actividades
- Secuenciar las Actividades

- Estimar la duración de la Actividades
- Desarrollar el Cronograma

Al respecto de la dimensión 4D de BIM se puede decir que es una herramienta útil para la planeación, aunque es un error pensar que la dimensión 4D de BIM es una alternativa a la gestión del tiempo que se realiza actualmente con programa como MS-Project o Primavera, por lo que se recomienda tomarlo como un complemento.

2.4 Experiencia de puentes vehiculares con BIM

Como se ha visto en los primeros capítulos, Estados Unidos y Europa, llevan la delantera en cuanto a la implementación de BIM para el desarrollo de proyectos de infraestructura. No obstante, en México apenas se está en fase de legalización y normalización. Como ejemplo, uno de los primeros registros que se tienen sobre el uso de una metodología BIM es el proyecto Tren Interurbano México-Toluca en el tramo III.

Como antecedente, en noviembre de 2015 la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno de la Ciudad de México (SOBSE), publicó una convocatoria para el apoyo técnico y administrativo a las áreas responsables de la ejecución de los trabajos de la construcción y obras complementarias del tramo 3 para el viaducto elevado. Dentro de los apoyos técnicos requeridos por la dependencia se encuentran los siguientes:

- Apoyos Generales a las Áreas responsables de la Ejecución de las Obras.
- Apoyo Técnico Administrativo de ingeniería geodésica.
- Apoyo Técnico Administrativo para el control de BIM

Siendo el consorcio IUYET S.A. de C.V., el elegido para técnico en ingeniería geodésica y en el control de obra en ambiente BIM. El consorcio utilizó la plataforma de Autodesk para el control de obra en el tramo III.

Para la captura de la situación se utilizaron escaneos laser y levantamiento mediante drones, ReCap para procesar las nubes de puntos obtenidas; utilizaron AutoCAD para recibir información de clientes y de otras empresas; Revit para el diseño y modelado del proyecto; InfraWorks para el diseño conceptual y visualización del proyecto; Navisworks para la revisión de interferencias e integración de especialidades; 3dsMax para renders y animaciones y A360 como visualizador, entre otras herramientas. Esta declaración coincide con los esfuerzos realizados por Autodesk para mejorar el uso de la plataforma BIM en proyectos de infraestructura (figura II.6)



Figura II.6 Proceso propuesto por Autodesk para proyectos ferroviarios con BIM
Fuente: Rail: From Planning and Concept to Detailed Design, 2019

Modelar las condiciones del sitio es una de las primeras tareas para poder planear correctamente el proyecto, con ello se persiguen los siguientes objetivos:

- Tener modeladas las condiciones existentes del terreno.
- Realizar una integración con los Sistemas de Información Geográfica (GIS)
- Poder buscar los criterios de sustentabilidad y analizar alternativas para el proyecto
- Programar la utilización de los terrenos para la obra

Para el caso del tramo III, se realizó un levantamiento topográfico de alta resolución (HDS), con el que se capturan datos 3D con precisión milimétrica y que permite trabajar en un ambiente digital. Fue mediante escáner laser y levantamiento con drones que lograron obtener el levantamiento completo del sitio. Para procesar las nubes de puntos obtenidas se utilizó ReCap, y posteriormente esta fue la información utilizada para iniciar con el diseño de la vía.

Con el objetivo de realizar el diseño conceptual del proyecto, una vez que se tiene el levantamiento topográfico y la información ha sido analizada, ésta se puede utilizar en un programa como Infracore con el propósito de empezar con el modelado y análisis de soluciones a los problemas de diseño (figura II.7)

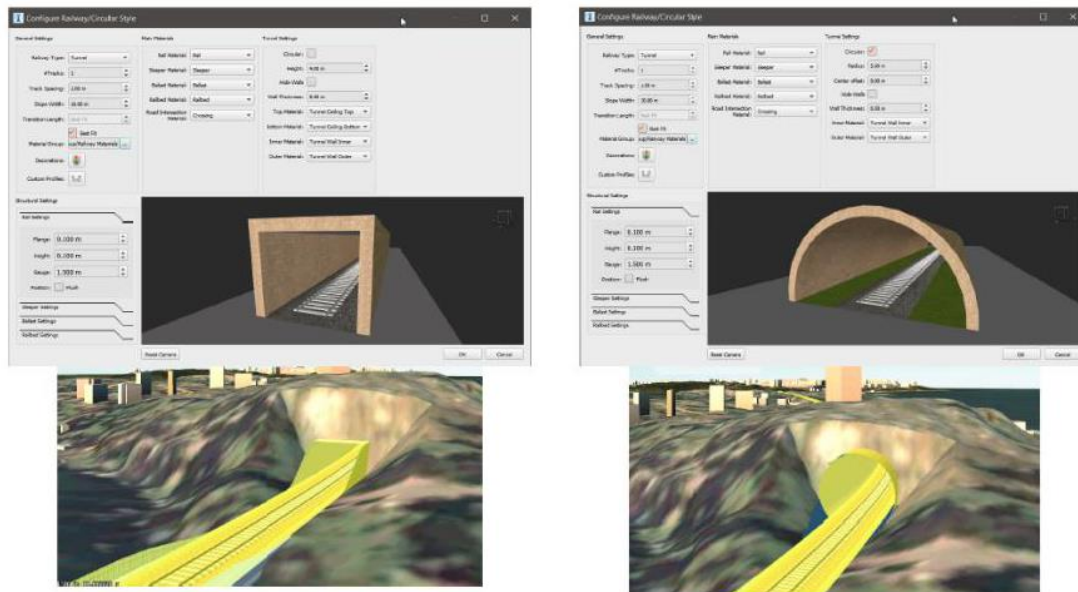


Figura II.7 Ejemplo de ventajas en la toma de decisiones con Infracore
Fuente: Rail: From Planning and Concept to Detailed Design, 2019

Ya con un diseño conceptual y básico se puede proceder al detalle, esto se logra mediante la utilización de programas como Civil 3D y Revit. Algunas de las tareas que se pueden realizar son las siguientes:

- Diseño de puentes y viaductos elevados.
- Cálculo de pendientes.

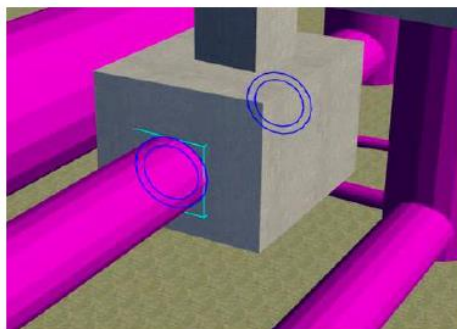
- Diseño de los rieles de la vía.
- Modelado de los terraplenes.
- Modelado de corredores viales.
- Cuantificación del volumen de movimiento de tierras.
- Obtención de la documentación para la construcción.

Para el modelado en esta etapa, una opción es utilizar un programa de diseño como Revit, con el objetivo de modelar a detalle las estaciones del tren, así como las estructuras del proyecto. También, mediante su integración con otros programas, se puede realizar el análisis estructural de los edificios que componen el proyecto.

Con la finalidad de poder revisar el diseño y detectar las interferencias, se realiza un proceso de coordinación entre las diferentes disciplinas del proyecto. Uno de los más utilizados y, que se reporta, se utilizó para el caso del Tren México-Toluca es Navisworks.

Parte de lo que se realiza en esta etapa son reportes, se comentan los dibujos o modelos, revisando que sean aptos para realizar planos de taller o se determina si necesitan mejorar sus especificaciones o un modelado más detallado.

Existen diferentes tipos de modelos y niveles de detalle, dependiendo de los requerimientos para ellos, como se muestra en la figura II.8)



Ejemplo de un modelo de coordinación



Ejemplo de modelo para su presentación

Figura II.6 Proceso propuesto por Autodesk para proyectos ferroviarios con BIM
Fuente: Rail: From Planning and Concept to Detailed Design, 2019

Gestión de la documentación:

- Para poder revisar la documentación y mantenerla actualizada se utilizan herramientas, tales como A360 y BIM360, que son formas de compartir y almacenar información en la nube, permitiendo así que sea posible ver y modificar información por parte del equipo de trabajo (figura II.9).



Figura II.9 Entorno común de datos (Common Data Environment)
Fuente: Rail: From Planning and Concept to Detailed Design, 2019

En concreto, dentro de este capítulo, se ha identificado que la inversión para el crecimiento de la infraestructura de transporte en México va en un descenso conforme transcurre el tiempo, no obstante, el sector gubernamental y privado han establecido acuerdos y mecanismos que coadyuvan al crecimiento de la inversión de la infraestructura en favor de un desarrollo económico y social del país.

Asimismo, se han detectado estrategias que contrarresten los factores que influyen en el bajo rendimiento de la productividad de la construcción con el objeto de optimizar los recursos (económicos y técnicos) que se destinan para su desarrollo, tal como es el caso de la implantación de herramientas tecnológicas como la aplicación de una metodología BIM, donde una vez sea adoptada para proyectos de infraestructura de transporte y en particular en puentes vehiculares, se espera traiga consigo múltiples beneficios en favor de mejorar la productividad del sector.

Por consiguiente, en el siguiente capítulo se describirá las características y elementos básicos que conforman un puente vehicular, a fin de involucrarse con los conceptos más relevantes para identificar los requerimientos de su concepción y tener una mejor comprensión de su diseño final.

3. PUENTES VEHICULARES

Dado el papel que desempeñan los puentes vehiculares en el desarrollo de infraestructura vial como obras fundamentales que coadyuvan a una mejor y más ágil circulación de cruces carreteros u otros obstáculos naturales (ríos, valles, etc.), y sin dejar atrás que, proporcionan mayor seguridad a la población a la hora de transitar en tramos federales o en zonas urbanas, se hace relevante conocer los conceptos básicos que están involucrados en su diseño y construcción.

Si bien, la intención del autor no es la de redactar un manual de diseño y construcción de puentes carreteros, si se considera parte importante para el presente trabajo de investigación, describir sus partes principales, su normatividad, y la metodología que se lleva a cabo al momento de su concepción y, posteriormente su construcción.

Con ello se espera el lector que no está familiarizado con todos esos conceptos pueda hacerlo de forma más práctica para que en los siguientes capítulos le sea más fácil identificarlos, también se espera que con ello pueda precisar las ventajas que ofrece el implementar una metodología BIM en puentes vehiculares.

3.1 Definición y clasificación

3.1.1 Definición

En lo que atañe a una definición general, se tiene que un puente es una estructura construida para atravesar un desfiladero, valle, camino, vía de tren, cuerpo de agua u otro obstáculo físico (Whitney, 2003), además menciona que su diseño y estructuración dependen de su función y de la naturaleza del sitio donde se será construido, algunos autores también mencionan que para que la estructura sea considerada como tal, debe tener una longitud mínima de seis (6) metros.

La Enciclopedia Británica describe una definición más técnica:

‘Un puente es una estructura que se extiende horizontalmente entre soportes, cuya función es la de transportar cargas verticales, es decir, son dos soportes que sostienen una viga, sin embargo, los problemas de ingeniería que deben superarse incluso en esta forma simple son inherentes a cada puente: los soportes deben ser lo suficientemente fuertes para sostener la estructura y el espacio entre los soportes debe ser lo suficientemente fuerte para soportar las cargas’

3.1.2 Clasificación

Existe una extensa clasificación de puentes vehiculares según sus características, ya sea por su función, su sistema constructivo o por los materiales que lo conforman. Particularmente y para efectos del presente trabajo, se describen los tipos de puentes que son de mayor aplicación en nuestro país.

Por su función conforme a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):

Viaducto

- Estructura que se construye sobre barrancas, zonas urbanas u otros obstáculos y cuyas dimensiones quedan definidas por razones geométricas, dependiendo de la rasante de la vialidad y del tipo de obstáculo que cruce.

Paso Superior Vehicular (PSV)

- Estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por encima de otra vialidad.

Paso Inferior Vehicular (PIV)

- Estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por abajo de otra vialidad.

Paso Superior de Ferrocarril (PSF)

- Estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por encima de una vía de ferrocarril.

Paso inferior ganadero (PIG)

- Estructura destinada al paso de personas y ganado, que se construye por encima de la carretera de referencia

Puente canal

- Estructura destinada exclusivamente al paso del flujo de un canal, que se construye por encima de la carretera de referencia.

De acuerdo a su arquitectura (figura III.1) se clasifican en:

- Puentes de viga
- Puentes de arco
- Puentes voladizos
- Puentes armadura
- Puentes colgantes
- Puentes atirantados

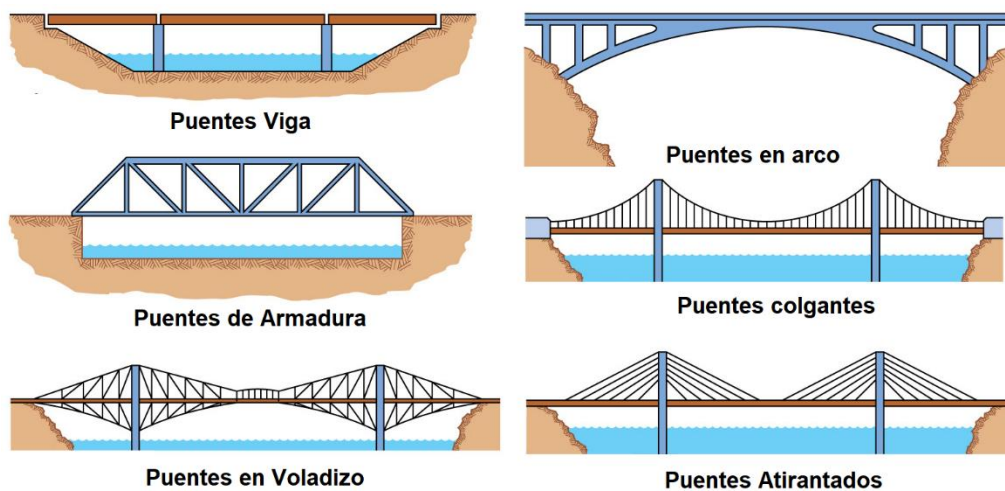


Figura III.1 Tipos de Puentes según su arquitectura
Fuente: (Encyclopedia Britannica, 2012)

Puentes viga

- Estructura es soportada a partir de vigas que se colocan paralelamente. La distancia entre las vigas del puente es asegurada por una serie de estribos o pilas que soportan el tablero (figura III.2).



Figura III.2 Puente Viga, Lake Pontchartrain Causeway
Fuente: Wikipedia, <https://cutt.ly/dEoEwz9>

Puentes de arco

- El arco es el componente principal de este tipo de puentes porque el tablero cuelga de él o se posiciona debajo de él según sea el caso. El arco cubre la totalidad del puente, extendiéndose de un extremo al otro de manera ininterrumpida. Del arco se desprenden tirantes verticales que sujetan al tablero en diversos puntos del mismo (figura III.3).



Figura III.3 Puente de Arco. Puente Lupu, China
Fuente: Revista Vector, <https://cutt.ly/6EoEsRd>

Puentes de armadura

- Son aquellos que se sostienen en la tensión conjunta de las diferentes piezas que componen el armazón, además no suelen tener muchos apoyos por debajo de ellos, trasladando la importancia al armazón superior, que tiene la función de soportar las cargas (figura III.4).



Figura III.4 Puente de Armadura. Puente Suecia, Boden,
Fuente: Pxhere, <https://pxhere.com/es/photo/658371>

Puentes en voladizo

- Este tipo de estructura se construye a partir del método de volados sucesivos, donde la superestructura se mantiene a partir de pilas que permiten la adición de tramos sucesivos a partir de los anteriores. Son capaces de salvar largas distancias, este método se usa mucho para la construcción de puentes de una gran altura (figura III.5).



Figura III.5 Puente en Voladizo, Colombia
Fuente: Wikipedia, <https://cutt.ly/VEoTNB0>

Puentes colgantes

- Son aquellos donde el tablero se suspende bajo un arco invertido compuesto de cables de acero. Estos cables se sostienen a partir de dos vigas de acero u hormigón en los extremos del puente, y sujetan el tablero mediante tirantes verticales (figura III.6).



Figura III.6 Puente Colgante. Akashi Kaiyo, Japón
Fuente: Cinconoticias, <https://cutt.ly/fEoYNDT>

Puentes atirantados

- Son aquellos cuyo tablero está suspendido por uno o varios pilones centrales que se enlazan con el tablero a través de tirantes. Similares a los puentes colgantes, pero se diferencian de ellos en que tienen componentes que actúan tanto por tracción como por compresión (figura III.7).



Figura III.7 Puente Atirantado. Puente Oresund, Dinamarca
Fuente: Cinconoticias, <https://cutt.ly/fEoYNDT>

3.2 Componentes principales

Las partes que componen la estructura de un puente pueden ir variando dependiendo del tipo (puente en viga, voladizo, atirantado, etc.). Sin embargo, las principales partes que conforman un puente vehicular se dividen en cuatro grupos:

- Superestructura
- Subestructura
- Cimentación (superficial y profunda)
- Elementos complementarios

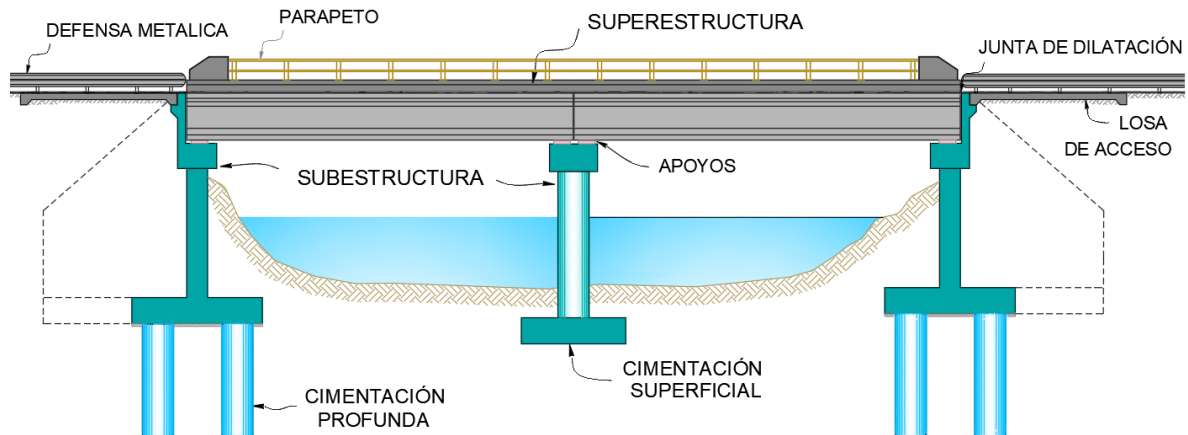


Figura III.8 Elementos principales de un Puente vehicular
Fuente: Elaboración propia

Superestructura

- Elementos que constituyen el tramo horizontal del puente donde actúa la carga móvil y está constituido por:
 - Losa del tablero
 - Vigas longitudinales y transversales
 - Guarnición y parapeto
 - Capa de rodamiento

En la figura III.9 se muestra una sección típica de los partes que conforman la superestructura.

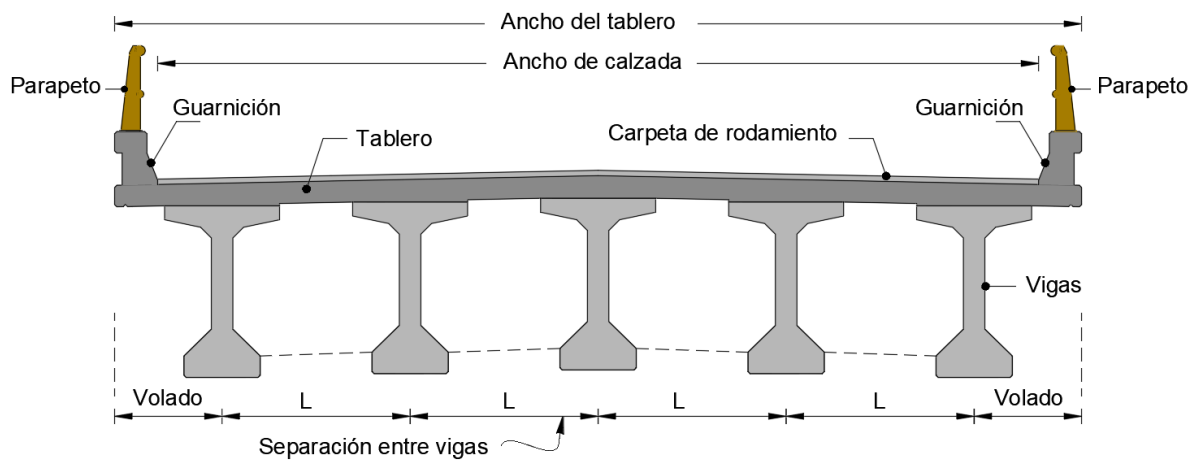


Figura III.9 Esquema de los elementos que conforman la Superestructura
Fuente: Elaboración propia

El tablero es el elemento (con o sin carpeta de rodamiento) que soporta las cargas en forma directa y que transmite esa carga a las vigas longitudinales. La guarnición y parapeto son elementos que funcionan como barreras que brindan seguridad tanto a los vehículos como a los peatones.

Las vigas soportan al tablero y se apoyan en sus extremos sobre la subestructura, es decir transmite las cargas procedentes del tablero a los apoyos (estribos y/o pilas).

Subestructura

- Elementos que soportan a las vigas, los cuales transmiten los esfuerzos de la superestructura hacia la cimentación, están diseñados para resistir presiones hidráulicas, cargas de viento, de impacto, etc. Los apoyos de la subestructura pueden ser de concreto reforzado o de acero y en casos especiales, mixtos. Se pueden clasificar en
 - Estribos
 - Pilas

En la figura III.10 se muestran los elementos básicos que conforman la subestructura.

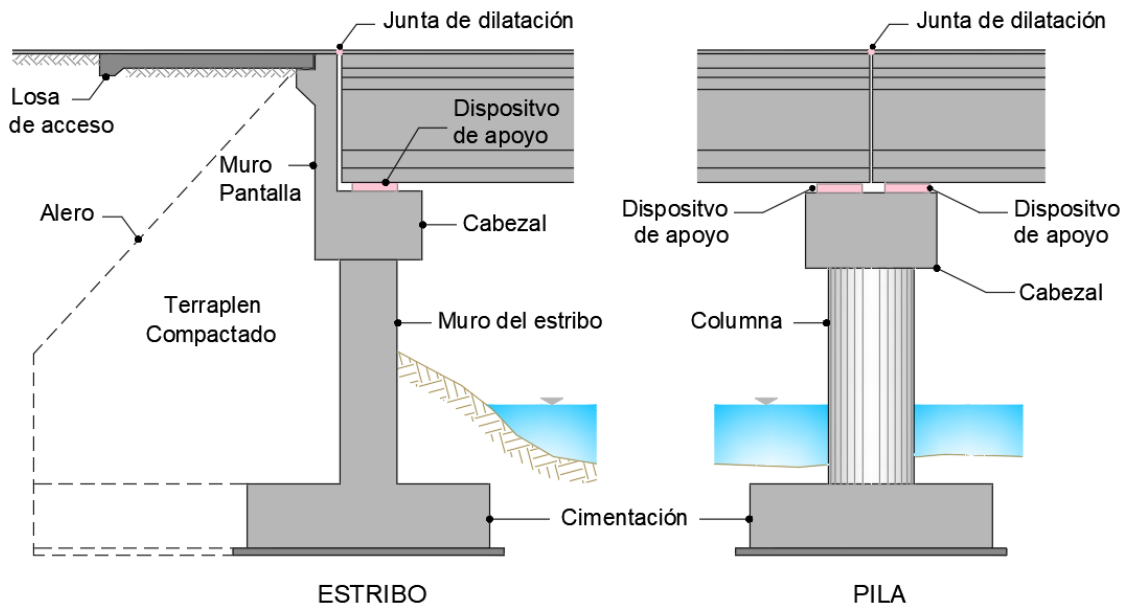


Figura III.10 Esquema de los elementos que conforman la Subestructura
Fuente: Elaboración propia

- Los Estribos son parte de la subestructura que le da soporte y a la vez crea una conexión entre esta y el terraplén. Su diseño fue pensado para aguantar la carga de la superestructura, donde llega a ser transmitida a través de elementos de apoyo, las presiones del suelo.
- Las Pilas son elementos de apoyo intermedio que transmiten los esfuerzos entre dos tramos de la superestructura. Son construidos de acero o concreto; y puede ser de una sección transversal variable o constante considerando la altura que tendrá el pilar. También pueden poseer una sección hueca o llena, donde su elección dependerá de la estética e ingeniería estructural.

Cimentación

- Se encuentra debajo del terreno de la superficie, a través de la cimentación del puente se transmiten las cargas al terreno, sin que sean mayores a las que este pueda soportar, garantizando estabilidad permanente de la estructura. Existen dos tipos principales de cimentación:
 - Superficial (zapatas, vigas flotantes, losas y emparrillados)
 - Profunda (pilotes hincados, colados en sitio y micropilotes)

En la figura III.11 se muestran los tipos de cimentación de la estructura de un puente

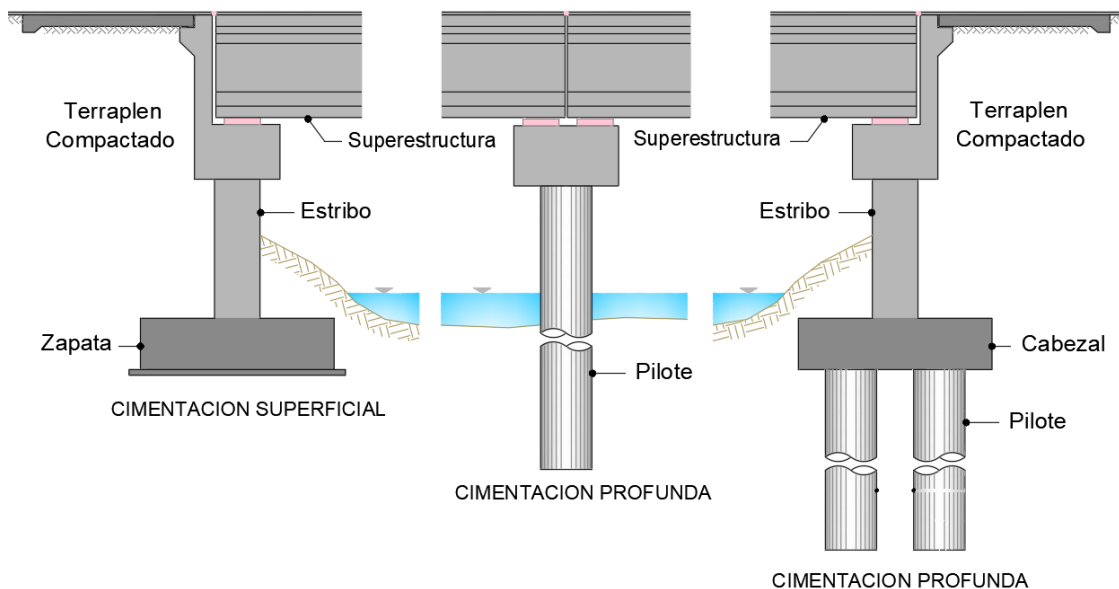


Figura III.11 Tipos de cimentación de un Puente vehicular

Fuente: Elaboración propia

- Las cimentaciones superficiales tienen su profundidad de apoyo en el suelo desarrollando su capacidad de carga y un mecanismo de falla en el que la fricción, por contacto lateral con el terreno, es despreciable. En terrenos resistentes que permiten apoyar la zapata a poca profundidad, el nivel de desplante suele quedar determinado por la prevención ante erosiones ocasionadas por el flujo eventual del agua. La utilización de cimentaciones superficiales se justifica en terrenos con suficiente resistencia al corte y sin socavaciones; tienen costos relativamente bajos.

- Las cimentaciones profundas son elementos verticales que transmiten al subsuelo las cargas provenientes de la subestructura, y que se emplean para transmitir esas cargas a estratos profundos del terreno. Su utilización se justifica al evaluar y concluir que el terreno no cumple estructural y económicamente, por ser suelos blandos no aptos para portar las cargas de imposición, y/o expuestos a socavación, típica de los cauces de los ríos.

Elementos complementarios

- Son considerados como elementos no estructurales, sin embargo, el rol que desempeña los hace casi imprescindibles para que la estructura funcione de manera integral. Nuevamente la cantidad de elementos secundarios puede variar de acuerdo con el tipo de puente, en el presente trabajo se enuncian las significativas y que se consideran importantes para el correcto funcionamiento de la estructura:

Losas de acceso

- Se localizan antes de entrar y después de salir del puente, sirven como transición entre el tablero con el camino, además de que protegen los Estribos del impacto producido por los vehículos en el momento de ingresar al tablero del puente (figura III.12).

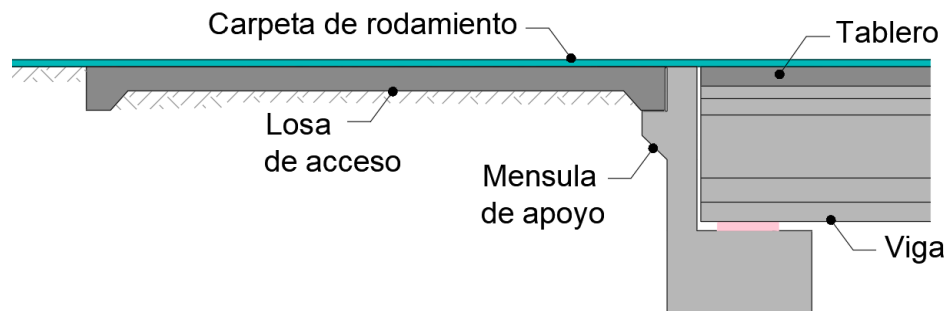


Figura III.12 Esquema típico de una losa de acceso
Fuente: Elaboración propia

La junta de calzada o junta de dilatación

- Son dispositivos elastoméricos o metálicos que soportan el movimiento relativo entre dos elementos estructurales de un puente o calzada (figura III.12). Sus principales funciones son las siguientes:
 - Permitir el movimiento libre de los tableros
 - Dar continuidad a la calzada soportando las cargas del tráfico
 - Evitar ruidos, impactos y vibraciones
 - Proveer de un sellado adecuado y permitir la evacuación del agua

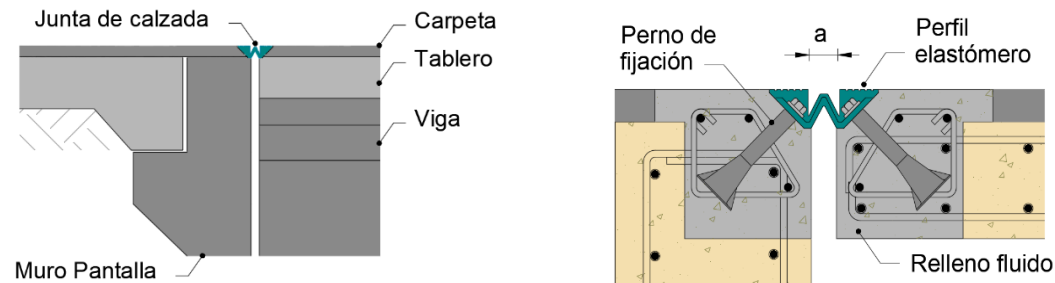


Figura III.12 Esquema de una junta típica de calzada

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de Freyssinet, 2015

Los dispositivos de apoyo

- Proporcionan la conexión para controlar la interacción de las cargas y movimientos entre la subestructura y la superestructura (figura III.13). Las fuerzas aplicadas en los apoyos incluyen el peso de las vigas, tablero cargas del tráfico, cargas de viento y las producidas por sismos.

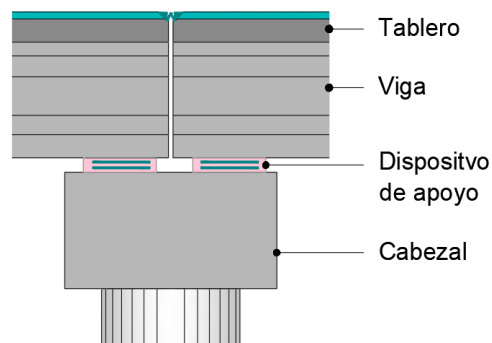


Figura III.13 Esquema de los dispositivos de apoyo en puentes

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de Freyssinet, 2015

- Según los movimientos que permiten los apoyos, estos se pueden clasificar en apoyos fijos y apoyos móviles. Entre los apoyos más comunes en la construcción de puentes están:
 - Apoyos elastoméricos: Hechos de elastómero (caucho natural o sintético). Es el más muy utilizado por sus propiedades físicas y económicas, conformado por un bloque de neopreno vulcanizado reforzado interiormente por una o varias láminas de acero (figura III.14).

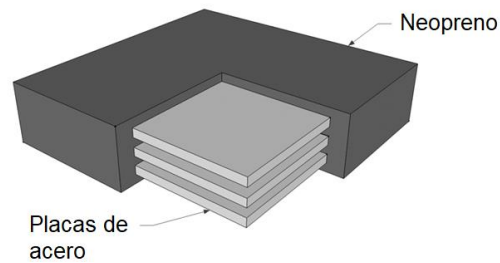


Figura III.14 Constitución típica de un apoyo de neopreno integral
Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014

- Apoyos encasetonados: Formados por un disco de elastómero inserto entre un cilindro de acero y un pistón circular, diseñados para soportar cargas mucho mayores que un apoyo de neopreno integral (figura III.15).

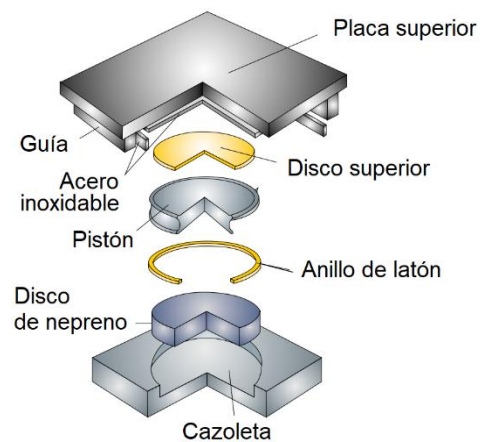


Figura III.15 Constitución típica de un apoyo encasetonado
Fuente: Mexpresa, N.D.

3.3 Lineamientos generales

A continuación, se enuncian los criterios generales necesarios para el diseño de puentes vehiculares de acuerdo con lo que se establece en la Normatividad para la Infraestructura del Transporte (NIT-SCT):

Gálibo horizontal y vertical

- Cuando se trate de un puente que tenga por objeto cruzar una carretera o una vía férrea, el gálibo horizontal y vertical, debe ser como se indica en las figuras III.16 y III.17:

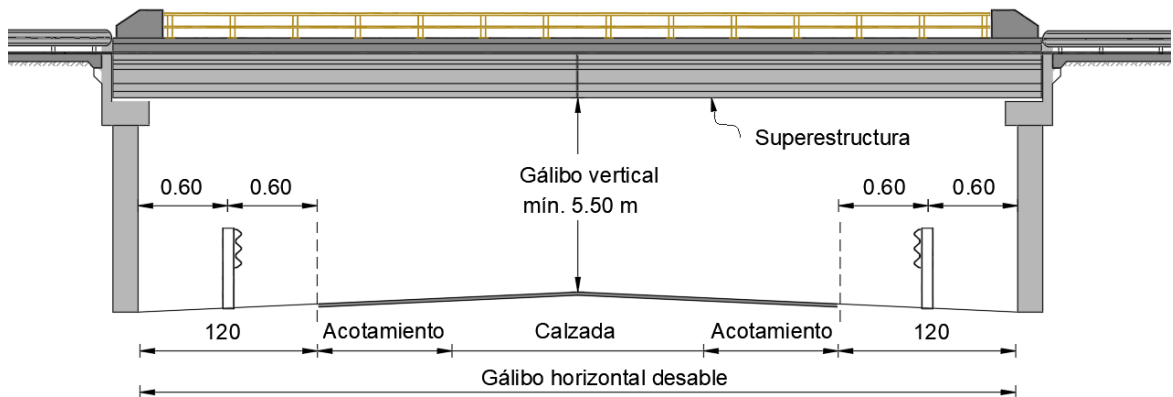


Figura III.16 Gálibo horizontal y vertical que crucen una carretera
Fuente: Elaboración propia con base en la Norma N·PRY·CAR·6·01·002/01, NIT-SCT

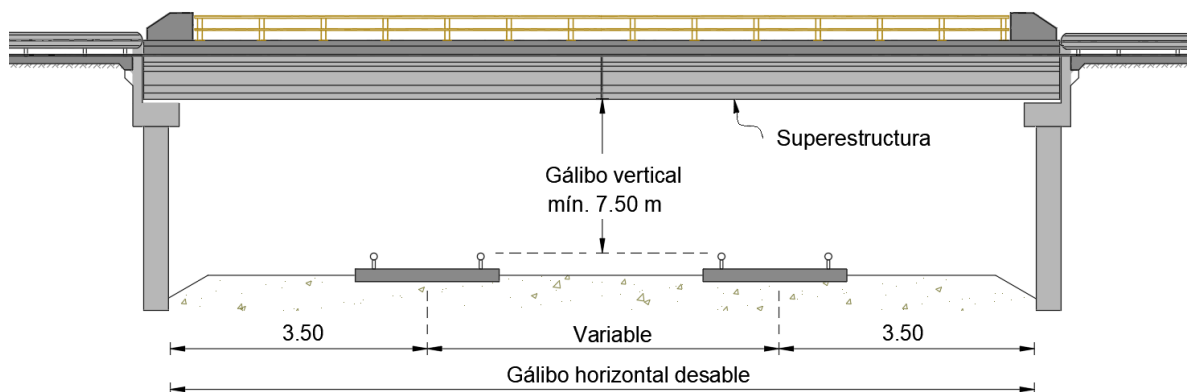


Figura III.17 Gálibo horizontal y vertical que crucen una vía férrea
Fuente: Elaboración propia con base en la Norma N·PRY·CAR·6·01·002/01, NIT-SCT

Ancho de calzada

- Para el servicio de vehículos automotores, el ancho de calzada de la estructura debe ser igual al ancho de corona de la carretera en los accesos a la estructura, es decir, al ancho de la calzada más sus acotamientos, definido en el proyecto geométrico de la carretera.
- Las estructuras para carreteras de dos carriles sin acotamientos, que se ubiquen en tangente, deben tener un ancho de calzada mínimo 7.50 m
- En caminos rurales, las estructuras de un solo carril que se encuentran en tangente deben tener un ancho de calzada de 4.00 m máximo.
- En estructuras urbanas, el ancho de calzada debe ser el mismo que el de la calle de acceso, conservando la continuidad en los anchos de las banquetas.

Ancho de total de la estructura

- El ancho total de la estructura es la distancia entre las caras extremas de la superestructura, medida normalmente a su eje longitudinal y será la suma de los anchos de calzada, de las guarniciones o banquetas con los parapetos.

Superficie de rodadura

- Cuando la estructura dé servicio al tránsito de vehículos, la superficie de rodadura de la calzada debe ser resistente al derrapamiento.

Drenaje de la calzada

- El drenaje transversal de la calzada se hace mediante el bombeo de la sección transversal de la superficie de rodadura. En estructuras largas el drenaje se realiza mediante drenes del tamaño y número suficiente para drenar el agua apropiadamente. En estructuras cortas, pueden omitirse los drenes y conducirse el agua de la calzada a bajadas próximas a los extremos de la estructura. La colocación de los drenes de la calzada y sus detalles se hace en tal forma que el agua no caiga sobre alguna parte de la estructura ni sobre el tránsito de una carretera inferior.

Sobreelevación

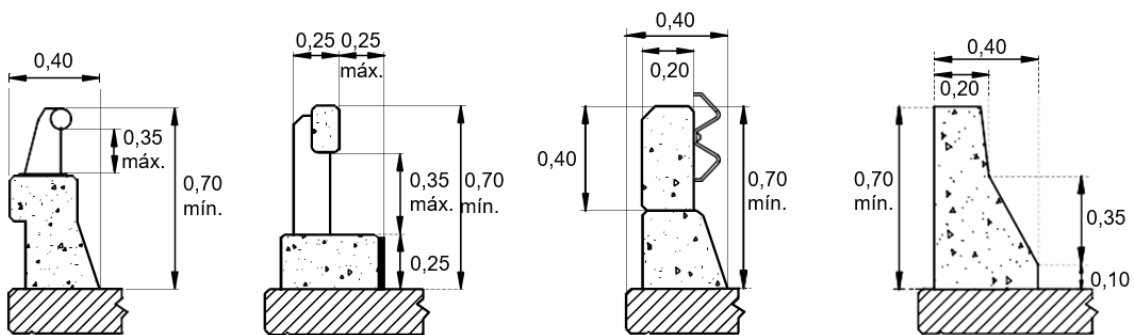
- La sobrelevación de la superficie de rodadura de una estructura en curva horizontal se da de acuerdo con las especificaciones establecidas en el proyecto geométrico de la carretera, sin embargo, no debe exceder del 10%.

Guarniciones y banquetas

- Las guarniciones tendrán una altura mínima sobre la superficie de rodadura de 30 cm y un ancho mínimo en sus bases de 40 cm. Las caras de las guarniciones del lado de la calzada serán inclinadas.
- Las banquetas para el paso de peatones tendrán un ancho libre mínimo de 75 cm, medido horizontalmente desde el pie de la banqueta hasta el plano vertical tangente al parapeto por el lado de la calzada. En zonas urbanas, el ancho libre de las banquetas será, preferentemente, igual al de las banquetas en los accesos. La altura mínima de las banquetas sobre la superficie de rodadura será de veinticinco 25 cm.

Parapetos vehiculares

- Los parapetos tienen el propósito principal de encauzar el tránsito que circula por la estructura. Sus principales elementos pueden ser uno o varios y estar constituidos por vigas de concreto, tubos y perfiles metálicos, o defensas metálicas de lámina (figura III.18).



Acotaciones en metros

Figura III.18 Parapetos para vehículos automotores

Fuente: Norma N·PRY·CAR·6·01·002/01, NIT-SCT

- La altura mínima sobre la superficie de rodadura del parapeto para vehículos y de la guarnición subyacente, no debe ser menor que 70 cm ni mayor de 105 cm.
- Sus componentes se diseñarán de acuerdo con el tránsito esperado de vehículos, tomando en cuenta la protección de los ocupantes de un vehículo que choque contra el parapeto, de los vehículos próximos a la colisión, de los vehículos y peatones que circulen por un camino inferior.
- En las estructuras para vías rápidas urbanas, que cuenten con banquetas, se deben instalar los parapetos para vehículos automotores en las orillas interiores de éstas y en las exteriores, los parapetos peatonales.
- Se deben cuidar las proporciones y el aspecto de los parapetos para que sean estéticos y armonicen con el aspecto general de la estructura.

Parapetos peatonales

- Los principales elementos del parapeto peatonal pueden ser uno o varios y estar constituidos por vigas de concreto, tubos y perfiles metálicos, o defensas metálicas de lámina (figura III.19).
- La altura del parapeto peatonal no debe ser menor 1.00 m, medido desde el nivel de la banqueta a la parte superior del elemento longitudinal más alto.

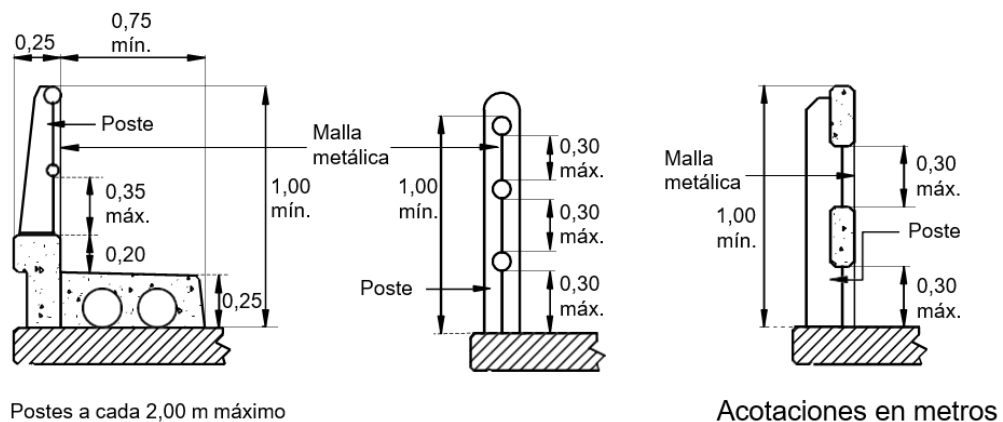


Figura III.19 Parapetos peatonales
Fuente: Norma N·PRY·CAR·6-01·002/01, NIT-SCT

3.4 Metodología para el diseño de puentes vehiculares

La selección de la ubicación correcta de un puente es crucial en el diseño y en la planificación del mismo, sin embargo, son las consideraciones de seguridad las que sobre todo rigen los requerimientos técnicos, funcionales, económicos y estéticos, que a su vez también resultan imprescindibles. Es necesario que el puente y cada uno de sus componentes sean seguros, duraderos, fiables y estables. (Guánchez, 2019)

Por lo tanto, uno de los objetivos más importantes del diseñador, a la hora de la concepción de un puente, debe ser el ofrecer seguridad mediante su respectivo análisis técnico y económico. Aunque estos dos aspectos son de suma relevancia, no constituyen la totalidad del proceso de diseño ya que la concepción de puentes es un problema de ingeniería compleja. (Guánchez, 2019)

Además de dichos análisis, se deben hacer estudios topográficos, hidráulicos, hidrológicos, geológicos, geotécnicos, estudios de riesgo sísmico, de impacto ambiental y de tráfico. También se deben considerar factores como el sistema de puentes a ser usado, materiales, dimensiones, fundaciones, estética, paisaje local y medio ambiente.

En puentes convencionales la construcción se lleva a cabo por métodos tradicionales, mientras que, en casos especiales, cuya construcción es compleja, por ejemplo, en puentes con grandes claros, los requisitos de construcción particulares se vuelven muy importantes y pueden llegar a influir en la selección del sistema de puente y en sus materiales.

Por lo anterior, a continuación, se enuncian los principales requisitos para el diseño y ejecución de proyectos de puentes vehiculares, así como los criterios generales para la presentación de tales proyectos conforme a lo establecido en las normas N·PRY·CAR·6·01·001/01 y N·PRY·CAR·6·01·009 respectivamente, las cuales pertenecen la Normatividad para la Infraestructura del Transporte elaboradas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (NIT-SCT).

3.4.1 Información preliminar

Inicialmente, la información requerida para la ejecución del proyecto es la siguiente:

- El proyecto geométrico de la carretera para la que se proyectará la estructura, que incluya el trazo, las elevaciones de rasante, las secciones transversales de construcción, los datos de bancos de nivel y las referencias topográficas.
- Si la estructura por proyectar es un paso superior vehicular (PSV) o un paso inferior vehicular (PIV) para un entronque, el proyecto geométrico del entronque, que incluya el trazo, las elevaciones de rasante y las secciones transversales de construcción de todas las ramas, así como los datos de bancos de nivel y las referencias topográficas.
- El estudio topográfico que muestre detalladamente la topografía del área donde se ubicará la estructura o, si se trata de un puente el estudio hidráulico-hidrológico correspondiente, que además de contener levantamiento topográfico detallado, establezca los niveles y gastos de diseño, las longitudes mínimas del puente y de sus claros, así como el espacio libre vertical mínimo que ha de dejarse entre el nivel de aguas de diseño (NADI) y el lecho inferior de la superestructura.
- El estudio de cimentación (estudio de mecánica de suelos) que contenga el tipo, las características y la estratigrafía del suelo en el sitio donde se construirá la estructura; el tipo de cimentación más conveniente, sus niveles de desplante y las capacidades de carga correspondientes; y las recomendaciones para el diseño y construcción de la cimentación

3.4.2 Requisitos para la ejecución del proyecto

Los principales requisitos para llevar a cabo el diseño y ejecución del proyecto de un puente vehicular son:

1. Revisión y análisis de la información

- De toda la información mencionada en el apartado anterior

2. Visita de inspección.

- Se efectuará una visita de inspección a la zona en donde se ubicará la estructura por proyectar, con el propósito de verificar toda la información que establece la norma y que no exista algún obstáculo que interfiera con la ejecución de la obra.

3. Elaboración de anteproyectos

Con el propósito de seleccionar el tipo y las características de la estructura a proyectar se elaborarán los anteproyectos, siendo recomendable que cuando menos sean tres, tomando en cuenta lo siguiente:

- Cada propuesta contemplará diferente sistema de estructuración, tipos de materiales y procedimientos constructivos.
- Tipo de material de la estructura.
 - Se seleccionará el tipo de material de la estructura, tomando en cuenta las características del entorno ambiental a fin de incluir medidas que mitiguen los daños ambientales.
- Predimensionamiento.
 - Una vez seleccionado el material para la estructura se definirán las dimensiones preliminares de la estructura y de cada uno de sus

elementos. Si se trata de un puente especial, en el predimensionamiento además se considerarán los criterios contenidos en la norma M·PRY·CAR·6·01·008, “*Consideraciones para Puentes Especiales*”.

- Cargas
 - A las que refiere la norma N·PRY·CAR·6·01·003, Cargas y Acciones, se inferirán las cargas a que estará sujeta la estructura.

- Diseño simplificado
 - Con las cargas inferidas, según corresponda, se realizará el diseño simplificado de la estructura pre-dimensionada, deduciendo las deformaciones y los elementos mecánicos internos de cada elemento, determinando las características de resistencia de los materiales que se van a emplear y ajustando las dimensiones preliminares de la estructura y de sus elementos.

- Cada anteproyecto se expresará mediante un plano general elaborado conforme a lo indicado en la Norma N·PRY·CAR·6·01·009, “*Presentación del Proyecto*”, conteniendo:
 - La planta de la estructura de acuerdo al proyecto geométrico
 - El corte en elevación por el eje del trazo
 - La sección transversal de la superestructura
 - El croquis de la rasante
 - La lista de materiales
 - Los volúmenes aproximados de obra y
 - El costo estimado de la estructura

- Adicionalmente se elaborará una memoria ejecutiva que contenga las razones que justifican cada alternativa, la comparación técnica y económica entre ellas, y proponga la solución más conveniente.

4. Elaboración del proyecto

Con base en el anteproyecto aprobado por la SCT, se elaborará el proyecto mediante la ejecución de la ingeniería de detalle necesaria para diseñar, geométrica y estructuralmente, todos los elementos de la estructura que integren su cimentación, subestructura y superestructura; así como las obras secundarias que sean necesarias, tales como guarniciones, banquetas, parapetos, defensas, medianas, losas de aproximación, aleros y terraplenes de acceso de 40 m antes y después de la estructura, se tomará en cuenta lo siguiente:

- Análisis
 - El análisis de la estructura por proyectar, cuyo propósito es determinar los elementos mecánicos internos y las deformaciones que experimentará cada parte, se ejecutará asumiendo que éstas tienen un comportamiento elástico, aun cuando el diseño se realice por factores de carga, considerando la plastificación de las secciones críticas.
 - El análisis se realiza numéricamente, en forma manual o mediante programas de cómputo, en cuyo caso, se identificará claramente el programa utilizado si es comercial.

- Cargas y acciones
 - Las cargas y acciones externas actuantes sobre las que se determinarán:
 - a) Para estructuras de tipos y dimensiones comunes, conforme a lo establecido en las Normas N·PRY·CAR·6·01·003, Cargas y Acciones, N·PRY·CAR·6·01·004, Viento y N·PRY·CAR·6·01·005, Sismo.
 - b) Para puentes de grandes dimensiones o de estructuración especial, las fuerzas y acciones externas pueden ser objeto de estudios especiales que debe aprobar la SCT.

- Combinaciones y distribución de cargas
 - Se definirán las combinaciones y la distribución de cargas, de acuerdo con lo indicado en las Normas N·PRY·CAR·6·01·006, *Combinaciones de Cargas* y N·PRY·CAR·6·01·007, *Distribución de Cargas*, respectivamente.

- Modelos estructural y matemático
 - De acuerdo con el tipo de estructura de que se trate, se seleccionará el modelo estructural conveniente, en función del cual se definirá el modelo matemático a considerar en el análisis de la estructura.

- Elementos mecánicos internos y deformaciones
 - Mediante el análisis se determinarán los elementos mecánicos internos y las deformaciones de la estructura en general y de cada uno de sus elementos.

- Presentación de resultados
 - Los resultados del análisis se presentarán en forma ordenada y clara, incluyendo croquis del modelo estructural, particularmente si se emplean programas de cómputo, así como un resumen de los resultados relevantes en forma de tablas o gráficas, e indicando los valores utilizados en el análisis.

- Diseño estructural
 - El diseño estructural de todos los elementos de la estructura se ejecutará por el método de cargas de trabajo o por factores de carga, tomando en cuenta lo establecido en las Normas “*Diseño de Estructuras de Concreto*”, “*Diseño de Estructuras de Acero*” y “*Proyecto de Puentes y Estructuras*”, según el tipo de estructura de que se trate.

- Obras secundarias
 - A estas obras corresponden las banquetas, parapetos, losas de aproximación, aleros y terraplenes de acceso. En su caso, en el diseño de los aleros además se considerará lo establecido en las Norma PRY-CAR-11-01, “*Muros de Contención*”.

Procedimientos constructivos

- En el caso de puentes especiales o detalles especiales de estructuras comunes, se definirán los procedimientos constructivos que deban aplicarse.

Obras de drenaje y/o subdrenaje

- Estas obras se construyen para garantizar el comportamiento de las terracerías de acceso: alcantarillas, lavaderos, bordillos y subdrenes.

3.4.3 Presentación del proyecto

El proyecto, incluyendo la estructura, sus obras secundarias y en su caso, las obras de drenaje, subdrenaje e inducidas que sean necesarias, se presentarán como se indica en la Norma N-PRY-CAR-6-01-009, “*Presentación del Proyecto*”, (NIT-SCT) mediante los planos, las especificaciones del proyecto, el catálogo de conceptos y cantidades de obra, el presupuesto base para la realización de la obra y las memorias de cálculo que correspondan.

Los elementos principales que integrarán como mínimo el proyecto es:

- Memoria ejecutiva
- Memoria de calculo
- Planos constructivos
- Catálogo de conceptos y volúmenes de obra
- Especificaciones de construcción

Memoria ejecutiva

La memoria ejecutiva describirá en forma breve las características relevantes del proyecto, sus antecedentes y sus objetivos, así como las metodologías empleadas en los estudios y en los cálculos realizados en el proyecto. Incluye también un resumen de las alternativas estudiadas y de las razones que motivaron la selección de la alternativa proyectada. Concluye con un presupuesto aproximado de la obra y con recomendaciones para su ejecución, considerando las dificultades más importantes que puedan preverse.

Memoria de cálculo

La memoria de cálculo incluirá el análisis y diseño de todos los elementos estructurales que constituyen el puente o estructura similar. Los cálculos incluirán croquis claros y explícitos, preferentemente trazados por computadora. Todos estos lineamientos tienen por objeto facilitar la revisión de los cálculos, así como las consultas que pudieran requerirse durante la construcción de la estructura.

En el caso de que se realicen cálculos con el auxilio de un programa de cómputo, se incluirá en la glosa el nombre del programa y el número de su versión. Los resultados de un análisis automático por computadora se presentarán en forma resumida, incluyendo únicamente los más relevantes y trascendentes para el diseño.

En la verificación de la capacidad estructural de los miembros, se indicará la Norma en que se apoya el proyectista. Cuando se recurre a normas ajenas a las de la Secretaría, se incluirá una copia completa de la norma de referencia. La aplicación de estas normas requiere la conformidad escrita del Coordinador del proyecto, por parte de la Secretaría.

Planos constructivos

Los planos que como mínimo integrarán el proyecto son:

- Plano general
- Un plano por cada elemento de la cimentación
- Un plano por cada elemento de la subestructura
- Un plano por cada elemento de la superestructura
- Un plano por cada obra secundaria que así lo requiera
- Plano para los sistemas de protección contra la corrosión, en su caso
- Plano de procedimientos constructivos para puentes especiales
- Plano de obras de drenaje y/o subdrenaje para las terracerías de acceso
- Los planos que se requieran para cada obra inducida

Como criterios generales para la presentación de los planos se tiene lo siguiente:

- Los planos se dibujarán con líneas de color negro, con diferentes espesores para distinguir, entre otros, las líneas que delimitan el contorno de la estructura, las que indican el refuerzo de varillas y las que señalan a las cotas.
- Los dibujos contenidos en los planos se elaborarán a escalas adecuadas para su correcta interpretación y facilidad de lectura. Se utilizarán escalas comunes y se evitarán las poco usuales.
- Las varillas de refuerzo en estructuras de concreto se identificarán con letras e índices numéricos y se incluirá una tabla con el despiece de varillas de refuerzo, indicando para cada tipo de varilla su forma, dimensiones, diámetro y número, así como su masa nominal.
- En el caso de estructuras metálicas, se incluirán detalles de las conexiones, a una escala en que se muestren con claridad las dimensiones de los elementos de sujeción y sus separaciones o el tipo de soldadura y sus dimensiones.
- La información contenida en cada plano se determine de manera de facilitar su uso práctico en el sitio de la obra.

Plano General

El plano general contendrá toda la información relevante sobre el proyecto que se estime de utilidad para decisiones ejecutivas. Entre esta información se incluirá lo siguiente:

- Planta de la estructura
- Corte-elevación por el eje del trazo, incluyendo perfil estratigráfico, ubicación de sondeos realizados y escalas gráficas vertical y horizontal (cadenamientos)
- Corte transversal de la estructura
- Croquis de la rasante (a escalas deformadas, la horizontal diez veces más grande que la vertical)
- Datos para la ubicación de las referencias del trazo (monumentos de concreto)
- Datos hidráulicos del proyecto (gasto, niveles de agua, tiempos de retorno)
- Descripción de la carga móvil de diseño
- Lista de materiales
- Relación de especificaciones de construcción aplicables al proyecto
- Lista de planos que integran el proyecto

Planos de cimentación

- Se elaborará un plano para cada uno de los tipos de cimentación empleados en la estructura, pudiéndose recurrir a tablas para indicar las características particulares de la cimentación en cada uno de los apoyos del puente en que se emplee el mismo tipo.
- El plano contendrá una planta referenciando los diferentes elementos de la cimentación respecto al eje del trazo y al eje de apoyo de la subestructura.

- Se incluirá también un corte-elevación por el eje del camino y un corte transversal en los que se detallará cuidadosamente el anclaje de la cimentación a la subestructura. En las notas de cada plano se incluirá el procedimiento constructivo de la cimentación haciendo referencia a los equipos necesarios, los sistemas de control y monitoreo.

Planos de subestructura

- Se elaborarán planos para cada uno de los elementos componentes de la subestructura del puente.
- El plano contendrá planta, elevación y corte transversal del elemento de subestructura. Cada elemento quedará ubicado tanto en planta como en elevación con respecto al eje del trazo y al eje de la subestructura.
- Se detallará cuidadosamente la posición de los dispositivos de apoyo de la superestructura sobre la subestructura, tanto en planta como en elevación, así como las características de esos dispositivos.

Planos de la superestructura

- Se elaborará un plano detallado que contenga planta, perfil y sección transversal con las características del refuerzo en el caso de estructuras de concreto reforzado, del presfuerzo en el caso de elementos pretensados o postensados y de los elementos metálicos soldados en el caso de estructuras de acero.
- Cuando la superestructura esté compuesta por una losa sobre vigas múltiples de concreto o de acero, es conveniente realizar dos planos, uno para la losa y otro para los elementos portantes.
- En las estructuras continuas se localizarán claramente las juntas de colado y se detallarán los empalmes del refuerzo para estructuras de concreto reforzado o las conexiones de campo para estructuras metálicas.

- Los planos para las estructuras de concreto presforzado con cables postensados incluirán tablas de coordenadas en tres direcciones para la correcta ubicación de los cables.

Catálogo de conceptos y volúmenes de obra

- A menos que los Términos de Referencia indiquen lo contrario, el proyecto estructural incluirá la elaboración del catálogo de conceptos y la cuantificación de las cantidades de obra.

Especificaciones de construcción

- Si en el proyecto se incluyen conceptos que no estén contenidos en la Normativa SCT o si el proyectista desee aplicar una norma distinta a la de la Secretaría.
- Deben describir detalladamente las características del producto deseado o de la técnica de construcción requerida, hace referencia a las normas en que se apoyan las acciones estipuladas e indica los procedimientos de muestreo y de prueba y fija los criterios de aceptación.

Como se pudo apreciar en este capítulo, la cantidad de factores que intervienen en el diseño de puentes vehiculares de cualquier tipo es amplia, sin embargo, esto no debe ser impedimento alguno para su diseño y posterior construcción, debido a que la mayoría de su normatividad, sistemas y procesos constructivos son ya bastantes conocidos, y, para el caso de estructuras más complejas, cada día se está en la búsqueda de nuevas soluciones tecnológicas e innovadoras para su ejecución.

Ahora que se ha descrito y enunciado la información que, a juicio del autor, le pareció la información primordial que debe conocerse para que su interpretación sea de mayor fluidez para el lector acerca de los elementos que se estarán analizando en el siguiente capítulo y, donde se abordará un caso de estudio sobre un puente de acero.

4. CASO DE ESTUDIO

El proposito de este apartado, es el de proporcionar un resumen de las principales características tanto geometricas como estructurales del caso de estudio, especificamente de un puente de acero, asimismo, se tiene el proposito de describir los aspectos mas relevantes que se tomaron en cuenta para su concepción, ya que que en el siguiente capitulo, el proyecto será reproducido bajo una metodología BIM.

4.1 Características generales del Proyecto

Nombre del ProyectoViaducto km 117+174
Cliente BANOBRAS (Banco Nacional de Obras)
Contrató Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Proyectó JESA INGENIERÍA S.A. DE C.V.
Revisó... ORVA INGENIERÍA S.A. DE C.V.
UbicaciónSan Vicente Coatlán, Oaxaca
Carretera Oaxaca - Puerto Escondido
Tramo Barranca Larga – Ventanilla
Subtramo Del km 100+00.00 al km 135+000.00
Velocidad del proyecto 1 km/h
Pendiente gobernadora 0.5%
No. de carriles 2 carriles (uno por sentido)
Tipo de estructuraViaducto
Longitud 185.00 m
Ancho 13.40 m

El “Viaducto km 117+174”, se localiza en el municipio de San Vicente Coatlán, Oaxaca, formando parte del Distrito Ejutla de Crespo en el sur de la Región de los Valles Centrales. (figura IV.1).

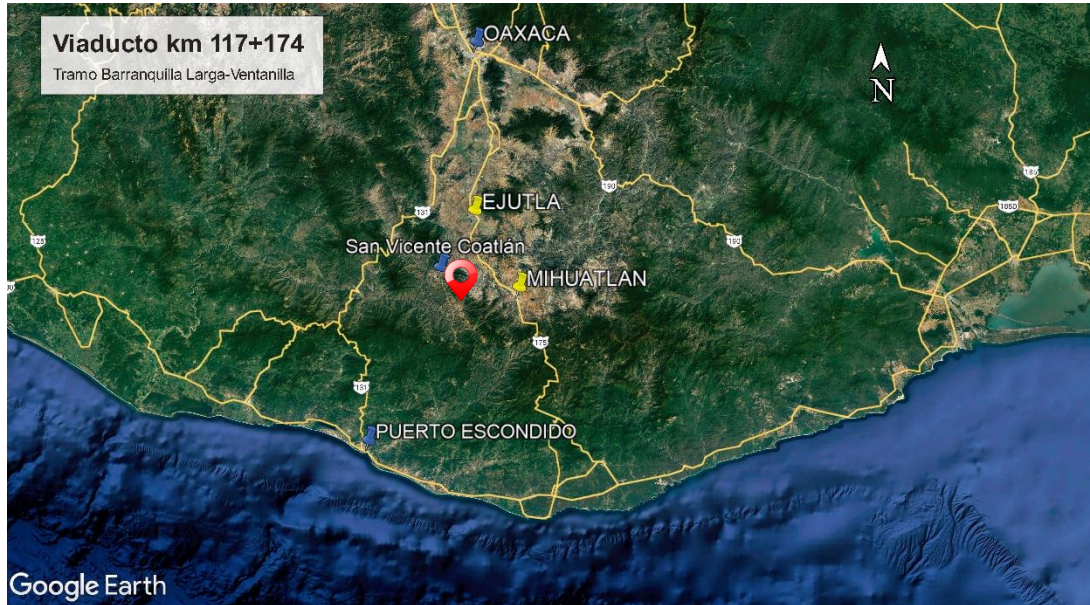


Figura IV.2 Macrolocalización del Viaducto km 117+174. Fuente: Google Earth

El Viaducto está proyectado en la autopista Oaxaca-Puerto Escondido, en el tramo Barranca Larga – Ventanilla. (figura IV.2).

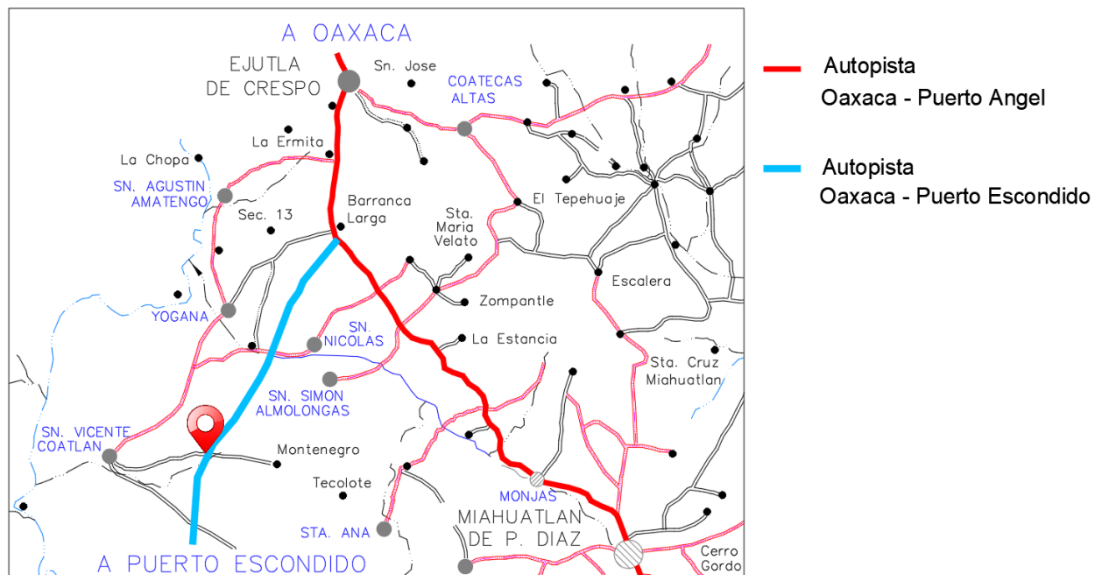


Figura IV.2 Microlocalización del Viaducto km 117+174 Fuente: Elaboración propia

4.2 Características físicas del sitio

El Viaducto se encuentra cercano a la localidad de San Vicente Coatlán, en las coordenadas $16^{\circ}22'34.17''N$ y $96^{\circ}49'27.03''O$ y 1,602 msnm (figura IV.3).

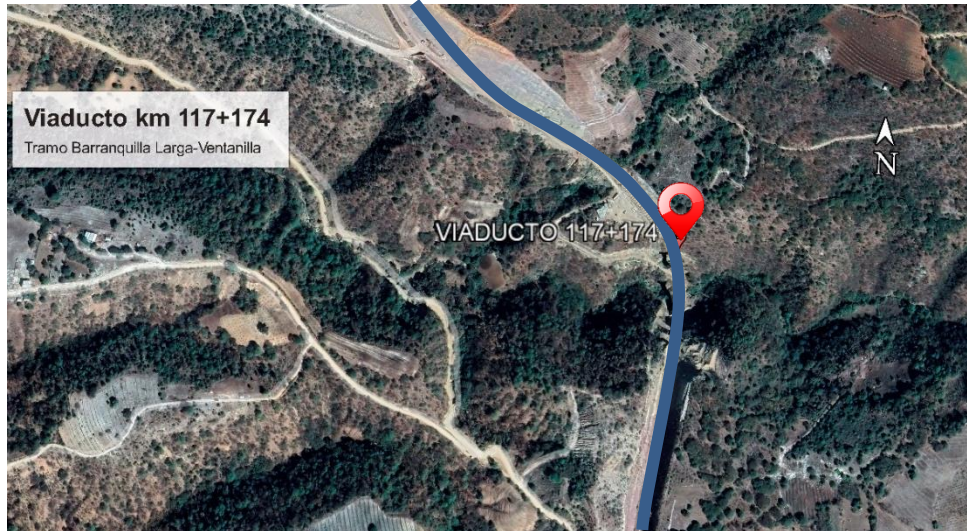


Figura IV.3 Croquis de localización del predio. Fuente: Google Earth

En lo que respecta a las condiciones topográficas, la zona se encuentra en una colina de pendiente pronunciada conformada de material sedimentario de arrastre de granulometría variada. Así como cauces producidos por la erosión de agua fluvial que descarga la pendiente hacia la barranca (figura IV.4).



Figura IV.4 Topografía abrupta en la zona del Viaducto Km 117+174. Fuente: Al México

En la figura IV.5 se puede apreciar las variaciones en los niveles en el terreno, la parte de color rojo indica la zona del barranco, ya que es la zona más pronunciada en sus pendientes.

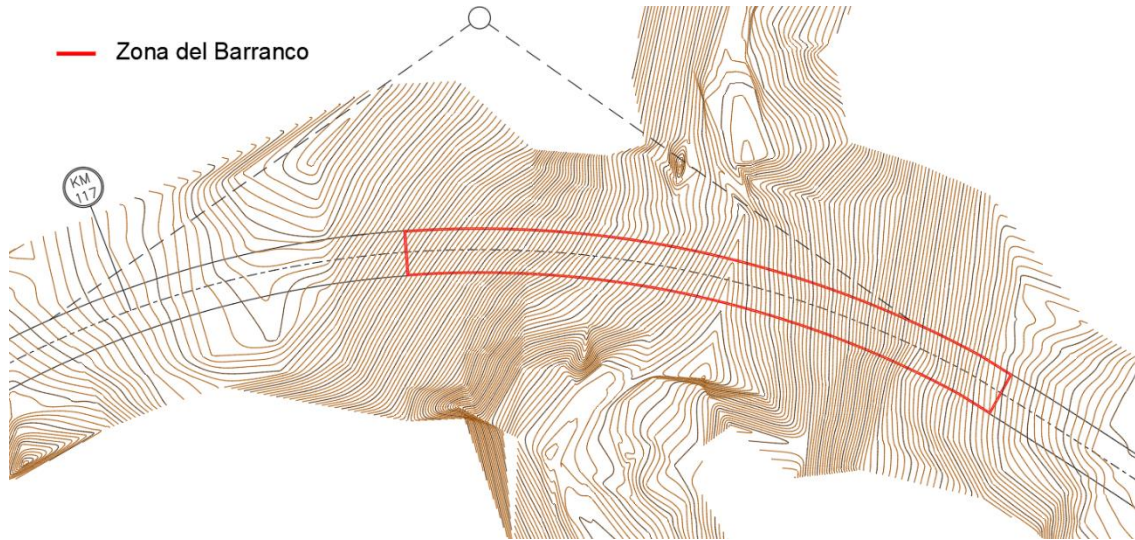


Figura IV.5 Planta topográfica del sitio. Fuente: Elaboración propia

En la figura IV.6 se muestra un perfil del terreno natural, donde se observa que la elevación promedio de la carretera es de 1,600 msnm, con un claro aproximado de 160 m y una altura respecto al fondo del barranco de 60 m (figura IV.7).

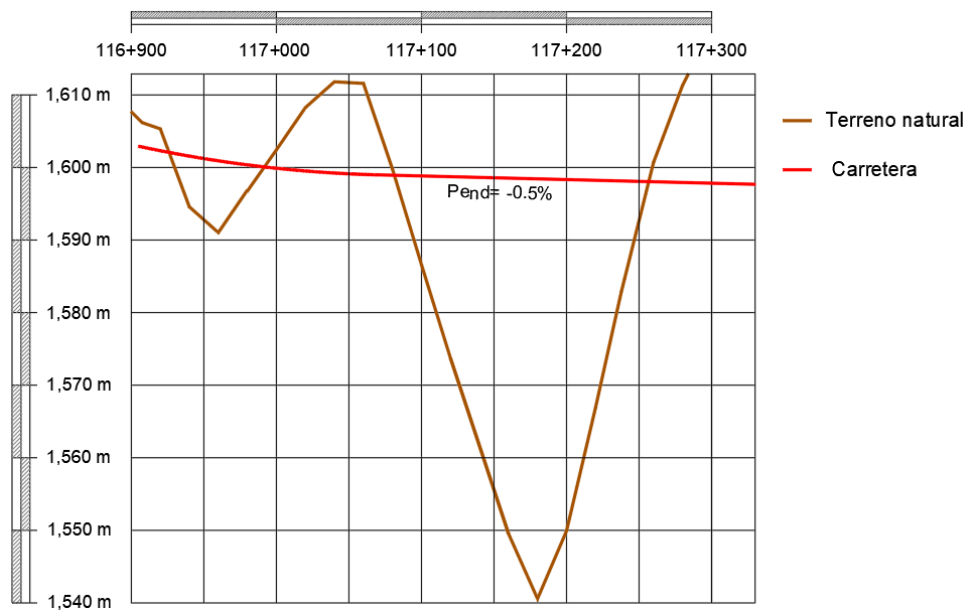


Figura IV.6 Planta topográfica del sitio. Fuente: Elaboración propia

En cuanto la fisiografía del lugar, la zona de estudio se ubica dentro de la Sierra Madre del Sur, ésta estructura geológica se caracteriza por una altitud constante promedio de 2,000 msnm, geológicamente se identifican sedimentos, además de rocas ígneas y metamórficas (INEGI, 2015).

La geología regional se compone de diferentes tipos de mármoles, anfibolitas, intrusivos, pegmatitas y milonitas, los cuales reciben el nombre de la unidad “complejo metamórfico”. (Servicio Geológico Mexicano, carta E14-12).

Las rocas de estas formaciones se pueden observar en el oeste y el noreste del municipio Miahuatlán. Encima, se pueden observar depósitos de andesitas, los cuales ocurren en afloramientos restringidos en el centro-oeste y este del municipio.

De acuerdo con los sondeos de penetración estándar (fig. IV.7), en la zona donde se localiza el Puente Viaducto Km 117+174, existen principalmente estratos de arenas limosas de 9 a 12 m de profundidad y rocas fracturadas de muy mala calidad en los estratos subyacentes.

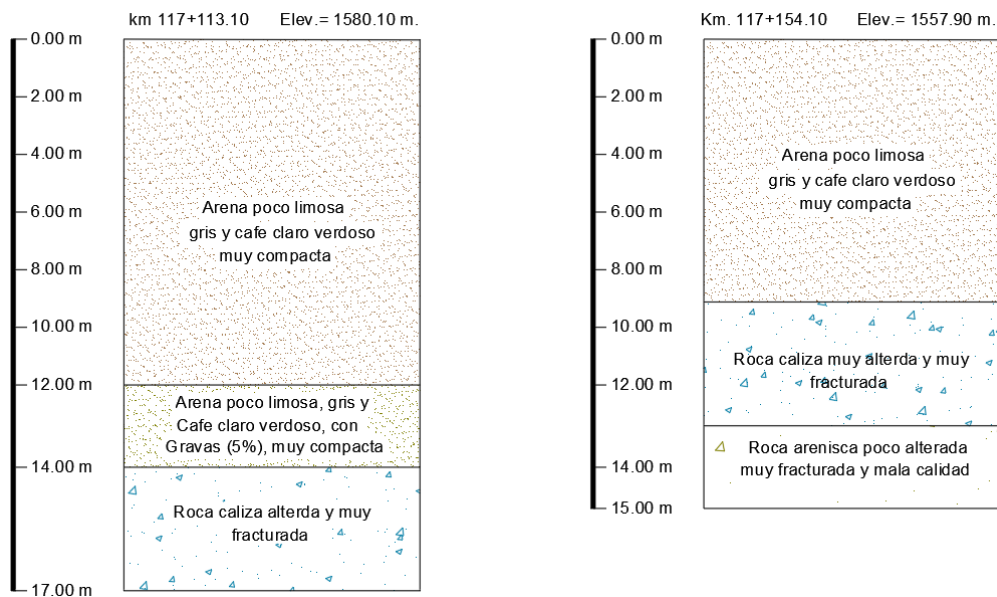


Figura IV.7 Planta esquemática del Viaducto km 174+174
Fuente: Al México

4.3 Requerimientos geométricos

De acuerdo con el trazo de la carretera, la zona del viaducto se encuentra en una curva horizontal izquierda, dada la distancia aproximada de 160 m que se requiere salvar y, de acuerdo a las condiciones topográficas del terreno, es necesario que la estructura del viaducto tenga una longitud similar (figura IV.8)

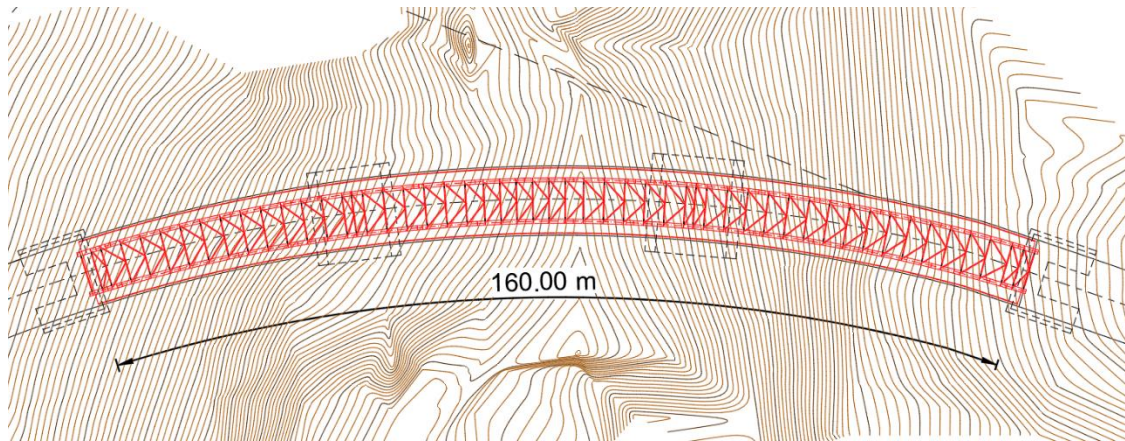


Figura IV.8 Planta esquemática del Viaducto km 174+174

Fuente: Elaboración propia

Con la información del proyecto geométrico de la carretera, la sección esta comprendida por un ancho de calzada con dos carriles de circulación de 3.50 m, con una sobreelevación del 10 %, un acotamiento de 2.50 m del lado izquierdo y un acotamiento de 3.10 m del lado, además de un ancho d 0.40 m para albergar una guarnición y parapeto vehicular en cada sentido de circulación, obteniendo de esta manera el ancho total de 13.40 m, tal y como se muestra en la figura IV.9.

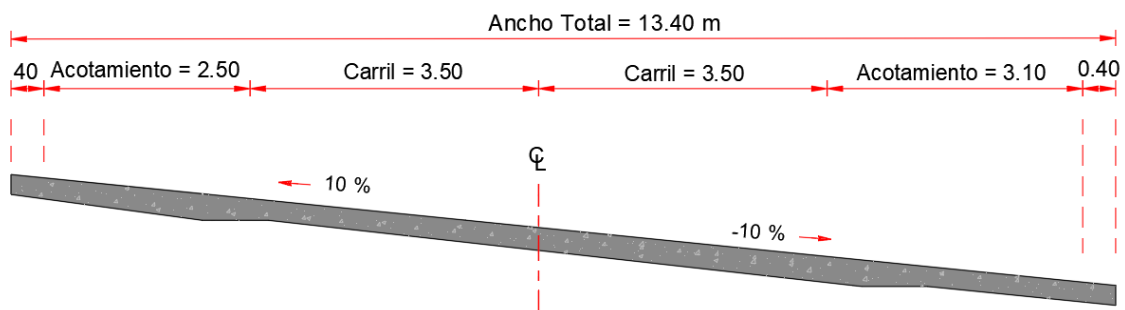


Figura IV.9 Sección transversal del Viaducto km 174+174. Fuente: Elaboración propia

Debido al trazo horizontal en curva del camino, el mejor criterio en este caso para la superestructura, es mediante una losa de concreto in situ, apoyada sobre dovelas formadas por traveses de acero contraventeadas (figura IV.10)

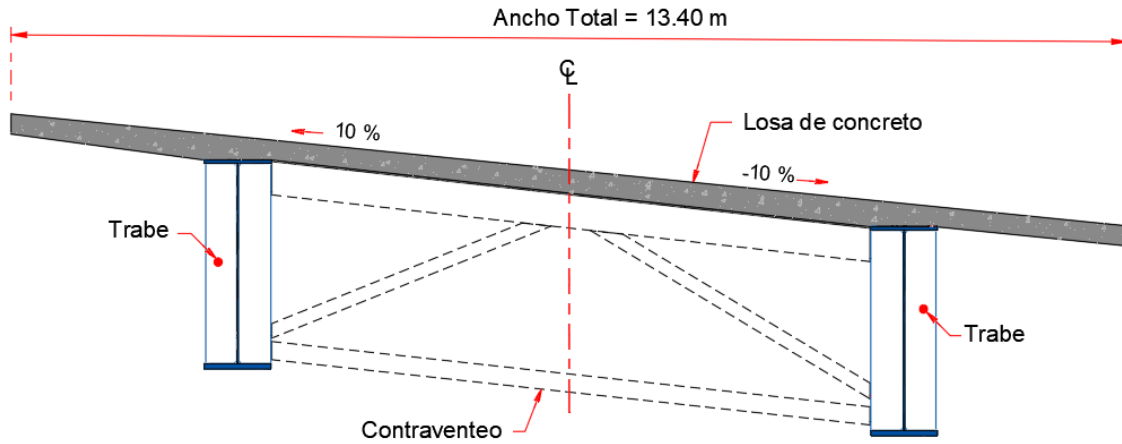


Figura IV.10 Superestructura del Viaducto km 174+174. Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, la supestrutura se divide en tres claros: el primero de 55.00 m y los dos siguientes de 66.00 m, despues se subdividen en 17 dovelas que se van segmentando para integrarse en toda la longitud del Viaducto (Fig. IV.11)

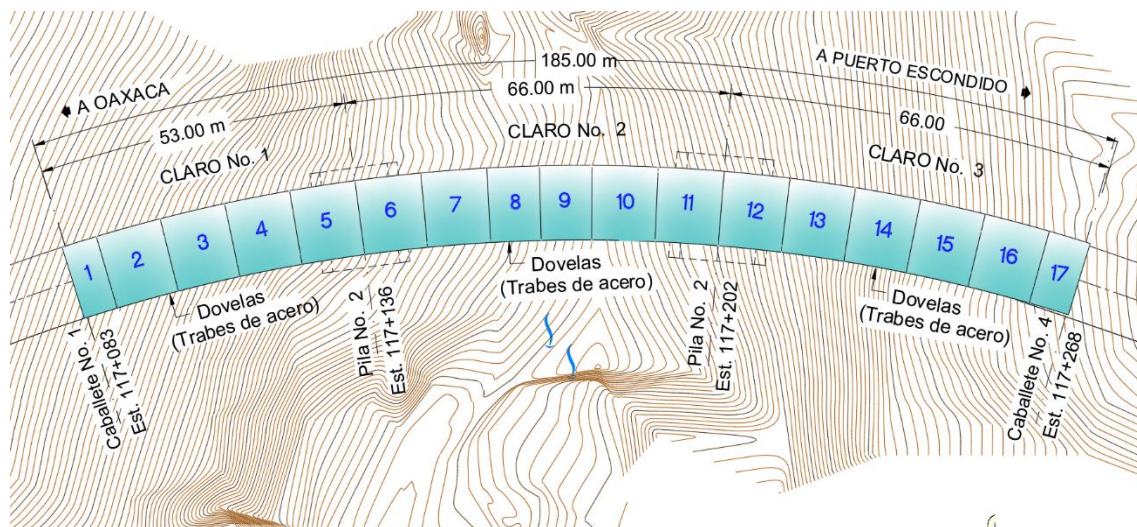


Figura IV.11 Planta esquemática del Viaducto 117+174. Fuente: Elaboración propia

En la elevación, se muestra que la subestructura está dispuesta por 2 caballetes extremos y dos pilas centrales para soportar cada uno de los claros (figura IV.12).

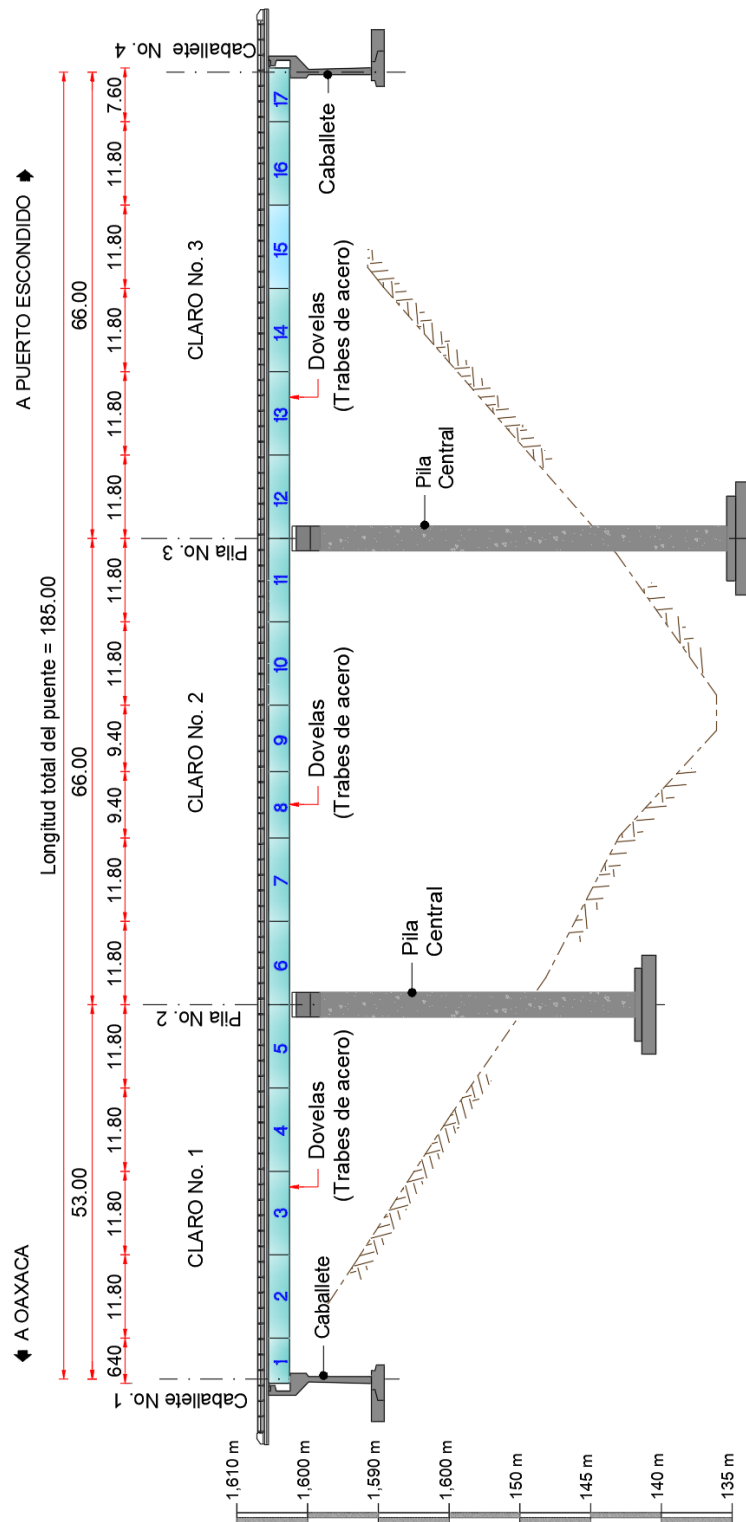


Figura IV.12 Corte-Elevación por el eje del Proyecto. Fuente: Elaboración propia

4.4 Requerimientos estructurales

Terminado de realizar la configuración geométrica del Viaducto, se requiere de conocer los reglamentos, cargas, criterios y materiales a emplear para realizar un análisis y diseño estructural que permita configuración de la estructura de una manera óptima y segura.

Los reglamentos de diseño estructural empleados son los siguientes:

- Especificaciones para puentes carreteros de la American Association State
- Highway and Transportation Officials LRFD (AASHTO LRFD), edición 2000.
- Guide Specifications For Design and Construction Of Segmental Concrete Bridges
- Reglamento para construcciones de concreto reforzado: ACI-318-95
- Manual para el diseño de estructuras de acero AISC-95
- Manual del Diseño de Obras Civiles de la CFE, edición 1996: Diseño por Viento
- Manual del Diseño de Obras Civiles de la CFE, edición 1996: Diseño por Sismo
- Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT-SICT)

Los tipos de cargas que se emplearon para el diseño estructural son:

- Cargas muertas
 - Peso propio
 - Cargas muertas de servicio
- Cargas vivas
 - Se consideran dos carriles de circulación, con la condición más desfavorable que resulte de aplicar la carga de camión tipo IMT 66.5 (fig. IV.13)

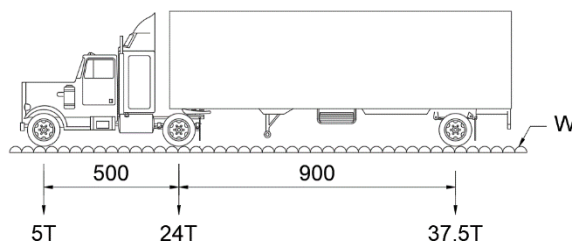


Figura IV.13 Carga viva IMT 66.5

Fuente: Instituto mexicano del transporte (IMT)

- Sismo
 - La estructura será justificada bajo sismo considerando las combinaciones de sismo longitudinal y sismo longitudinal.
 - El suelo será tipo I
 - Por su importancia, la estructura se encuentra del tipo A
 - La zona sísmica es considerada tipo D (fig. IV.14)

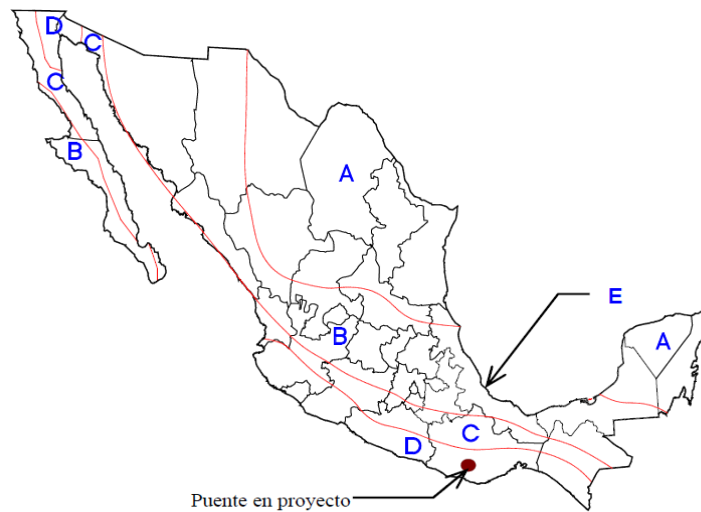


Figura IV.14 Zonas sísmicas en México

Fuente: Manual de diseño de las normas para el proyecto de puentes carreteros (SCT)

Las cargas en servicio y de construcción están divididas en dos partes:

- Cargas permanentes
 - Peso propio de los componentes estructurales
 - Peso propio de las superficies de rodamiento y barreras
 - Tensiones residuales acumuladas resultantes del proceso constructivo

- Cargas transitorias:
 - Fuerza de frenado de los vehículos
 - Fuerza de colisión de un vehículo
 - Sismo
 - Fricción
 - Incremento por carga vehicular dinámica

- Sobrecarga vehicular
 - Sobrecarga peatonal
 - Asentamiento y Gradiente de temperatura
- Capacidad de carga del terreno
 - De acuerdo con los estudios de mecánica y los estratos existentes, se indica que la capacidad de carga admisible del terreno (Q_{adm}) es igual a 200 ton/m².

Los materiales empleados se muestran en la siguiente tabla:

ELEMENTO	MATERIAL
Parapeto Peatonal	Acero A-36 ($f_y= 2,350 \text{ kg/cm}^2$)
Guarnición vehicular	Concreto $f_c= 250 \text{ kg/cm}^2$
Losa de superestructura	Concreto $f_c= 250 \text{ kg/cm}^2$
Trabes principales	Acero A-50 ($f_y= 3,570 \text{ kg/cm}^2$)
Contraventeos	Acero A-36 ($f_y= 2,350 \text{ kg/cm}^2$)
Caballote en extremos	Concreto $f_c= 250 \text{ kg/cm}^2$
Pilas centrales	Concreto $f_c= 250 \text{ kg/cm}^2$
Nota: El acero de refuerzo para los elementos de concreto será de $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	

Tabla IV.1 Materiales empleados para el análisis y calculo estructural del Viaducto

4.5 Configuración y diseño estructural

Resultado del análisis y calculo estructural basados en los requerimientos descritos anteriormente, las dimensiones y forma de cada uno de los elementos quedan definidos de la siguiente manera:

Subestructura

- Caballetes en los extremos No. 1 y No. 4 de concreto $f_c=250 \text{ kg/cm}^2$ y armada con acero de refuerzo $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$, formados por una zapata, un cuerpo principal, un cabezal y un muro de respaldo, previo a la construcción de la zapata (figura IV.15)

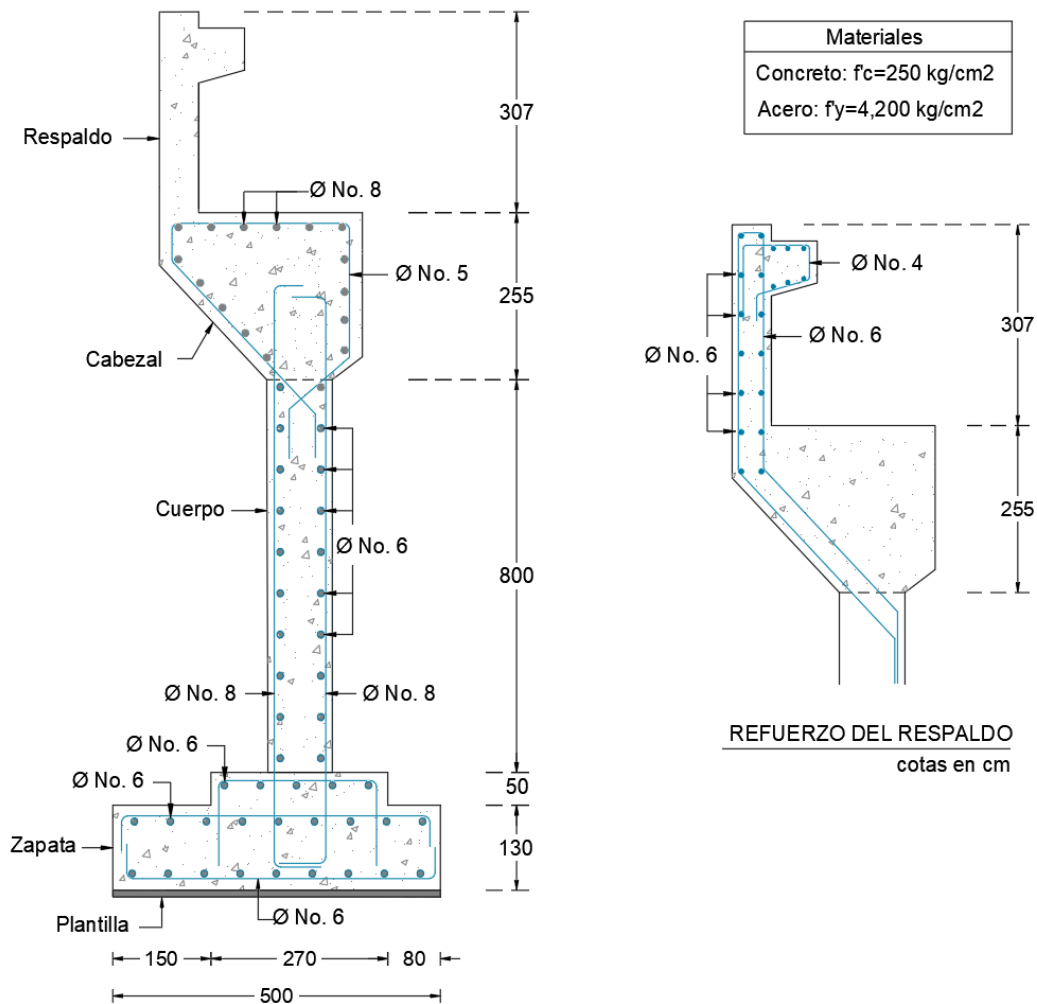
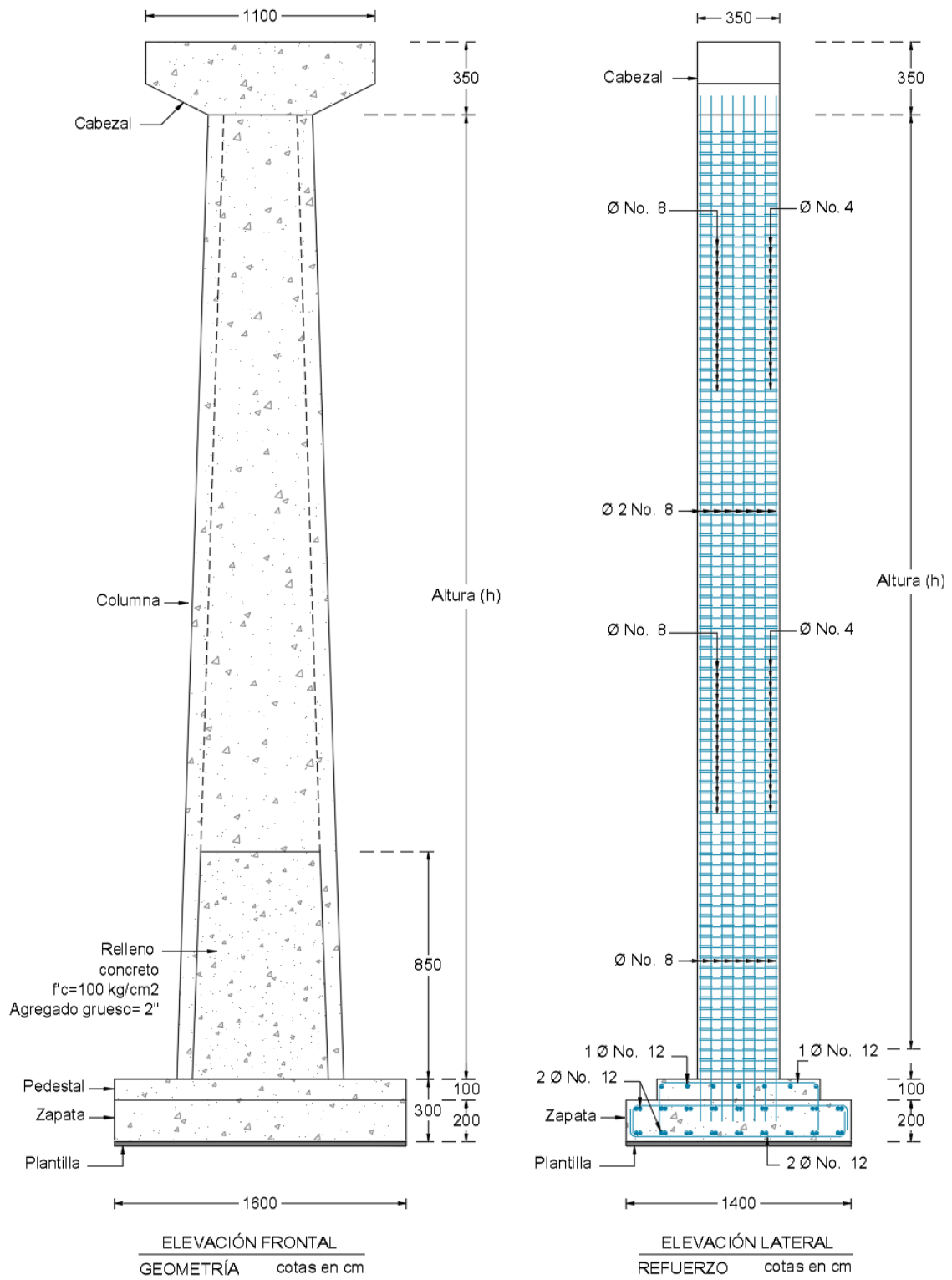


Figura IV.15 Geometría y refuerzo del Caballete. Fuente: Elaboración propia

- Pilas centrales No. 2 y No. 3 de concreto $f_c=250 \text{ kg/cm}^2$ y armada con acero de refuerzo $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Las pilas están conformadas por una zapata con pedestal, una columna de sección variable hueca y un cabezal de sección trapecial, las dimensiones y refuerzo se muestran en la figura IV.16 y No. 17.
- Previamente se coloca una plantilla de concreto $f_c=100 \text{ kg/cm}^2$ de 5 cm de espesor en el nivel de desplante de la zapata.
- La Pila No. 2 tiene una altura de 44.35 m y la Pila No. 3 de 57.00 m.
- A una altura de 8.50 tiene un relleno de concreto simple de $f_c=100 \text{ kg/cm}^2$ con agregado grueso de 2" (5.4 cm)



Materiales	Concreto: $f_c=250 \text{ kg/cm}^2$	Acero: $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$
-------------------	-------------------------------------	------------------------------------

Figura IV.16 Geometría y refuerzo de las Pilas centrales. Fuente: Elaboración propia

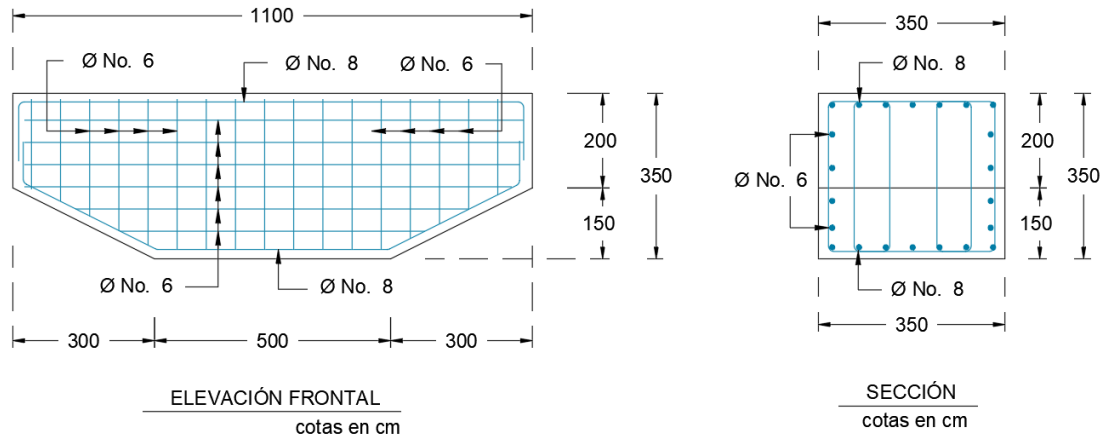


Figura IV.17 Geometría y refuerzo del cabezal de las Pilas. Fuente: Elaboración propia

Superestructura

- Dovelas (tramos) conformadas por dos traveses fabricadas con placas de acero estructural A-50 ($f'y=3750 \text{ kg/cm}^2$) unidas con soldadura, contraventeadas con perfiles y placas de acero estructural A-36 ($f'y=2350 \text{ kg/cm}^2$) (figura IV.18).

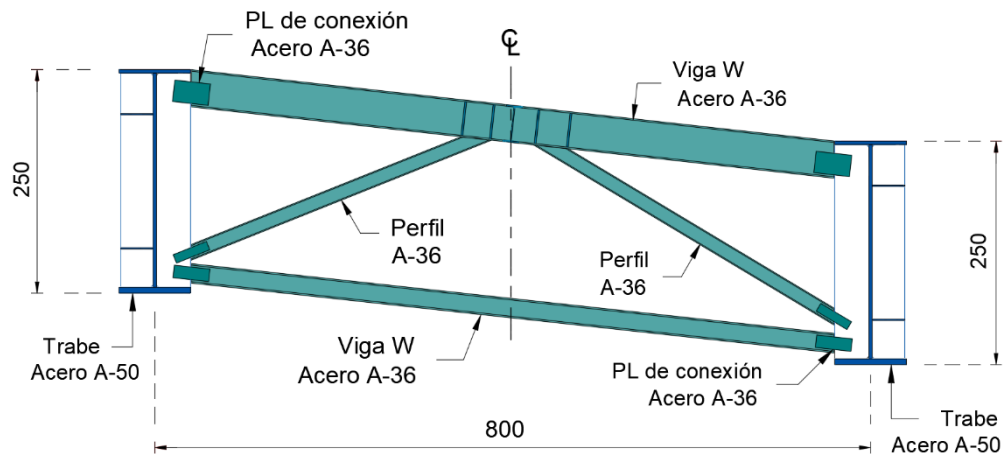


Figura IV.18 Sección transversal de dovelas de acero estructural.

Fuente: Elaboración propia

- Los patines superior e inferior, así como el alma de las traveses, son de acero estructural A-50 y los atiesadores vertical y horizontal de acero A-36, adicionalmente, se colocan pernos tipo Nelson Stud en el patín superior para absorber los esfuerzos de cortante en la losa (figura IV.19).

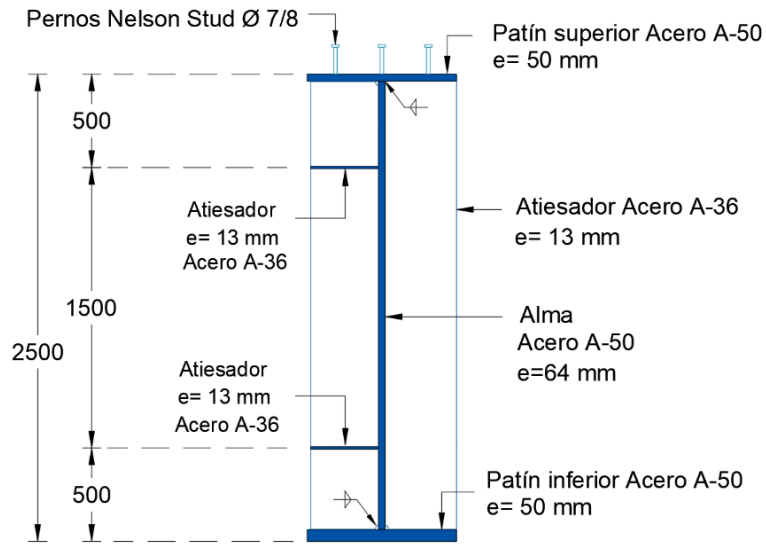


Figura IV.19 Sección transversal de trabe principal. Fuente: Elaboración propia

- La losa en los tres claros es de concreto $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, de un peralte de 24 cm y armado con acero de refuerzo de $f'y= 4,200 \text{ kg/cm}^2$, la distribución de acero por flexión se distribuye de acuerdo a la posición de las traveses (figura IV.20).

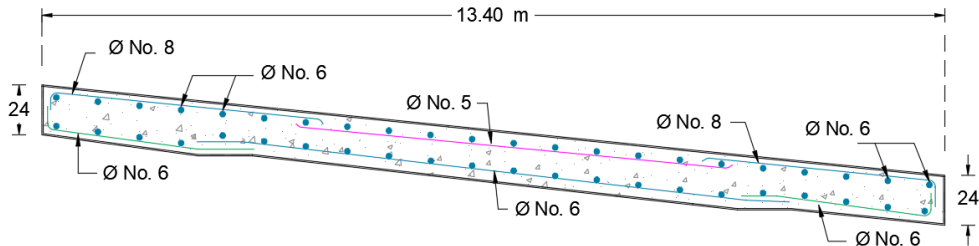


Figura IV.20 Geometría y refuerzo de losa. Fuente: Elaboración propia

Complementos

- El sistema de apoyo para disipar las cargas entre la superestructura y la subestructura será mediante apoyos mecánicos deslizantes guiado con un desplazamiento $\pm 200 \text{ mm}$ con cilindros de suspensión Tetron® CD GG o similar (fig. IV.21).

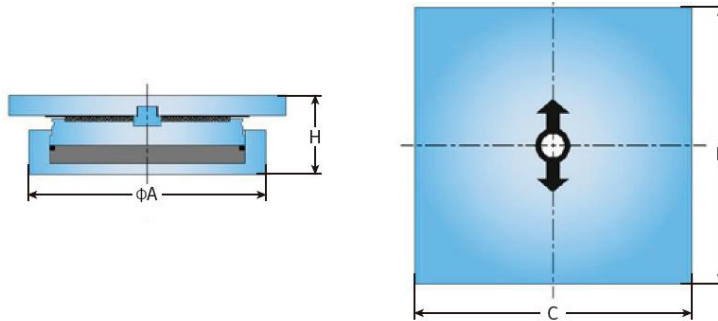


Figura IV.20 Apoyos mecánicos guiados con cilindro de suspensión Tetron CC GG.
Fuente: Freyssinet México

- Las dimensiones y tipo del parapeto y guarnición vehicular se muestran en la figura IV.22:

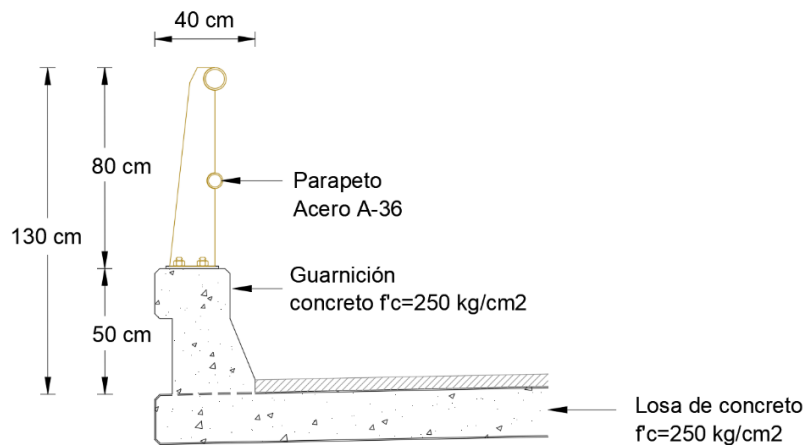


Figura IV.21 Geometría y refuerzo de losa. Fuente: Elaboración propia

4.6 Procedimiento constructivo

El Viaducto 174+144 es considerado un puente especial, particularmente, catalogado como un Puente Empujado debido a su procedimiento constructivo y de acuerdo con la clasificación que se indica en la Norma M·PRY·CAR·6·01·008, “*Consideraciones para Puentes Especiales*”, (NIT-SCT). A continuación, se describen de manera general, las principales etapas que comprenden la construcción de una estructura de esta índole, con el fin de visualizar los aspectos constructivos más relevantes de está.

Subestructura

- Inicialmente los trabajos preliminares de trazo y nivelación, no tienen mayor complejidad a la de una estructura de un puente “tradicional”, asimismo, las etapas de excavación y plantilla.
- Posteriormente se procede con la construcción de los elementos que conforman las pilas centrales: Zapata, columna y Cabezal (figura IV.22).

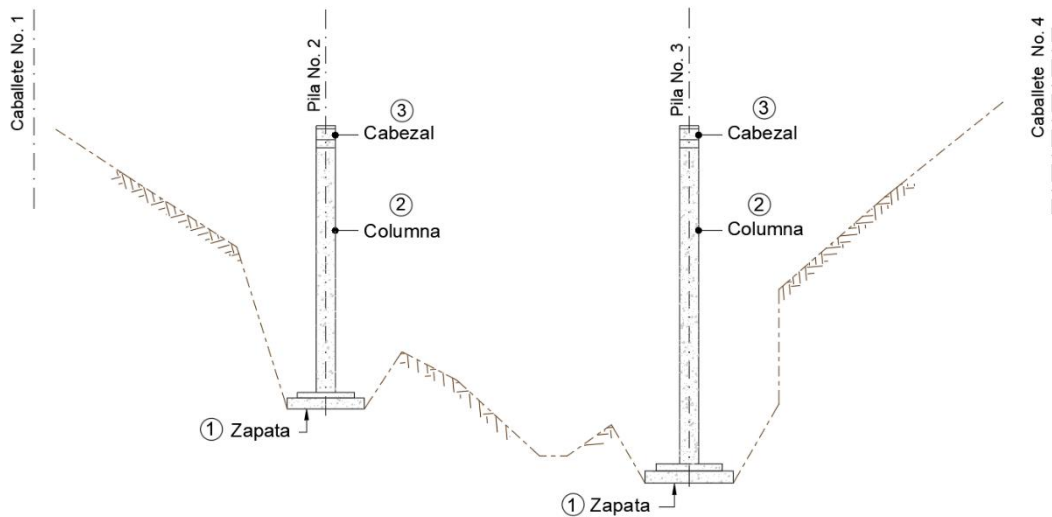


Figura IV.22 Construcción de las pilas centrales. Fuente: Elaboración propia

- Debido a que las columnas superan los 40 m, el proceso constructivo es mediante la utilización de cimbra deslizante vertical (figura IV.23).

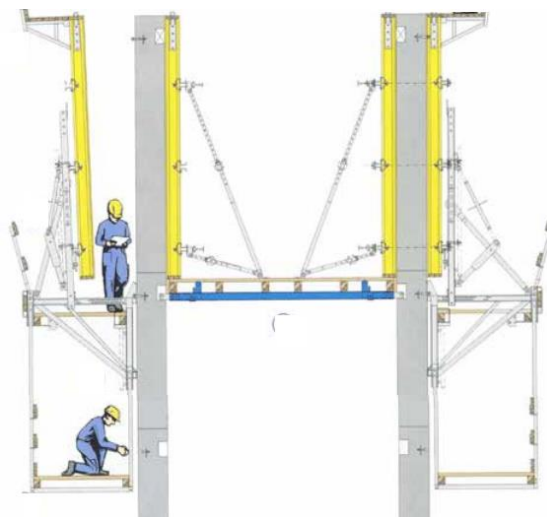


Figura IV.23 Construcción de columnas con cimbra deslizante. Fuente: Mexpresa

- Una vez terminado la construcción de las pilas, se construyen los caballetes No. 1 y No. 4 (figura IV.24), a excepción del respaldo en el caballete No. 1, con la finalidad de permitir el empujado de las dovelas, el cual, se explicará mas adelante .

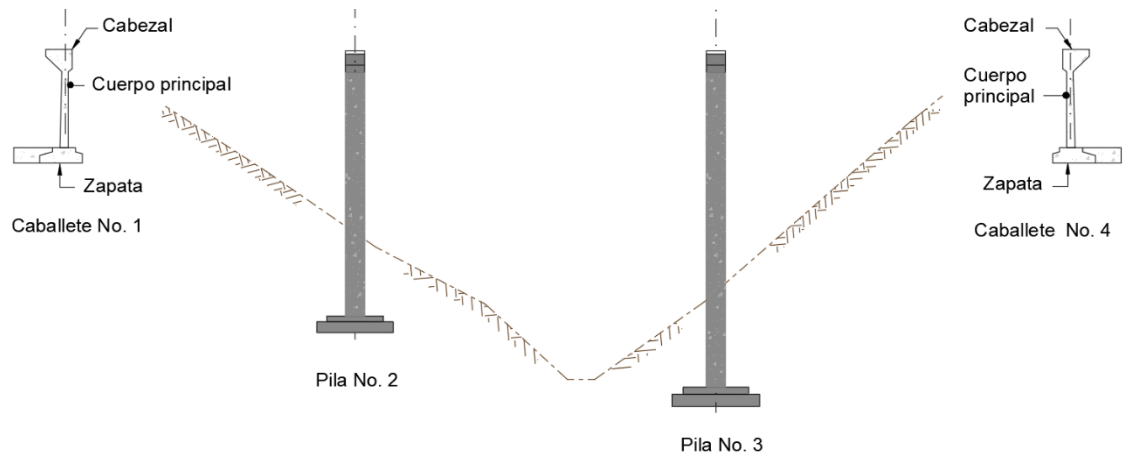


Figura IV.24 Construcción de los caballetes. Fuente: Elaboración propia.

- Concluyendo con las actividades correspondientes a la construcción de la subestructura, se procede al relleno y compactación de las excavaciones que se realizaron para la construcción de las zapatas y retiro del material excedente.

Superestructura (dovelas)

Como ya se mencionó, la superestructura está formada por 17 dovelas de acero, que manera general, se fabricarán en taller y se ensamblarán en el sitio para posteriormente ser empujadas hacia su posición real. Dentro de los trabajos preliminares para llevar a cabo su fabricación y colocación, se consideran las siguientes actividades:

- Instalación de patio de prefabricación para el ensamble, deslizamiento y empuje de las dovelas, que se ubicará detrás del caballete (figura IV.25).
- Instalación de torres provisionales para el ensamble de las dovelas.

- Instalación de bases de apoyo provisionales para el empuje de dovelas.
- Instalación del sistema del mecanismo de empujado mediante gatos hidráulicos.

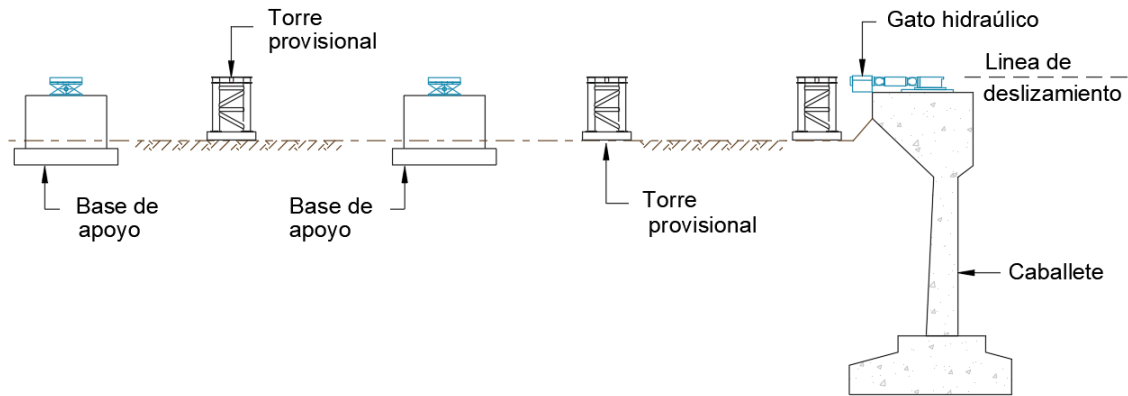


Figura IV.25 Esquema del habilitado del patio de prefabricación. Fuente: Elaboración propia.

Después de terminar con las actividades preliminares, se procede al montaje y acople de traveses, contraventeos y conexiones para formar las dovelas. El empujado se realiza por etapas sucesivas hasta cubrir los tres claros que comprende la longitud total del Viaducto (figura IV.26).

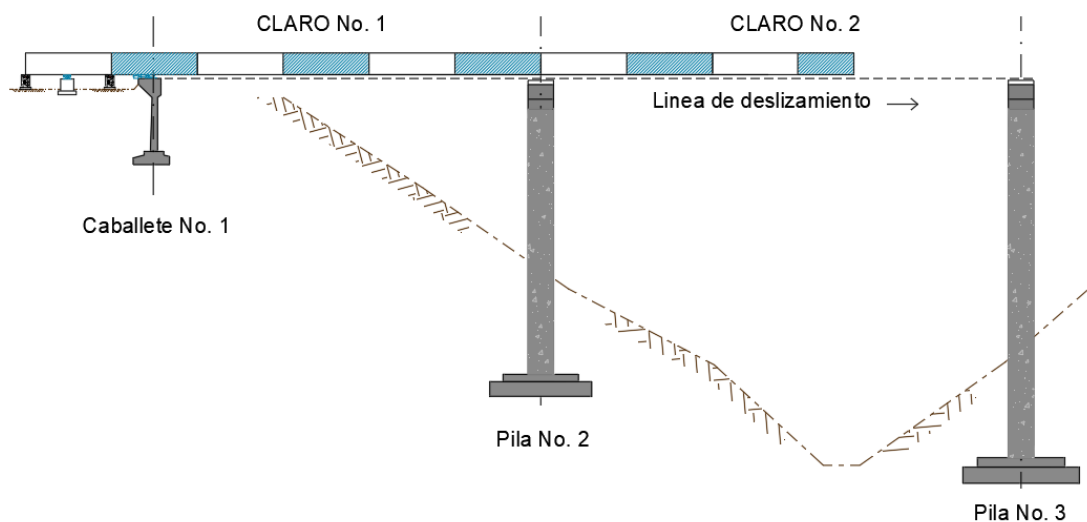


Figura IV.26 Empujado de dovelas. Fuente: Elaboración propia.

Superestructura (Losa de concreto)

La ultima etapa consiste en la construcción de la superficie de rodadura y los complementos que acompañan a está para la correcta circulación de los vehiculos:

- Construcción de la losa de concreto sobre las dovelas (figura IV.27)
- Construcción de la guarnición vehicular y montaje del parapeto vehicular.

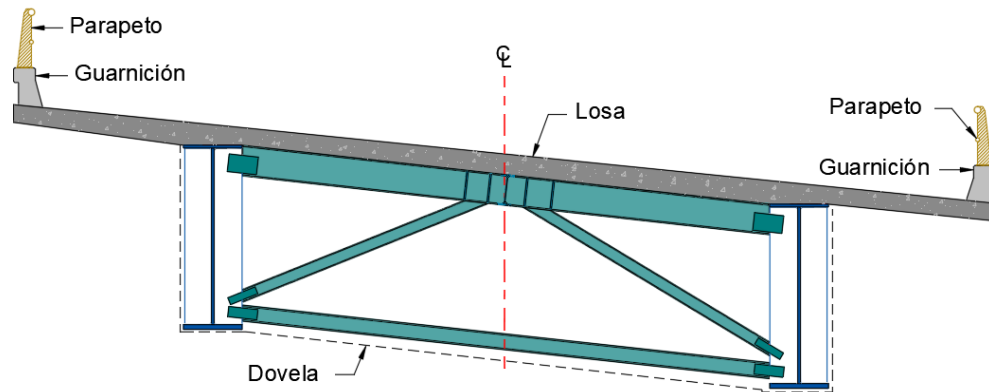


Figura IV.27 Construcción de la losa, guarnición y parapeto. Fuente: Elaboración propia.

- Instalación de la junta de calzada y señalmientos.
- Limpieza final de obra y;
- Finalmente, la apertura al transito.

Hasta ahora, se han descrito las características técnicas y geométricas del proyecto, que aportan mayor grado de claridad y compresion acerca de los conceptos que interviene en el diseño y coordinación de puentes de acero. Si bien, la intención de esta investigación no esta enfocada particularmente al diseño estructural de puentes, es conveniente conocer hasta cierta medida, los requerimientos generales señalados anteriormente, para que en el siguiente capitulo se perciba de forma tangible, las ventajas de utilizar una metodología BIM en el área de diseño de proyectos de esta indole.

5. PROPUESTA DE METODOLOGÍA

En este último capítulo, se presenta a manera de evidencia, una propuesta de una metodología tangible basada en procesos BIM, para la realización del proyecto del puente vehicular descrito en el capítulo 4. Tal propuesta comprende la implementación de flujos de trabajo junto con la aplicación de softwares BIM pertenecientes a la familia Autodesk® y de Microsoft®, para obtener los distintos elementos que comprenden el proyecto (planimetría, cuantificaciones, programación, planeación, etc.), mostrando las ventajas que se identificaron al momento de elaborar tal proyecto frente a una metodología tradicional.

5.1 Flujo de trabajo

Como se ha mencionado en los primeros capítulos, en México, la utilización de estas nuevas herramientas tecnológicas en proyectos de infraestructura y específicamente de puentes vehiculares, aún está en fase de implementación en comparación con el modelado de información en edificios.

Por ende, la metodología que se propone en esta investigación es el resultado de una serie de ensayos de prueba y error, y, debido a las variaciones presentadas, se requirió de la adaptación de un flujo de trabajo para que fuera aplicable para un proyecto de un puente vehicular, sumado a la propia complejidad del puente en sí, pues está catalogado del tipo especial, en función de su diseño y proceso constructivo.

En la figura V.1 se muestra un esquema del flujo de trabajo que se implementó para llevar a cabo el modelado de información del puente vehicular, el cual está organizado por actividades, disciplinas, herramientas y/o softwares que se utilizaron.

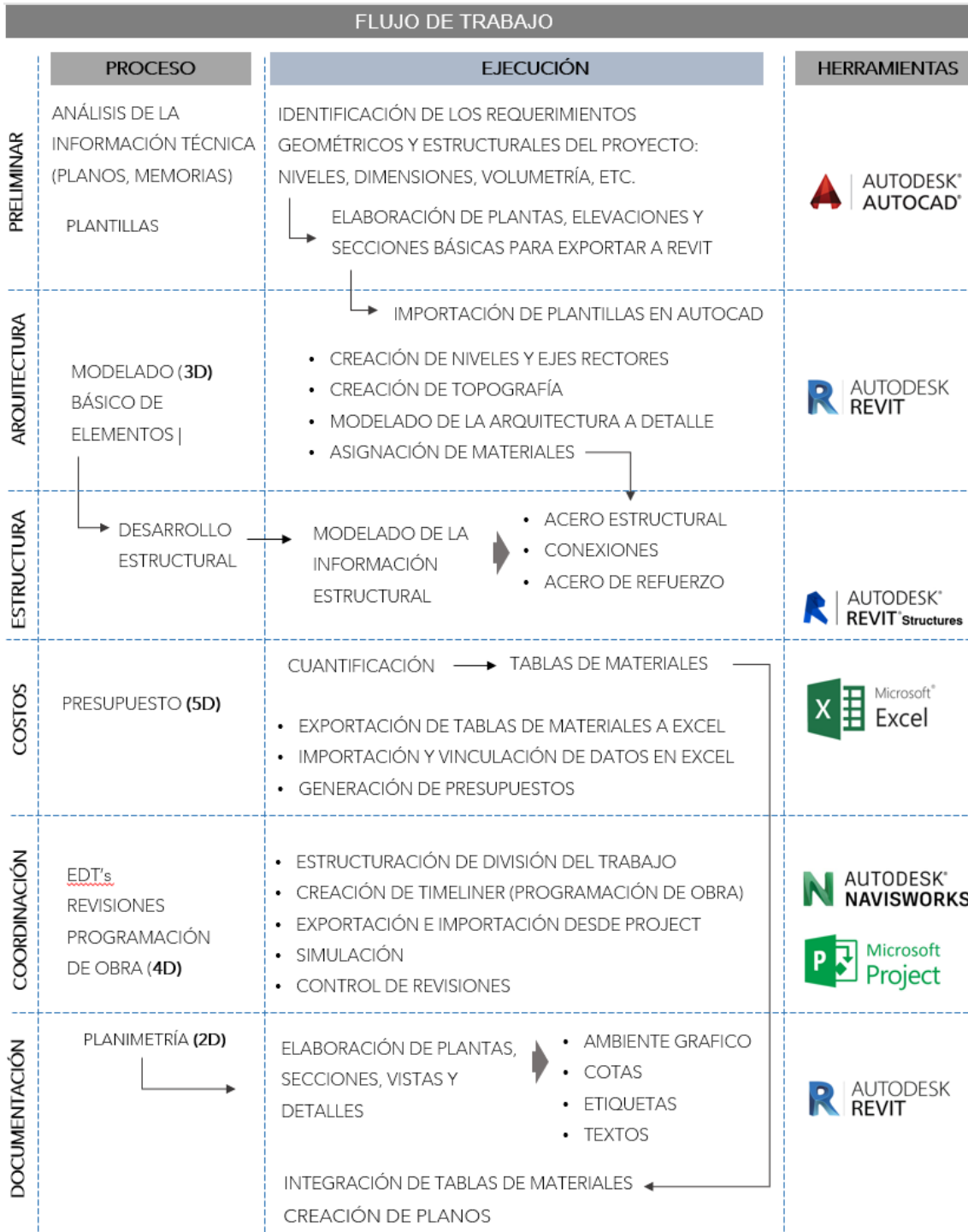


Figura V.1 Flujo de trabajo para elaborar un modelo BIM. Fuente: Elaboración propia

En el esquema se observa que la propuesta de la metodología no se limita al uso de un solo software para realizar los procesos requeridos, sino que implica una combinación de actividades de distintas disciplinas enlazadas entre sí, que

permiten modelar de manera eficiente, conforme a las necesidades particulares del proyecto a desarrollar. El análisis de la información ya se ha llevado a cabo en el capítulo 4, por lo tanto, la descripción del flujo de trabajo comenzará a partir de la disciplina de arquitectura, la cual corresponde al modelado 3D.

5.2 Modelado BIM 3D

Previo al comienzo del modelado 3D de los elementos en Revit, se requirió de la creación de plantillas que incluya trazos generales, ejes y elevaciones, mediante el uso de AutoCAD, ya que sus herramientas presentan una mayor precisión y rapidez para realizar dichas plantillas. (figura V.2 y V.3).

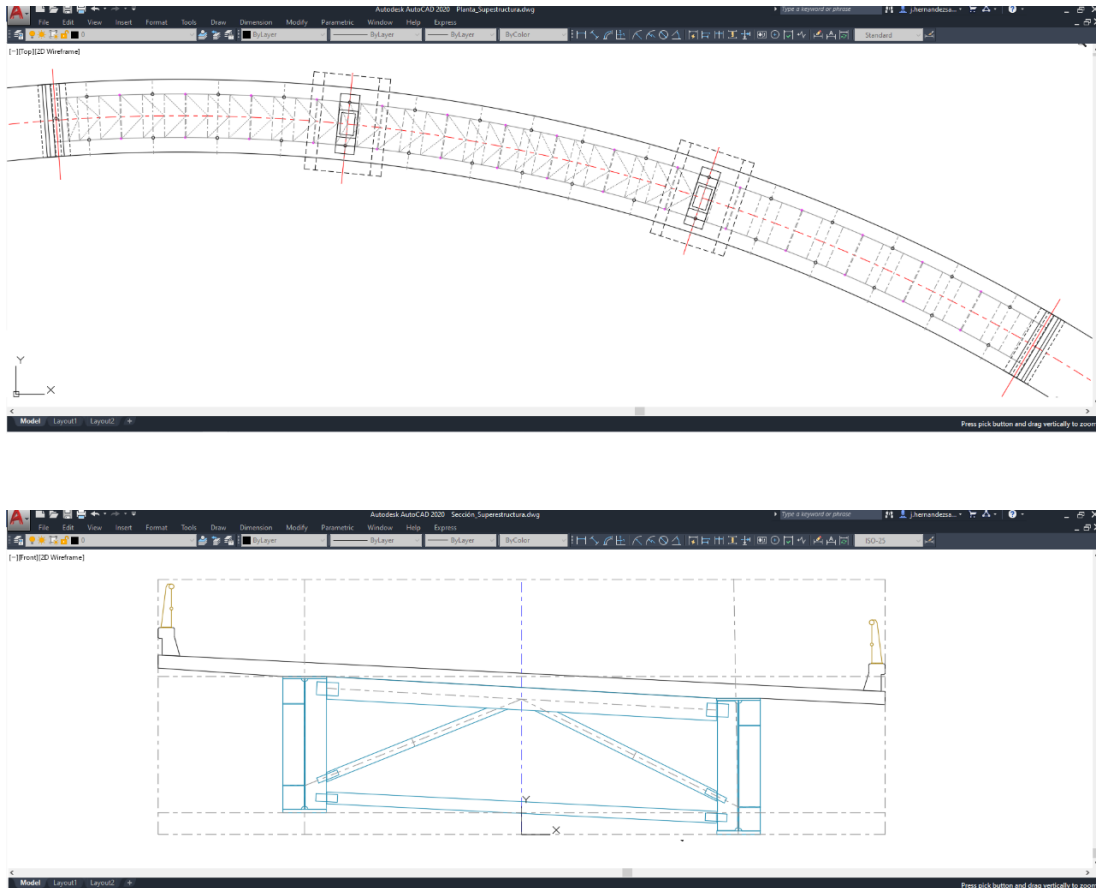


Figura V.2 y V.3. Plantilla 2D realizada con AutoCAD que muestra la geometría básica.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, en el programa Revit, se crea un nuevo proyecto con plantilla de Arquitectura (figura V.4).

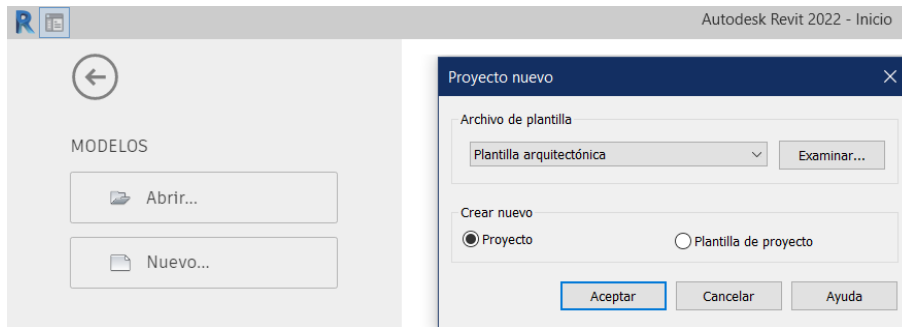


Figura V.4. Creación de un nuevo proyecto en Revit. Fuente: Elaboración propia

Después, se vinculan las plantillas de AutoCAD, para que, en caso de algún cambio en el trazo, se vuelva a cargar el archivo actualizado (figura V.5).

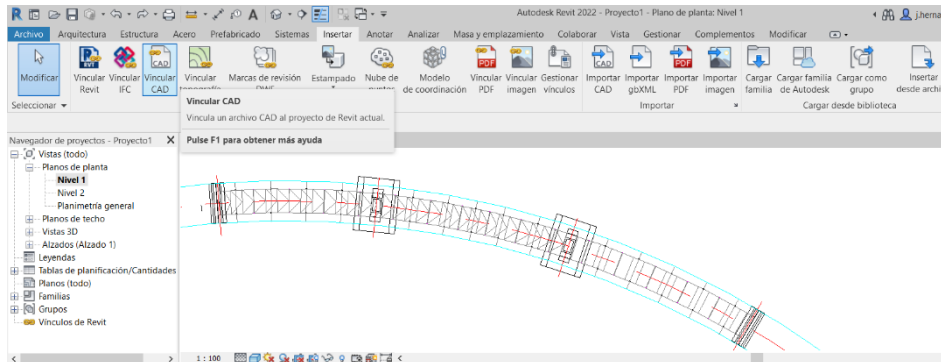


Figura V.5. Importación de plantillas dwg en Revit. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se crean los ejes rectores y niveles de proyecto (figura V.6).

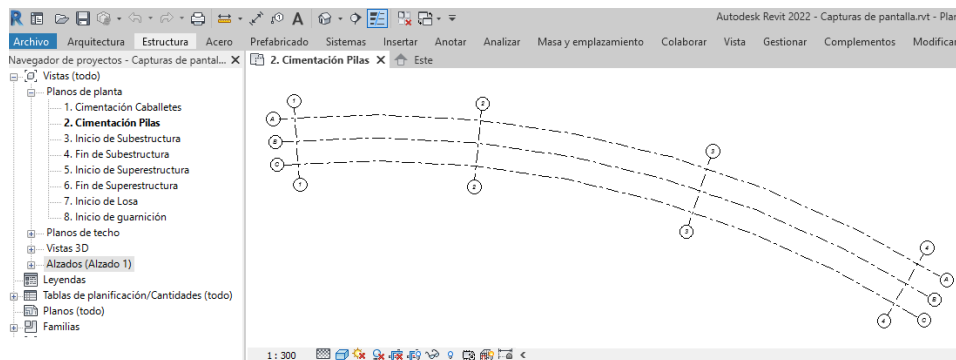


Figura V.6. Creación de ejes y niveles. Fuente: Elaboración propia

Los ejes (rejillas) y niveles determinan la posición del elemento, y con los parámetros de la categoría se otorgan las dimensiones.

5.2.1 Subestructura

Terminado de crear las configuraciones iniciales e importado las plantillas de trabajo de AutoCAD, se procede a comenzar con el modelado de la geometría de los elementos que conforman la Subestructura.

Con Revit se pueden crear zapatas, muros, vigas y columnas, entre otros, los cuales están clasificados en categoría, familias y tipos (figura V.7).

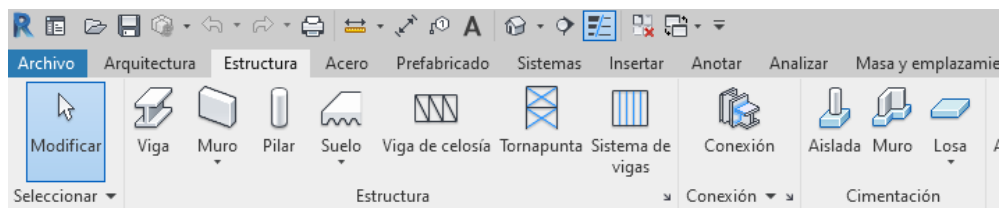


Figura V.7. Herramientas de creación de elementos estructurales. Fuente: Revit Structures

Los primeros objetos a modelar son las zapatas y muros (figura V.8).

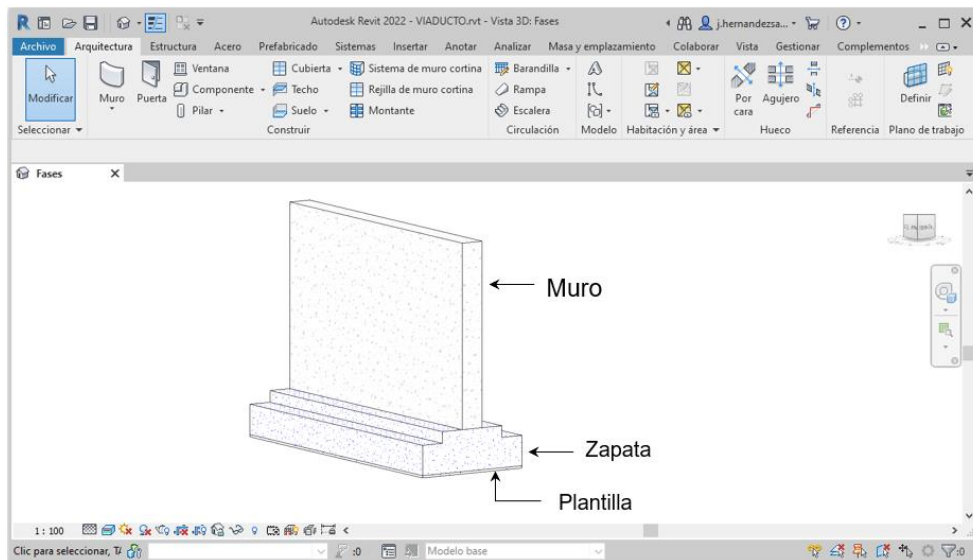


Figura V.8. Modelado de zapatas y muros de Caballetes con Revit. Fuente: Elaboración propia

Antes de continuar, se hace hincapié en la creación de materiales, cuya configuración, es una parte fundamental para generación de cantidades de obra, las cuales son requeridas tanto en la parte de costos, planeación e integración en la planimetría del proyecto.

En Revit, se configuran las propiedades de materiales conforme a las especificaciones del proyecto, ya sea para concreto, acero de refuerzo, acero estructural o cualquier otro material solicitado (figura V.9).

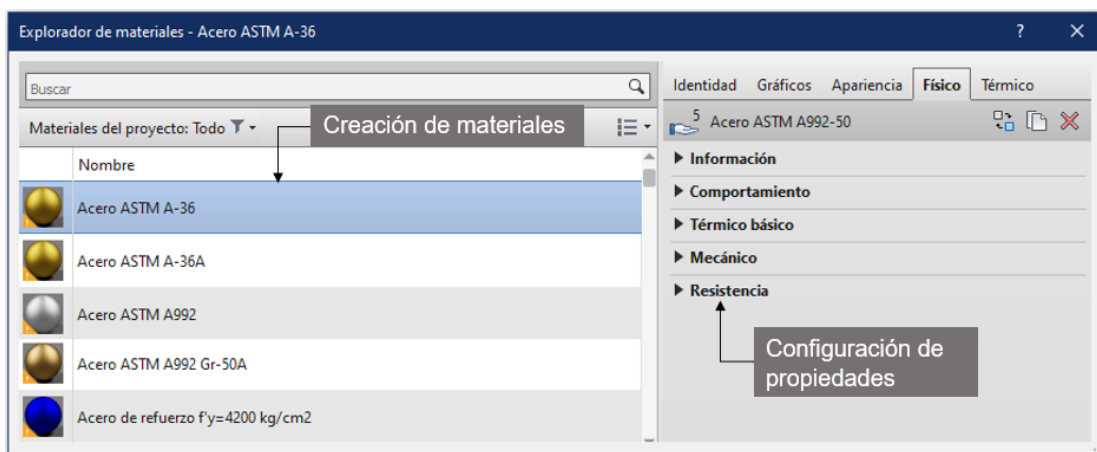


Figura V.9. Creación de Materiales. Fuente: Elaboración propia

En el cuadro de propiedades se puede elegir el tipo de material, del cual estará hecho el elemento. Con base en el flujo de trabajo, se considera adecuado que el material sea asignado durante el modelado del elemento (figura V.10)

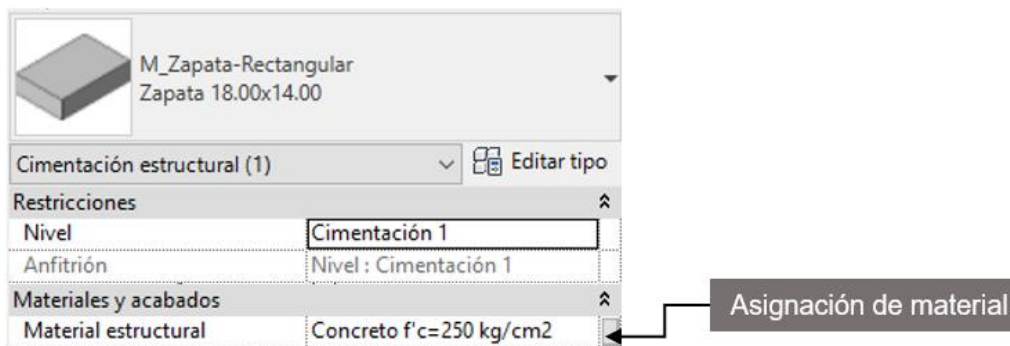


Figura V.10. Asignación de Materiales. Fuente: Elaboración propia

Continuando con el modelado, se crean las columnas de Pilas, las cuales tienen una geometría prismática y hueca. Revit permite crear elementos específicos del proyecto de acuerdo con la forma requerida (figura V.11).

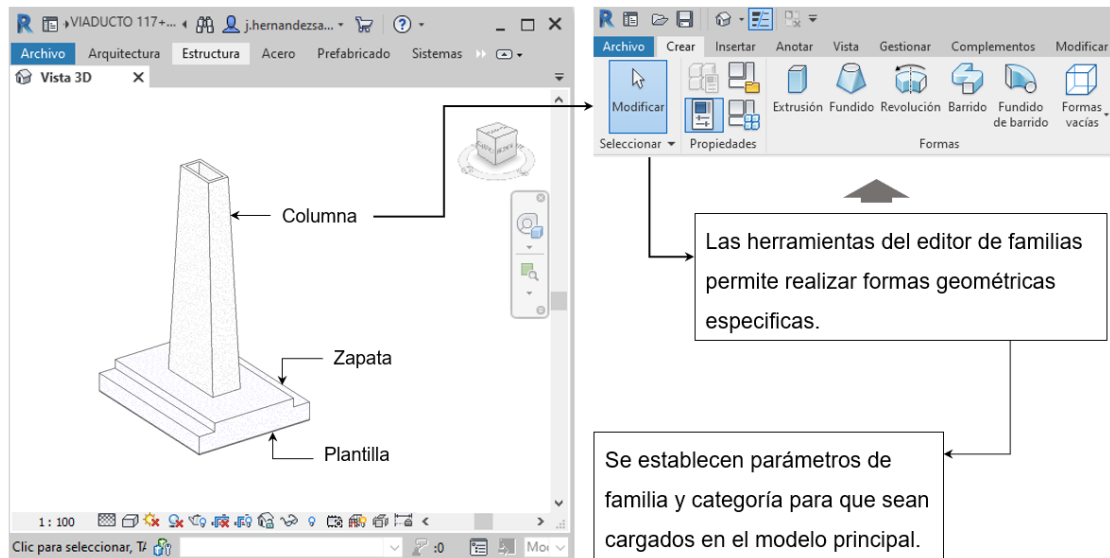


Figura V.11. Modelado de zapatas y columnas de las Pilas. Fuente: Elaboración propia

Los cabezales de Caballetes y Pilas también tienen una sección geométrica variable, por ende, se crean elementos específicos desde el editor de familias como sucedió con las columnas (figura V.12).

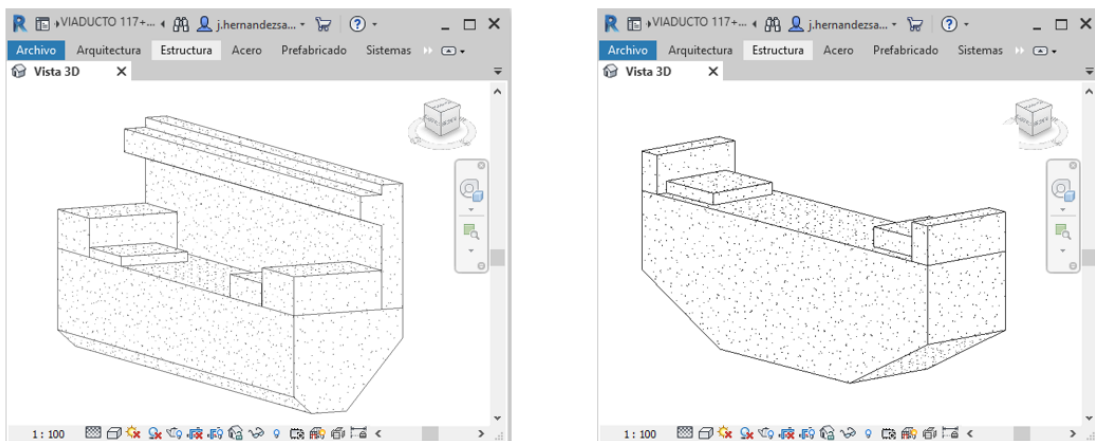


Figura V.12. Modelado cabezales con Revit. Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que, una vez que se establecen los parámetros adecuadamente (largo, ancho, trayectoria, sección, etc.) estos pueden ser modificados cuando se encuentran cargados en el modelo principal, en caso de que existan cambios en su geometría.

Hasta este punto han sido modelado los Caballetes y Pilas que corresponden a la Subestructura, tal y como se muestra en la figura V.13.

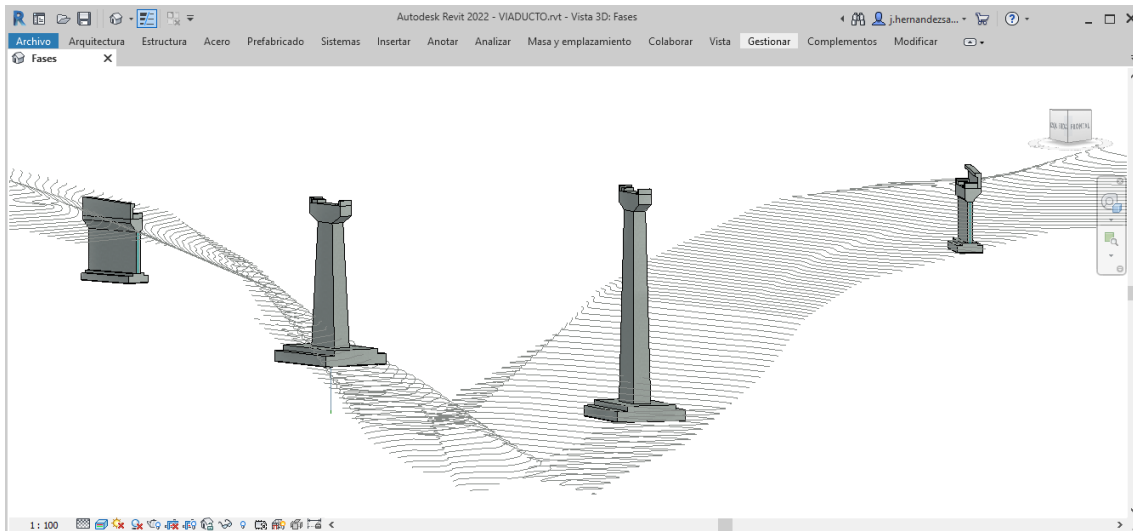


Figura V.13. Modelado de la Subestructura. Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Supestructura-Trabes

Previo a la creación de los elementos que conforman las dovelas de acero, se crean los apoyos sobre los bancos de cada cabezal (figura V.14)

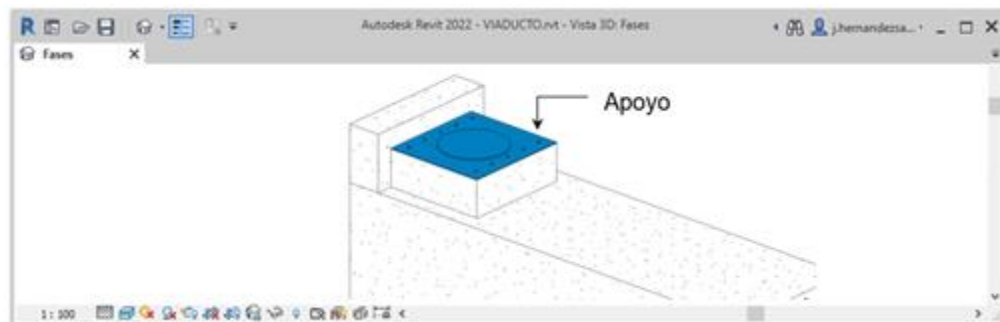


Figura V.14. Creación de Apoyos. Fuente: Elaboración propia

En esta etapa, los elementos de acero estructural tienen un comportamiento distinto a elementos de concreto, ya que sus parámetros deben configurarse en función de sus conexiones y ensambles en taller, considerando las soldaduras, pernos o anclajes.

Inicialmente se crean las traveses principales junto con sus atiesadores tanto verticales como horizontales, de acuerdo con sus dimensiones, tipo de perfiles, además de precisar su ubicación en planta y en elevación. (figura V.15).

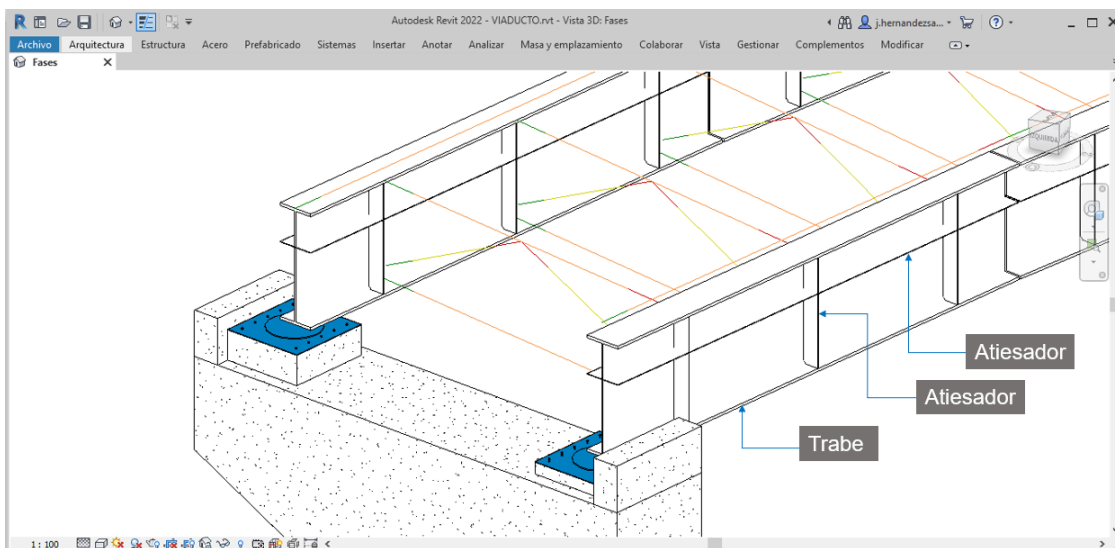


Figura V.15. Modelado inicial de las traveses de acero. Fuente: Elaboración propia

Como una observación, Revit tiene un alcance limitado en lo que se refiere a la creación de planos de fabricación o ensamble, pero la información generada tiene un alto grado de precisión, lo que permite exportarla a un software especializado que pueda elaborar tal documentación para la manufactura en taller.

Posteriormente, en la figura V.16 y V.17 se muestra la creación de los complementos:

- Piezas Puente
- Diagonales y Cuerda inferior
- Pernos y conexiones

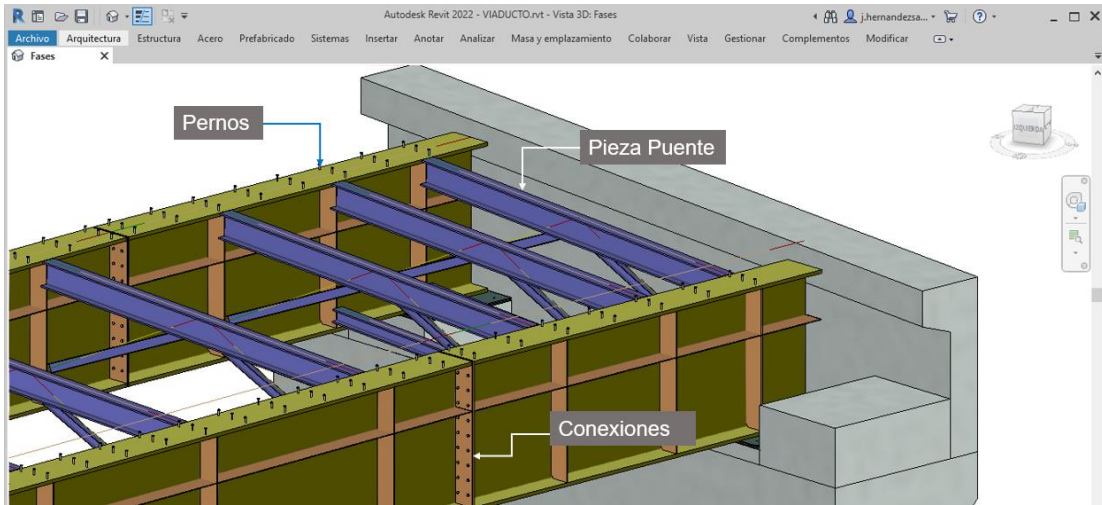


Figura V.16. Creación de complementos de las traves. Fuente: Elaboración propia

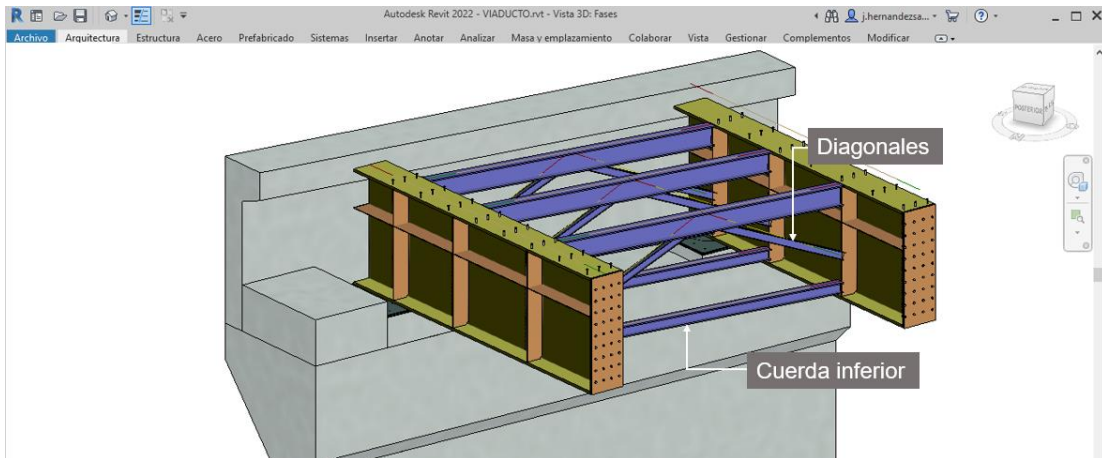


Figura V.17. Creación de complementos de las traves. Fuente: Elaboración propia

Para la modificación de perfiles y placas de acero estructural, Revit cuenta con herramientas que permiten crear, cortes o uniones de acuerdo a las necesidades del modelo (figura V.18).

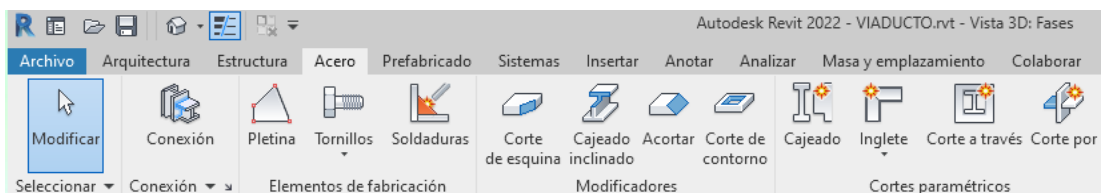


Figura V.18. Modificadores de elementos de acero. Fuente: Elaboración propia

En lo que se refiere a los elementos de conexión, Revit tiene una categoría de tornillos, anclajes, y soldadura, que se adhieren a cualquier anfitrión, mientras este posea propiedades de acero estructural (figura V.19).

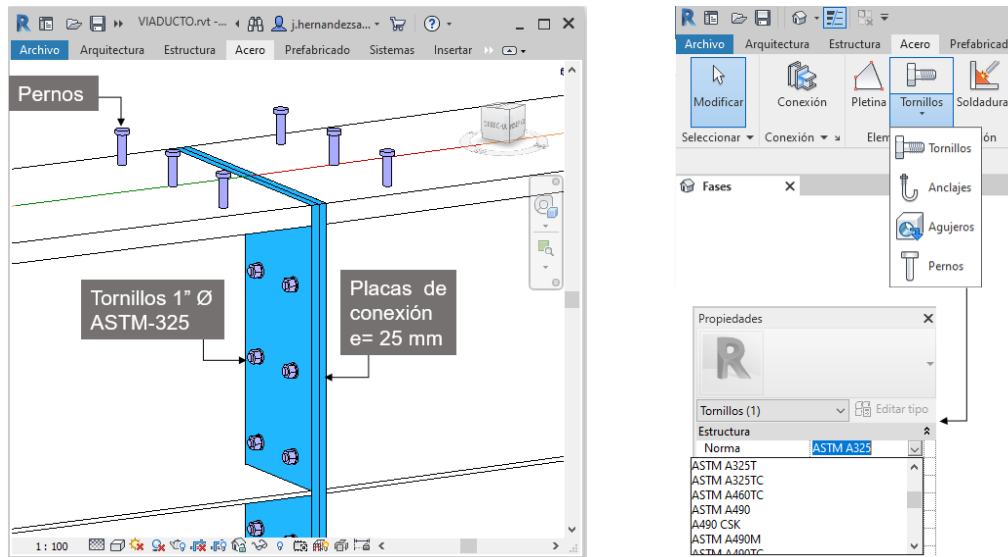


Figura V.19. Elementos de conexión en traves. Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, se continúa con la creación de todos los elementos involucrados en la Superestructura hasta completar los tres tramos (figura V.20).

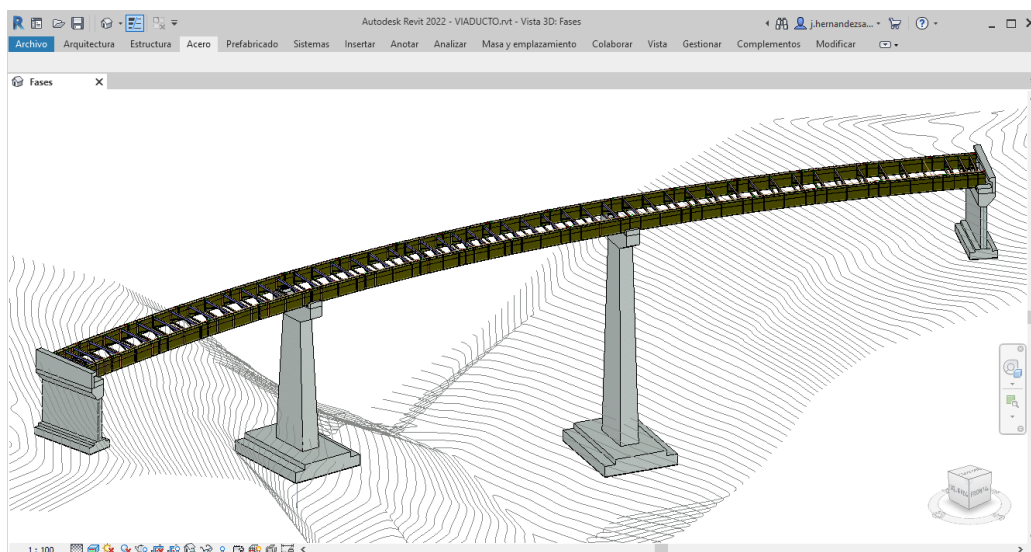


Figura V.20. Modelado de las traves de acero. Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Supestructura-Losas

En lo que respecta a las losas de rodadura, se requiere nuevamente la creación de elementos específicos propios del proyecto, puesto que las herramientas estándares están limitadas a modelos “convencionales”, enfocados primordialmente a elementos de cubiertas de edificios de carácter civil.

Sobre la estructura de traveses de acero, se modela cada tramo de losa conforme a la configuración geométrica requerida (ancho, largo, peralte, trazo y pendiente transversal), como se muestra en la figura V.21.



Figura V.21. Modelado de las losas de rodadura. Fuente: Elaboración propia

Es importante que se asignen parámetros de tableros de puentes, para que su comportamiento sea el de una losa de concreto y pueda albergar acero de refuerzo (figura V.22).

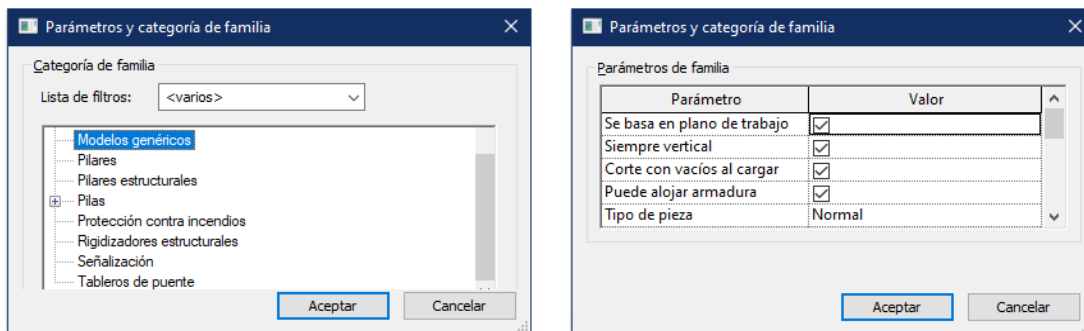


Figura V.22. Parametrización de las propiedades de losas. Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Guarnición

Al igual que las losas del puente, la forma de la guarnición requiere de crear modelos específicos únicamente para el proyecto, ya que tanto el lado derecho como el lado izquierdo de cada tramo tienen una longitud y posición diferente (figura V.23).

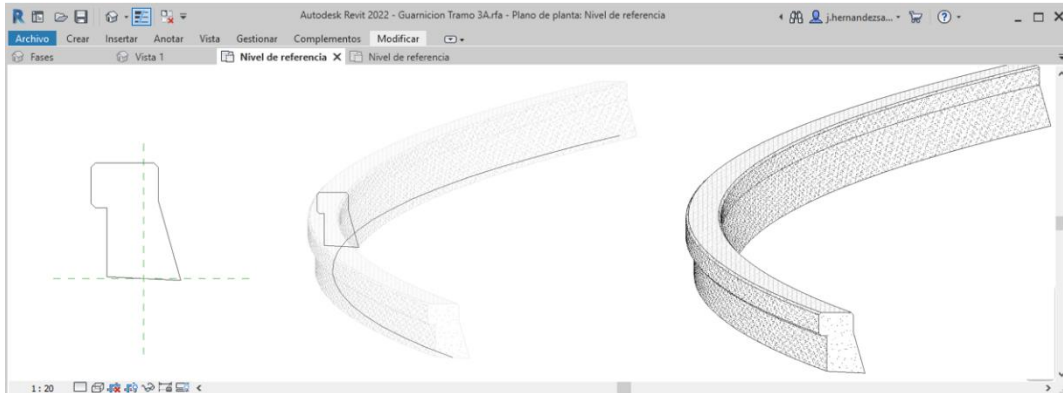


Figura V.23. Modelado de la guarnición vehicular. Fuente: Elaboración propia

También debe asignarse propiedades para que el elemento pueda alojar armaduras de acero de refuerzo. Terminando de modelar todos los tramos de guarnición, estos se cargan al modelo principal de acuerdo con su ubicación y elevación (figura V.24).

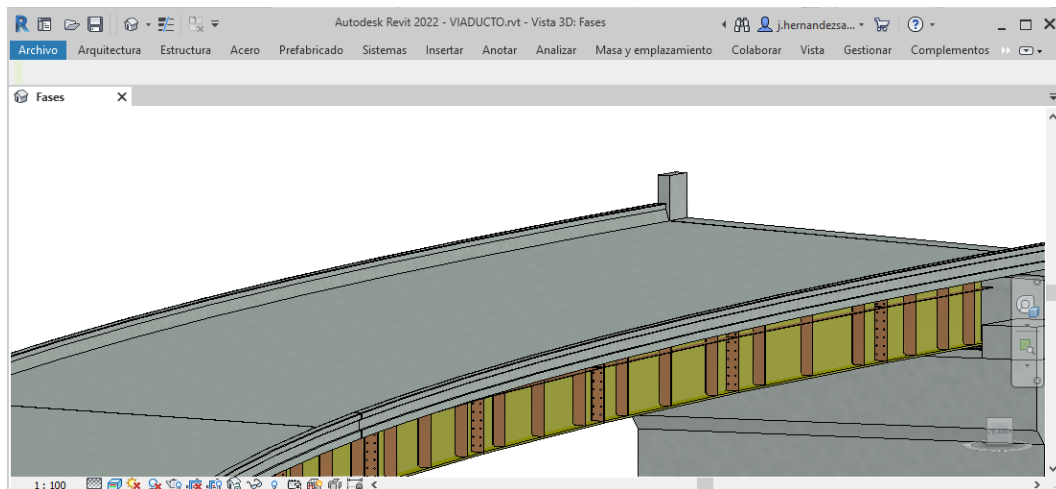


Figura V.24. Colocación de tramos de guarnición sobre las losas. Fuente: Elaboración propia

5.2.5 Parapeto

Revit, en su disciplina de Arquitectura, tiene un panel dedicado al desarrollo de diferentes tipos de barandillas, sin embargo, dado que el parapeto es un elemento propio en puentes vehiculares, se optó por realizar el modelo de manera particular para el proyecto, por ser la opción óptima para la metodología.

Se inicia con la creación de los subcomponentes de las pilastras, modelando las placas principales de acero acorde con la forma que indica el proyecto. Posteriormente, se crean las placas base junto con sus respectivos elementos de anclaje (figura V.25).

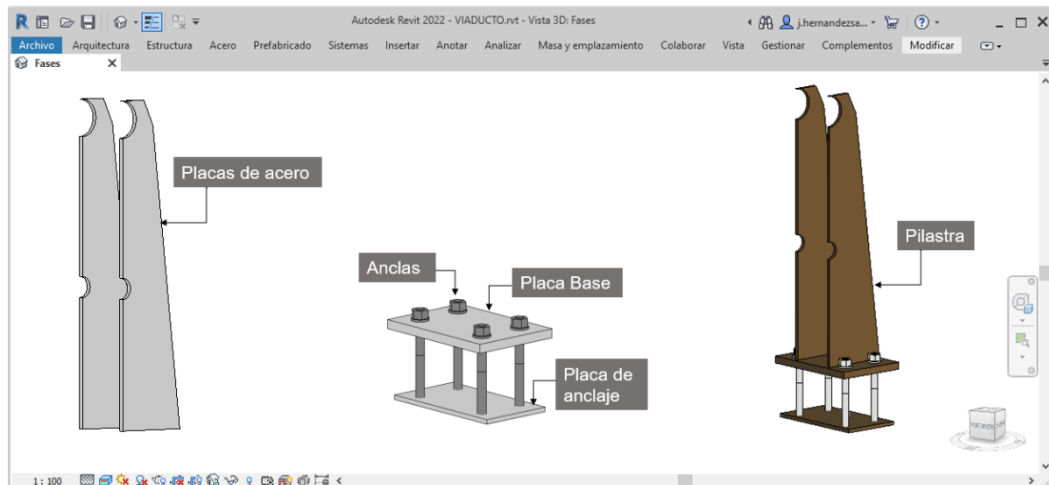


Figura V.25. Modelado de pilastras del Parapeto. Fuente: Elaboración propia

Terminado de la actividad anterior, se continua con la colocación de las pilastras sobre cada uno de los tramos de la guarnición, con el espacio indicado en proyecto.

Y finalmente, se colocan los tubos superior e inferior para conformar la totalidad del parapeto (figura V.26).

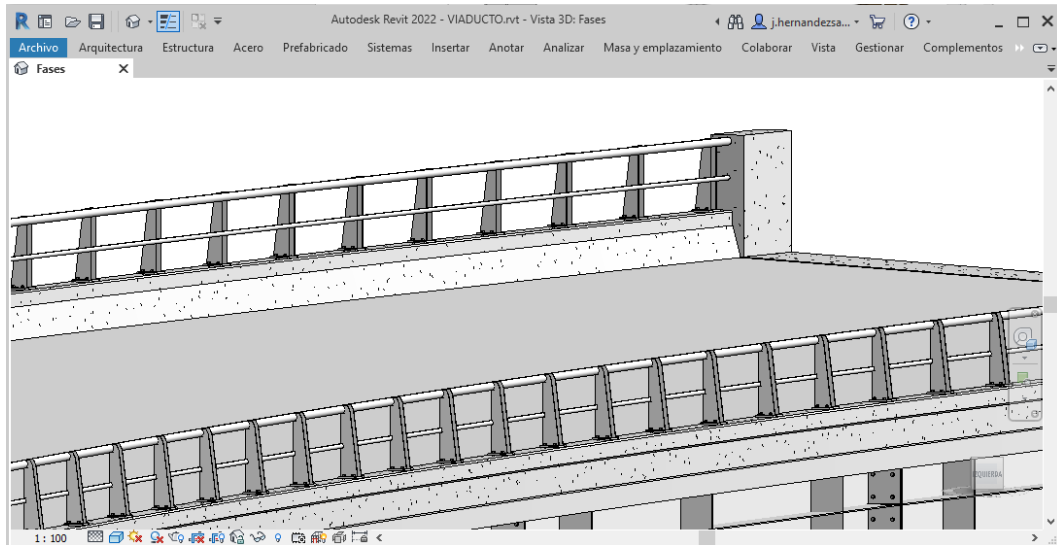


Figura V.26. Modelado de pilastras del Parapeto. Fuente: Elaboración propia

Con esto se concluye el modelado de los elementos que comprende la subestructura y superestructura. En la figura V.27 se muestra el estado actual de del modelo del puente vehicular, donde se aprecia la integración de los objetos creados, de acuerdo con su posición.

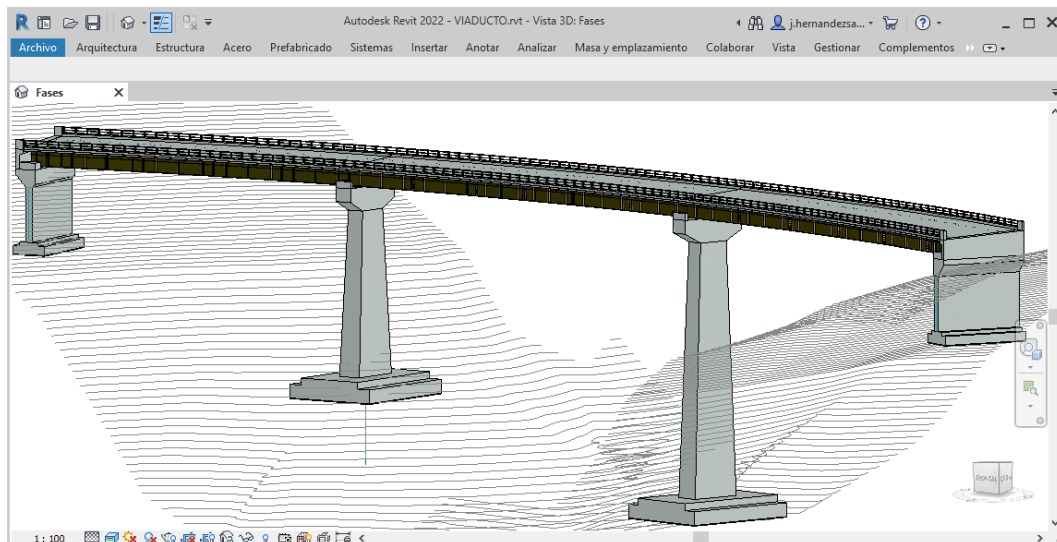


Figura V.27. Estado actual del modelo del puente vehicular. Fuente: Elaboración propia

5.2.6 Acero de refuerzo

El siguiente paso es el modelado del acero de refuerzo que alojarán los elementos de concreto previamente creados. Para realizar esta tarea, Revit dispone de un grupo de herramientas nativas que permiten el modelado del acero de refuerzo (figura V.28)

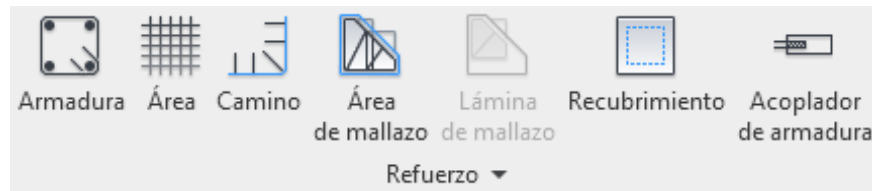


Figura V.28. Herramientas de creación de acero de refuerzo. Fuente: Elaboración propia

Por norma, se debe configurar el recubrimiento o espaciamiento mínimo libre que debe existir entre el extremo del acero y la cara externa del elemento. En general, se establece una tabla de recubrimientos según el tipo de elemento a reforzar, los datos se toman de las especificaciones técnicas del proyecto (figura V.29).

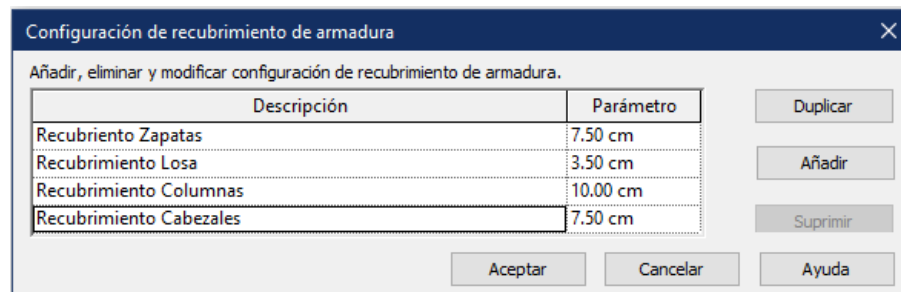


Figura V.29. Configuración de recubrimientos del refuerzo. Fuente: Elaboración propia

Ahora, se procede con la configuración de los diámetros de las barras de acero de refuerzo, las cuales deben ser comerciales, además de la asignación del material (acero de resistencia $f'y=4200 \text{ kg/m}^2$).

Cabe señalar que, dentro de las propiedades de armadura, la longitud de ganchos y radio de los dobleces están predefinidos por norma, o pueden ser modificados por requerimientos propios del proyecto. (figura V.30).

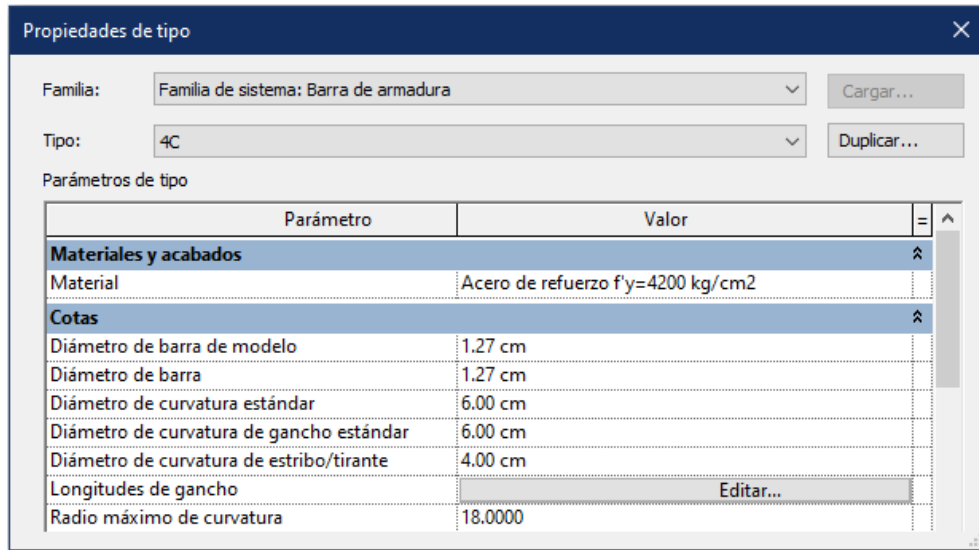


Figura V.30. Configuración de barras de refuerzo. Fuente: Elaboración propia

Luego de las configuraciones pertinentes, se procede con la inserción del acero de refuerzo en el elemento anfitrión, lo cual puede llevarse a cabo de dos maneras, la primera es mediante un catálogo de tipos con formas predefinidas y la segunda es mediante el trazo libre o boceto de armadura.

Una vez elegido la opción que más convenga, se selecciona o dibuja la barra de acero de refuerzo para después ser insertada en el elemento, acorde a su posición y tamaño (figura V.31)

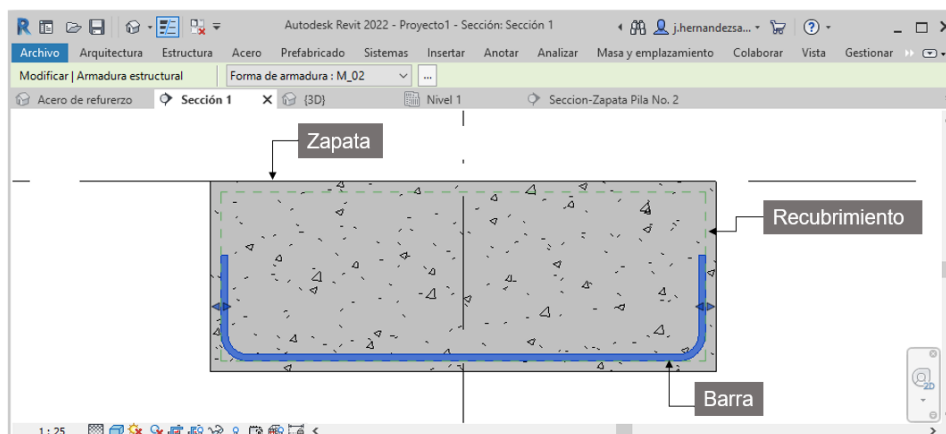


Figura V.31. Inserción de barras de refuerzo. Fuente: Elaboración propia

Existe una serie de herramientas para modificar la armadura, las cuales consisten en la definición del número de barras, espaciamiento y edición de la forma. En la figura V.32, se muestra un isométrico el arreglo del refuerzo en la zapata.

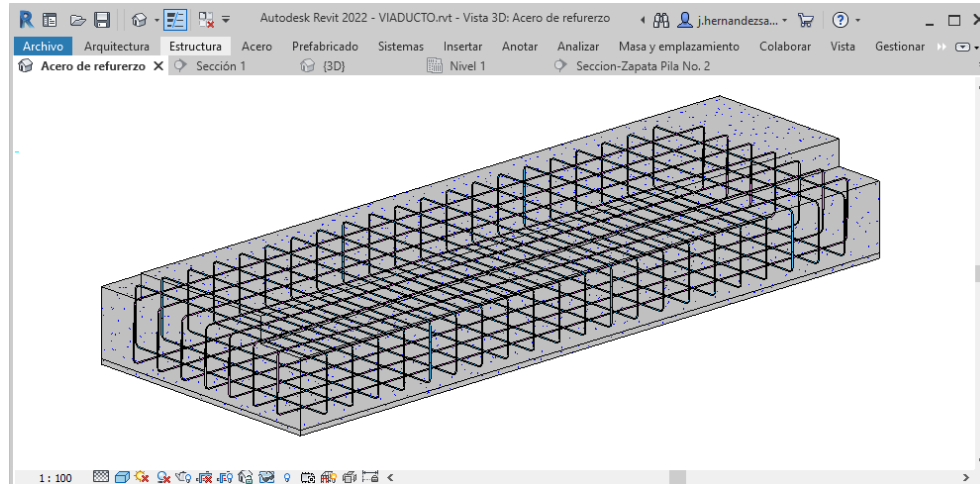


Figura V.32. Configuración de barras de refuerzo en zapata. Fuente: Elaboración propia

El proceso de modelamiento de las barras de acero será el mismo para las columnas y muros, como se muestra en la figura V.33.

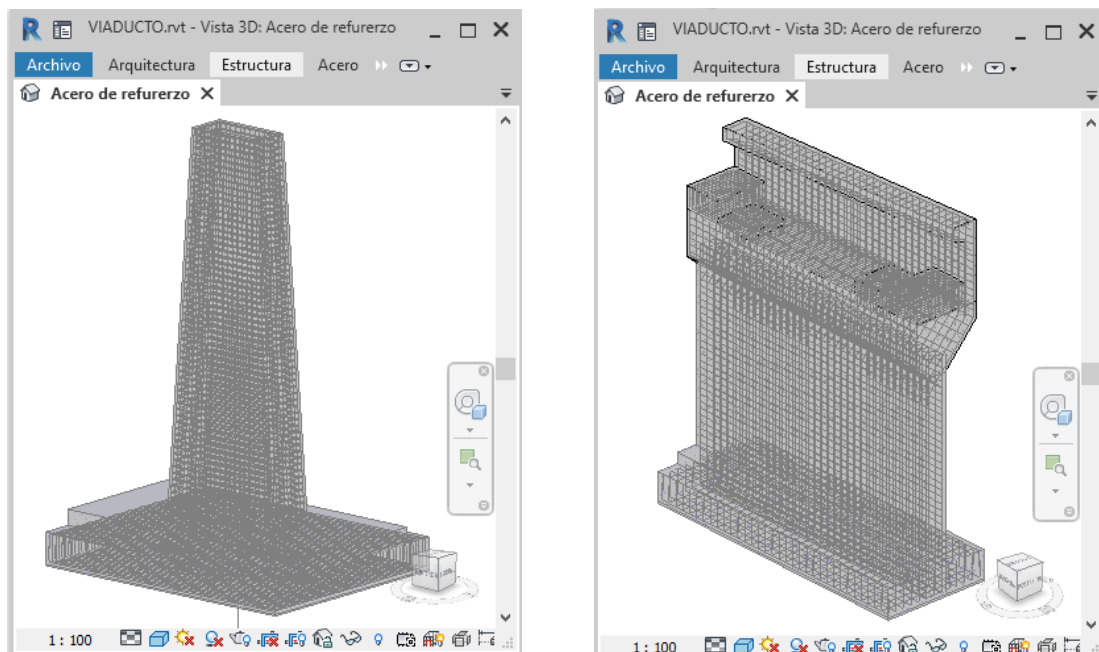


Figura V.33. Modelado de barras de acero en Columnas y Muros. Fuente: Elaboración propia

La forma de las barras de acero en cabezales se realiza mediante boceto de armadura, siguiendo la forma del elemento, Revit tiene la función de adecuar un conjunto de armaduras en donde exista variación de altura o cambio de forma, como se muestra en la figura V.34.

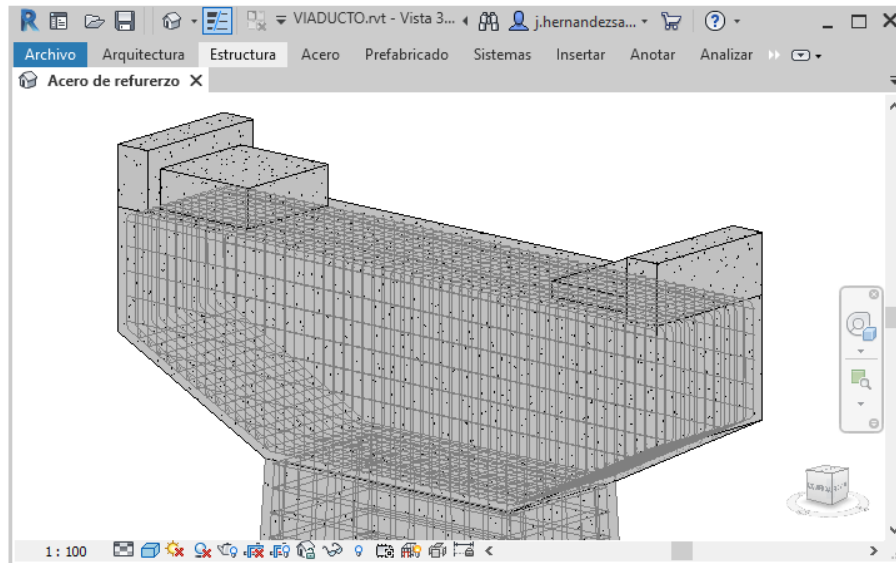


Figura V.34. Modelado de barras de acero en Cabezales. Fuente: Elaboración propia

Por último, se crean las barras de acero en las losas, debido su complejidad en función de su tamaño y forma, la creación de la armadura es a través de la inserción de forma libre, que se ajusta a la forma curva (figura V.35).

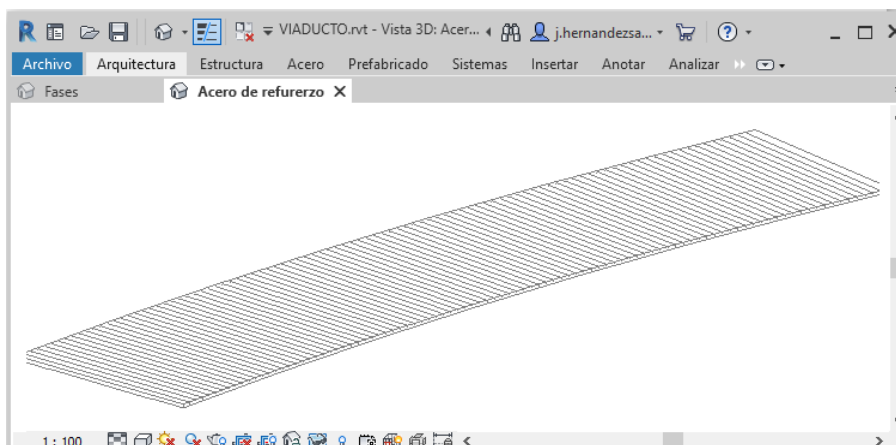


Figura V.35. Modelado de barras de acero en Losa. Fuente: Elaboración propia

5.3 Modelado BIM 5D

La capacidad que tienen actualmente los softwares basados en procesos BIM para la generación de presupuestos, está en función de las necesidades del proyecto y la experiencia del especialista. La metodología propuesta en esta investigación plantea la vinculación de información generada en tablas de cuantificación en Revit con hojas de cálculo generadas en Microsoft Excel, siendo este método el de mayor recomendación por varios autores.

5.3.1 Tablas de cuantificación

Una de las ventajas más relevantes que tiene el uso del modelado BIM, es la versatilidad y rapidez con la que cuantifica las cantidades de obra de un proyecto. Por ello es importante que durante el modelado del elemento, se le asigne una categoría o tipo, un material y una marca de identificación, con el objeto de generar eficientemente la información requerida (figura V.36).

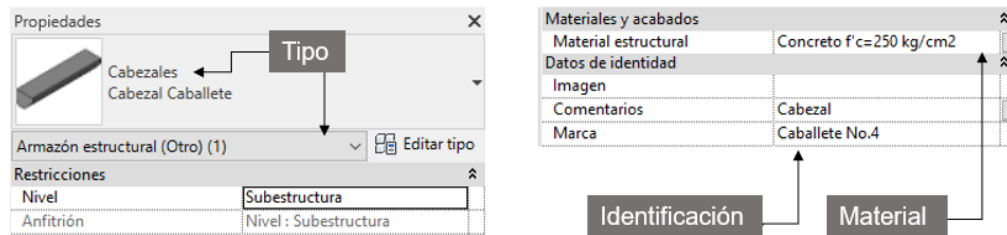


Figura V.36. Asignación de propiedades para cuantificación. Fuente: Elaboración propia

Ya que se verificó que todos los elementos involucrados han sido identificados de acuerdo con su categoría, en el apartado de Tablas de planificación, se generan los conceptos involucrados en el proyecto, con los campos que se consideren necesarios mostrar en las tablas, como pueden ser tipo, marca, longitud, ancho, volumen, peso, área, etc.

En la figura V.37 se muestra el proceso para la generación de tablas de cuantificación y la selección de campos de los conceptos deseados.

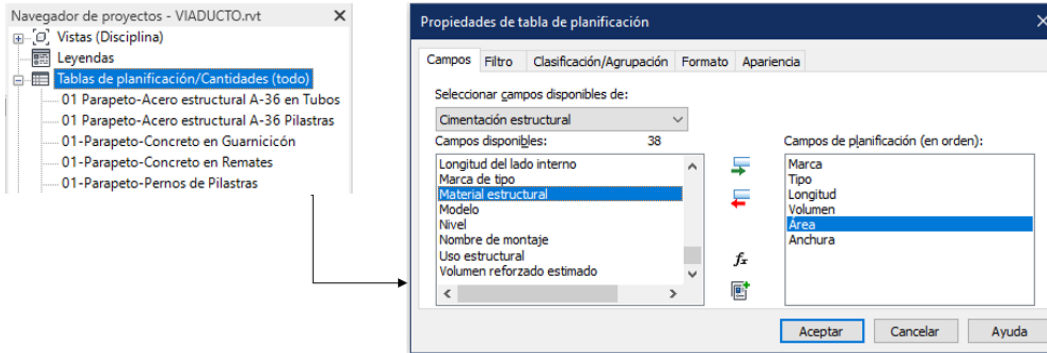


Figura V.37. Selección de campos en tablas de cuantificación. Fuente: Elaboración propia

En la figura V.38 y V.39 se muestran algunas de las tablas de cuantificación, generadas a partir del modelo del puente vehicular.

<03 Sub-Estructura Plantilla de concreto>						
A	B	C	D	E	F	G
Marca	Descripción	Material estructural	Ancho	Longitud	Cantidad	Área
Caballete No. 1	Plantilla de concreto de 10 cm de espesor	Concreto f _c =100 kg/cm ²	5.00	13.40	1	67.00
Caballete No. 4	Plantilla de concreto de 10 cm de espesor	Concreto f _c =100 kg/cm ²	5.00	13.40	1	67.00
Pila No. 2	Plantilla de concreto de 10 cm de espesor	Concreto f _c =100 kg/cm ²	18.00	14.00	1	252.00
Pila No. 3	Plantilla de concreto de 10 cm de espesor	Concreto f _c =100 kg/cm ²	18.00	14.00	1	252.00

Figura V.38. Tabla de cuantificación de plantilla. Fuente: Elaboración propia

<03 Sub-Estructura Concreto en Cimentación>				
A	B	C	D	E
Marca	Comentarios	Material estructural	Cantidad	Volumen
Caballete No. 1	Zapata principal	Concreto f _c =250 kg/cm ²	1	87.10
Caballete No. 1	Pedestal	Concreto f _c =250 kg/cm ²	1	20.10
Caballete No. 4	Zapata principal	Concreto f _c =250 kg/cm ²	1	87.10
Caballete No. 4	Pedestal	Concreto f _c =250 kg/cm ²	1	20.10
Pila No. 2	Pedestal	Concreto f _c =250 kg/cm ²	1	180.00
Pila No. 2	Zapata principal	Concreto f _c =250 kg/cm ²	1	504.00
Pila No. 3	Pedestal	Concreto f _c =250 kg/cm ²	1	180.00
Pila No. 3	Zapata principal	Concreto f _c =250 kg/cm ²	1	504.00

Figura V.39. Tabla de cuantificación de concreto. Fuente: Elaboración propia

Entre otra de las ventajas que posee esta herramienta, es la vinculación que tiene con los objetos del modelo, ya que, al modificar las propiedades de tal objeto, automáticamente se actualizan las cantidades en la tabla, además de tener una serie de parámetros que permiten editar y mostrar la información como mejor se adapte al proyecto.

Cabe destacar que, en materiales como el concreto, su cuantificación no requiere de mucho esfuerzo para su generación, en comparación con materiales de acero de refuerzo o acero estructural.

Como ya se mencionó, Revit cuantifica cualquier elemento siempre y cuando esté plenamente identificado, así, es posible generar todos los elementos de acero sin importar su cantidad, su representación estará en función de la destreza del proyectista para que su interpretación sea lo más fluida posible.

Para concluir, en las figuras V.40 y V.41 se tablas de cantidades de acero de refuerzo y acero estructural con el objeto de visualizar la capacidad del software.

<02 Superestructura-Acero estructural A-36 en Diagonales>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Perfil	Marca	Tipo	Longitud	Material estructural	Cantidad	Peso kg/m	Peso Total
W-Ala ancha	Diag-W150	Diagonal W150X24	3.98	Acero ASTM A992 Gr-36	1	32.10	127.76
W-Ala ancha	Diag-W150	Diagonal W150X24	3.78	Acero ASTM A992 Gr-36	1	32.10	121.37
W-Ala ancha	Diag-W150	Diagonal W150X24	3.98	Acero ASTM A992 Gr-36	1	32.10	127.73
W-Ala ancha	Diag-W150	Diagonal W150X24	3.78	Acero ASTM A992 Gr-36	1	32.10	121.37
W-Ala ancha	Diag-W150	Diagonal W150X24	3.98	Acero ASTM A992 Gr-36	1	32.10	127.73
W-Ala ancha	Diag-W150	Diagonal W150X24	3.78	Acero ASTM A992 Gr-36	1	32.10	121.37
W-Ala ancha	Diag-W150	Diagonal W150X24	3.89	Acero ASTM A992 Gr-36	1	32.10	124.71

Figura V.40. Tabla de cuantificación de concreto. Fuente: Elaboración propia

<03 Sub-Estructura Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2 en cimentación>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Elemento	Localización	Tipo	Diámetr	Diám. (mm)	Longitud (m)	Cantidad	Peso (kg/m)	Peso total (kg)
Caballete No. 1	Zapata	Vars. A	6C	19	14.60	13	2.25	427.11
Caballete No. 1	Zapata	Vars. A1	6C	19	14.56	13	2.25	425.94
Caballete No. 1	Zapata	Vars. B	6C	19	6.20	32	2.25	446.55
Caballete No. 1	Zapata	Vars. B1	6C	19	6.20	32	2.25	446.55
								1746.15
Caballete No. 4	Zapata	Vars. A	6C	19	14.60	11	2.25	361.40
Caballete No. 4	Zapata	Vars. A1	6C	19	14.60	11	2.25	361.40
Caballete No. 4	Zapata	Vars. B1	6C	19	6.20	32	2.25	446.55
Caballete No. 4	Zapata	Vars. B	6C	19	6.20	32	2.25	446.55
								1615.91
Pila No. 2	Zapata	Vars. A	10C	32	19.63	47	8.93	8238.20
Pila No. 2	Zapata	Vars. A1	10C	32	19.56	47	8.93	8209.86
Pila No. 2	Zapata	Vars. B	10C	32	15.63	29	8.93	4047.27
Pila No. 2	Zapata	Vars. B1	10C	32	15.63	29	8.93	4047.27
								24542.60
Pila No. 3	Zapata	Vars. A	10C	32	19.63	24	8.93	4208.11
Pila No. 3	Zapata	Vars. A1	10C	32	19.58	24	8.93	4195.64
Pila No. 3	Zapata	Vars. B	10C	32	15.63	29	8.93	4047.03
Pila No. 3	Zapata	Vars. B1	10C	32	15.63	29	8.93	4047.03
								16497.81

Figura V.41. Tabla de cuantificación de concreto. Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Presupuesto

Después de generar las tablas con las cantidades deseadas, la obtención del presupuesto se realiza mediante la exportación de cada una de las tablas de cuantificación a hojas de cálculo de Excel (figura V.42).

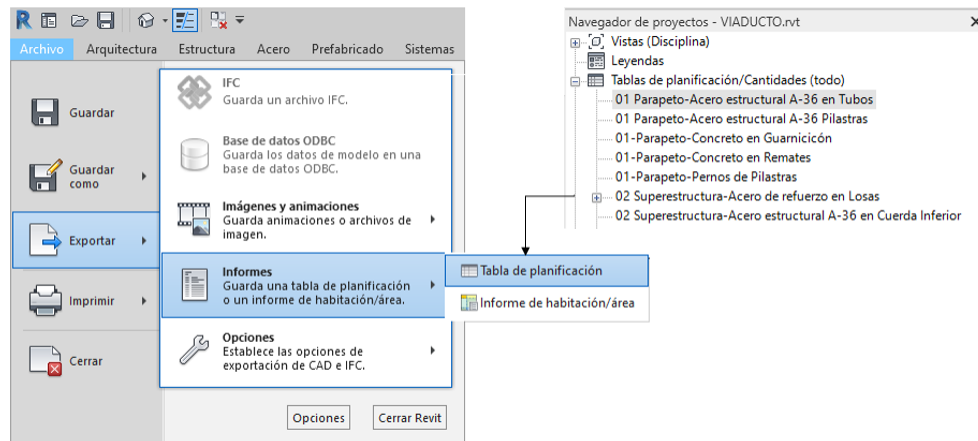


Figura V.42. Exportación de las tablas de planificación. Fuente: Elaboración propia

En Excel se importan los archivos generados previamente y se van ordenando según en la categoría que corresponda (figura V.43).



	Column1	Column2	Column3	Column4	Column5
1	Column1	Column2	Column3	Column4	Column5
2	01-Parapeto-Concreto en Guarnición				
3	Marca	Comentarios	Material	Cantidad	Volumen
4					
5	Parapeto	Guarnición Tramo 1, lado derecho	Concreto f'c=250 kg/cm2	1	7.64
6	Parapeto	Guarnición Tramo 1, lado izquierdo	Concreto f'c=250 kg/cm2	1	8.18
7	Parapeto	Guarnición Tramo 2, lado derecho	Concreto f'c=250 kg/cm2	1	10.02
8	Parapeto	Guarnición Tramo 2, lado izquierdo	Concreto f'c=250 kg/cm2	1	9.36
9	Parapeto	Guarnición Tramo 3, lado derecho	Concreto f'c=250 kg/cm2	1	9.49
10	Parapeto	Guarnición Tramo 3, lado izquierdo	Concreto f'c=250 kg/cm2	1	10.15
11					54.84
39					

Figura V.43. Importación de las tablas de planificación de Revit. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, las cantidades totales de cada partida se vinculan a un catálogo de conceptos, donde se le asigna un costo unitario, como se muestra en la figura V.44.

CLAVE	CONCEPTOS DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE
1.1	Parapeto				\$ 975,524.92
PRE-001	CTR CONSTRUCCIÓN CAR. Carreteras (N.CTR.CAR-1.02.008) 1.02 Estructuras .008 Estructuras de acero P.U.O.T. Designación 2.2) Tubo de acero galvanizado de 11.4cm de diámetro cedula 40	kg	4220.61	\$ 42.25	\$ 178,320.77
PRE-002	CTR CONSTRUCCIÓN CAR. Carreteras (N.CTR.CAR-1.02.005) 1.02 Estructuras .005 Acero Estructural y Elementos Metálicos P.U.O.T. Designación 5.1) Placas de acero A-36 en pilastras.	kg	6453.91	\$ 52.26	\$ 337,281.34

Figura V.44. Generación de Presupuesto. Fuente: Elaboración propia

Así es como se generó el presupuesto para el proyecto del puente vehicular, de cierta manera resulta un proceso sencillo, sin embargo, la ardua tarea radica en el registro de cada uno de los elementos, siendo esta, la base para generar adecuadamente la cuantificación de materiales.

No debe olvidarse de que los archivos están vinculados al modelo principal en Revit, en alguna situación en donde se presenten cambios, automáticamente se actualizan las tablas en Excel y, por ende, el presupuesto.

5.3 Modelado BIM 4D

La programación de obra es factible con ayuda de un modelo BIM, aunque Revit puede crear fases de proyecto como si se tratase de un procedimiento constructivo virtual, el método que más se adapta al proyecto del puente vehicular, es mediante el uso Navisworks Autodesk en combinación con Microsoft Project, permitiendo un rápido intercambio de datos entre un software y otro.

5.3.1 Programación de obra

Se inicia con la exportación e importación de archivos del modelo generado en Revit al programa Navisworks, ya que ambos son de la familia Autodesk, la compatibilidad de archivos resulta ser amigable para el usuario (figura V.45).



Figura V.45. Importación de archivos en Navisworks. Fuente: Elaboración propia

Si llega a surgir alguna modificación en Revit, Navisworks vuelve a cargar los modelos, siendo una herramienta muy útil en la planeación de la obra y, posteriormente, al momento de llevar un control durante su construcción. En la figura V.46 se muestra el modelo del puente vehicular importado en Navisworks.

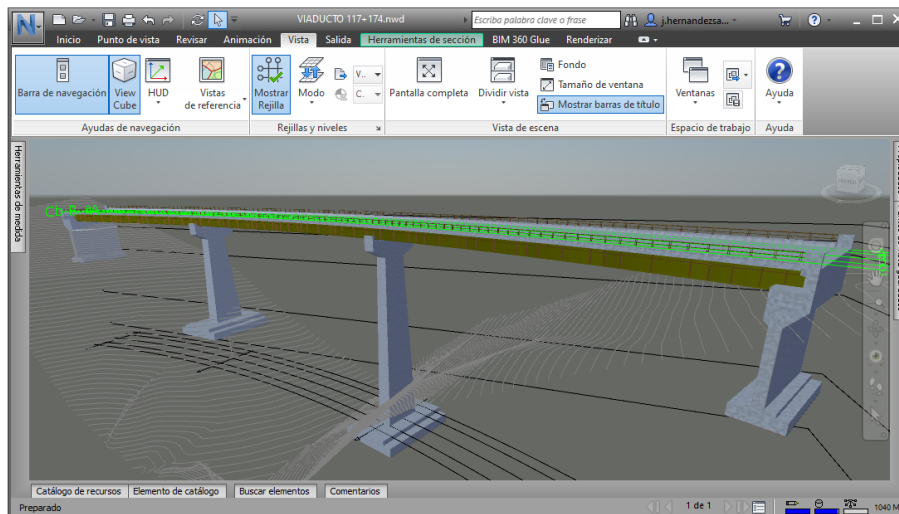


Figura V.46. Importación de archivos en Navisworks. Fuente: Elaboración propia

Después, se agrupan los elementos en partidas y tareas de acuerdo a su procedimiento constructivo (figura V.47). Esta es una parte esencial para una programación coherente y bien planeada, que dependerá en gran medida, de la experiencia del especialista.

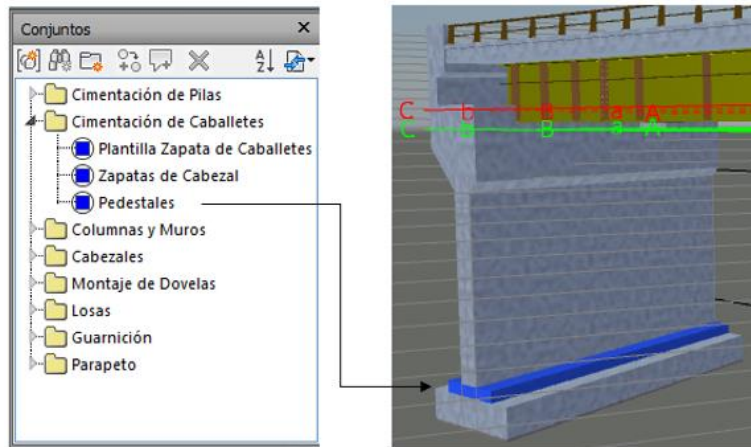


Figura V.47. Agrupación de elementos en partidas. Fuente: Elaboración propia

Navisworks agiliza la asignación de las tareas, ahorrando procesos y tiempo de creación, además de que los elementos del modelo quedan vinculados.

Los grupos de partidas y tareas se añaden de forma rápida al cuadro de “Línea de tiempo” (Timeliner en Navisworks), donde a cada tarea se le asigna una fecha de inicio y una fecha de término, similar a un diagrama de Gantt (figura V.48).

TimeLiner						
Tareas		Orígenes de datos	Configurar	Simular		
Activo	Nombre	Estado	Inicio planeado	Fin planeado	Tipo de tarea	
<input checked="" type="checkbox"/>	Cimentación de Pilas		02/05/2022	09/05/2022	Construcción	
<input checked="" type="checkbox"/>	Plantilla Zapata de Pilas		02/05/2022	02/05/2022	Construcción	
<input checked="" type="checkbox"/>	Zapatas de Pila		03/05/2022	05/05/2022	Construcción	
<input checked="" type="checkbox"/>	Pedestales de Pila		06/05/2022	09/05/2022	Construcción	
<input checked="" type="checkbox"/>	Columnas y Muros		18/05/2022	26/05/2022	Construcción	
<input checked="" type="checkbox"/>	Columna-Pila No.2		18/05/2022	18/05/2022	Construcción	
<input checked="" type="checkbox"/>	Columna-Pila No.3		19/05/2022	20/05/2022	Construcción	

Figura V.48. Enlace de tareas a la línea de tiempo. Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que la definición de tiempo para las tareas puede asignarse en Navisworks, sin embargo, el método más eficiente es exportando los datos a Microsoft Project, ya que la interfaz resulta más práctica para la programación de las tareas (figura V.49).

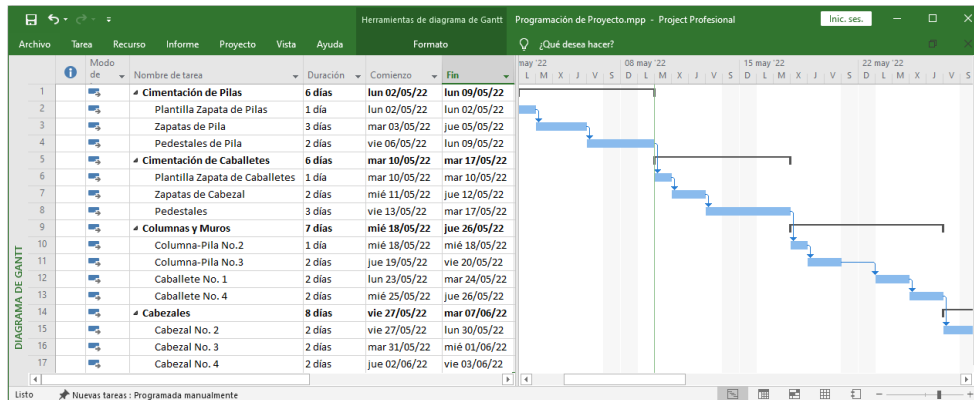


Figura V.49. Importación de tareas de Timeliner en Microsoft Project.

Fuente: Elaboración propia

Completado el diagrama de Gantt con la asignación de tiempo y secuencia de cada actividad, se guarda como archivo de Microsoft Project. Posteriormente el archivo se importa desde Navisworks como “Origen de datos”, lo cual es muy útil para vincular ambos archivos y pueda actualizarse en caso de existir modificaciones o diferentes programaciones de obra (figura V.50).

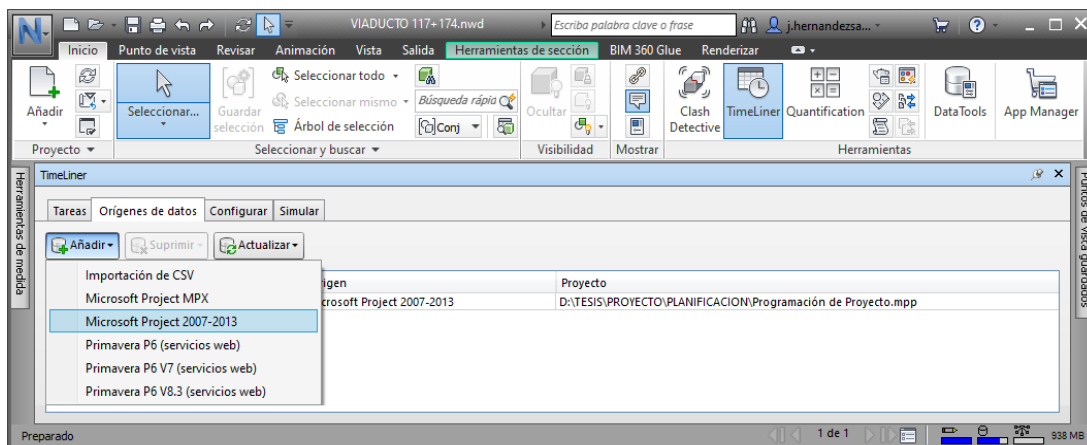


Figura V.50. Importación del diagrama de Gantt en Navisworks. Fuente: Elaboración propia

Las tareas que inicialmente se enlazaron en la línea de tiempo son sustituidas por las tareas programas en Project, y ya que el nombre de la tarea no cambio, en automático queda vinculado al modelo 3D (figura V.51).

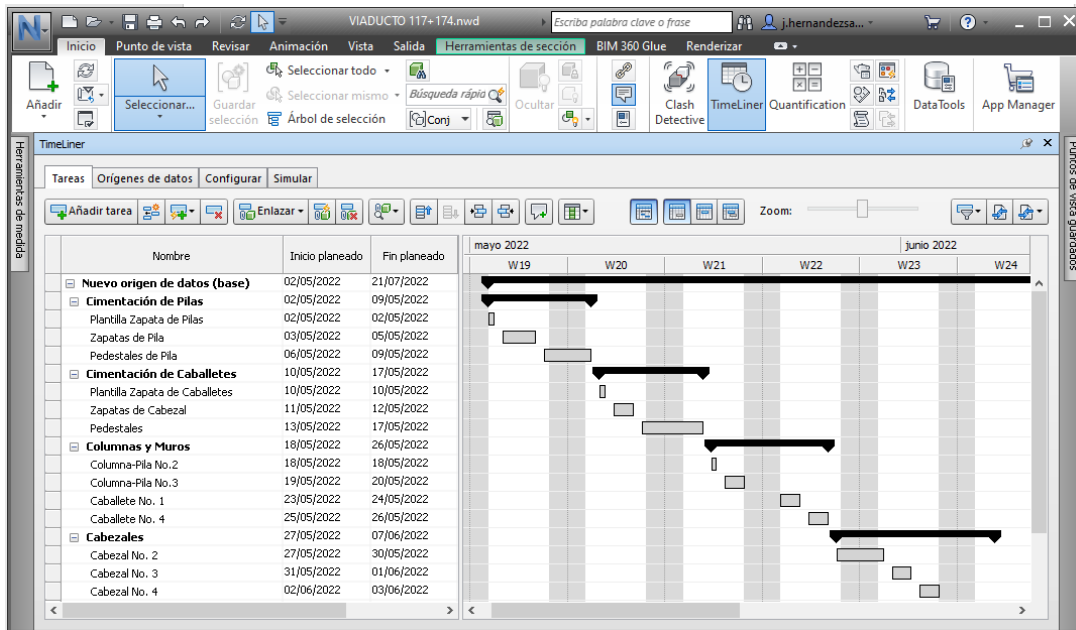


Figura V.51. Sustitución de tareas en la línea de tiempo. Fuente: Elaboración propia

El único ajuste que debe hacerse después, es la vinculación (enlace en Navisworks) entre las actividades para respetar la secuencia hecha en Project (figura V.52).

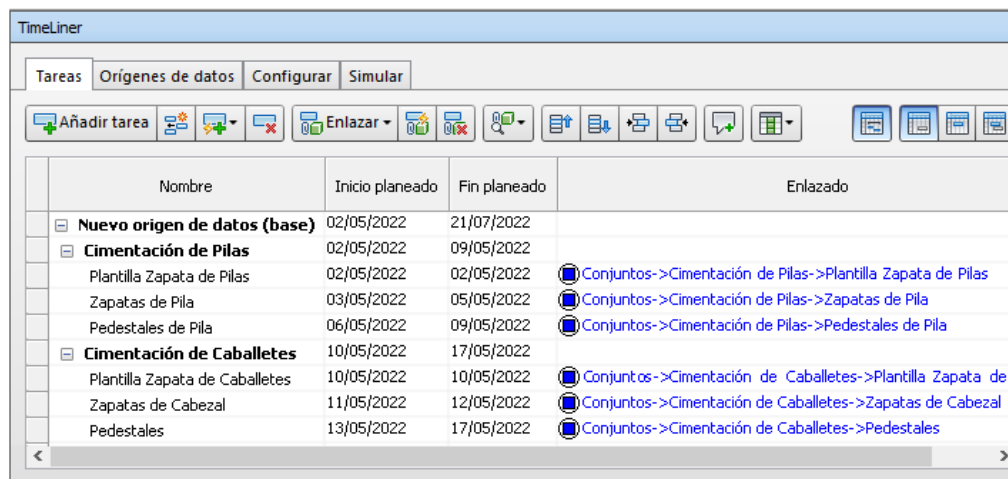


Figura V.52. Enlace de tareas en la línea de tiempo. Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se procede a realizar la simulación como si se tratase de una construcción virtual. Esto le permite ver los efectos de la programación en el modelo (figura V.53 y V.54).

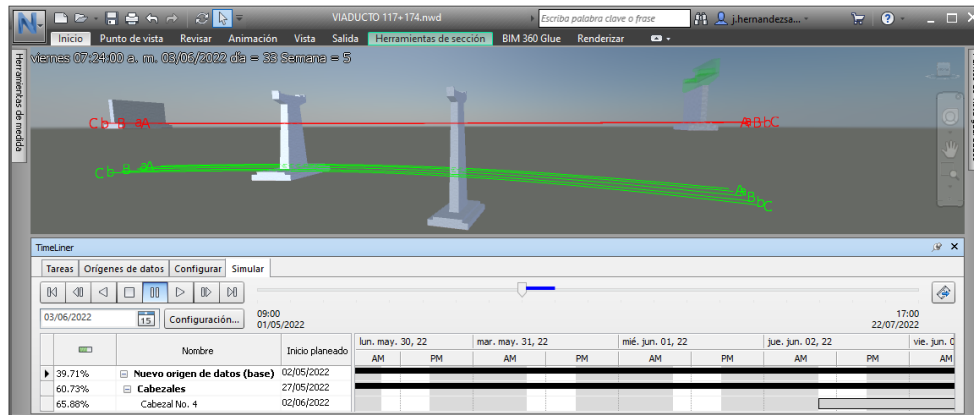


Figura V.53. Simulación de la programación de obra. Fuente: Elaboración propia

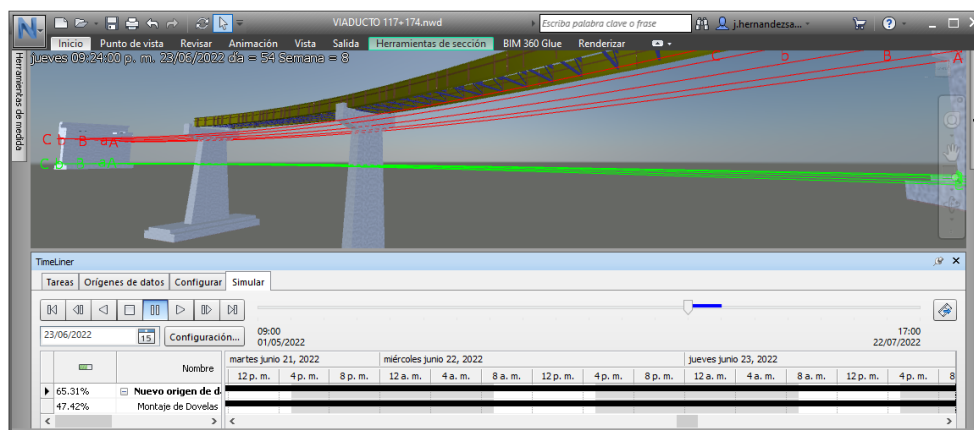


Figura V.54. Simulación de la programación de obra. Fuente: Elaboración propia

5.4 Modelado BIM 2D

La documentación técnica es, quizá, a consideración del autor, la culminación de la metodología BIM propuesta, en esta etapa se genera la mayor cantidad de información tangible, la cual es indispensable para llevar a cabo la construcción de la obra proyectada de forma más eficiente. Puede decirse que es la integración de todos los procesos realizados con anterioridad, transformados en entregables.

Las disposiciones iniciales consisten en la organización de toda la información que se generó en el modelo principal (plantas, elevaciones, cortes e isométricos 3D, etc.). Al tener un orden jerárquico de la información, se facilita la conformación del plano con la información correspondiente (figura V.55)

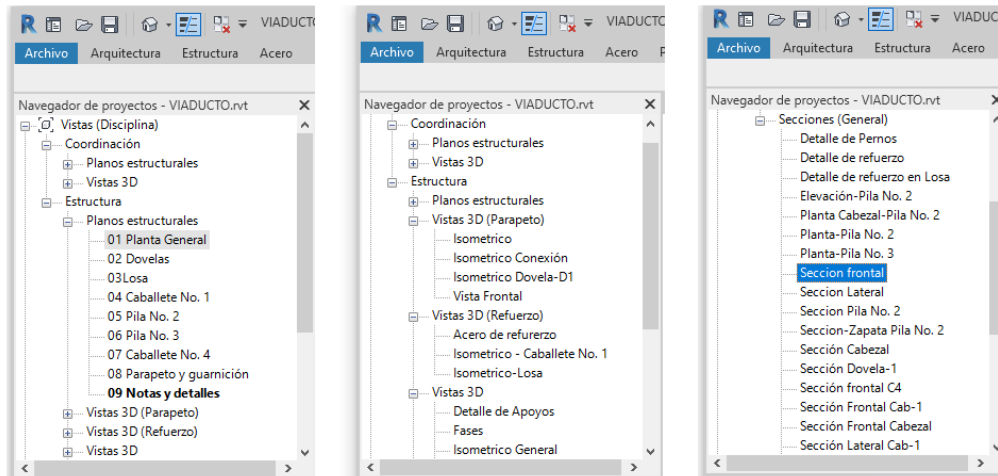


Figura V.55. Organización de la información. Fuente: Elaboración propia

Los dibujos deben acotarse y colocarse etiquetas de texto, para que se representación sea la de un plano ejecutivo. Dependiendo del tipo de dibujo, el tamaño de cotas y texto se ajusta a la escala seleccionada en automático. Revit dispone de un menú con diversas herramientas de anotación, acotamientos y símbolos (figura V.56).

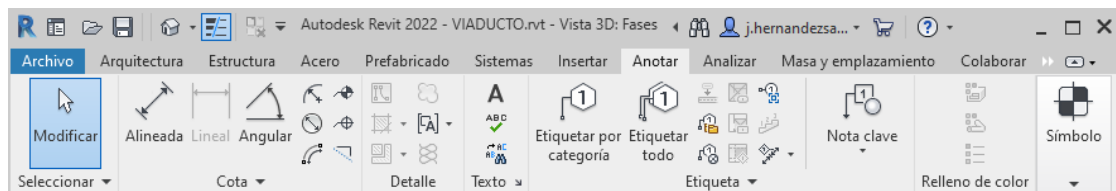


Figura V.56. Panel de anotación en Revit. Fuente: Elaboración propia

En la figura V.57, V.58 y V.59, se muestran ejemplos de plantas, vistas y detalles con etiquetas de texto y anotaciones, correspondiente al proyecto del puente vehicular, cabe mencionar que las anotaciones solo serán visibles en cada vista generada.

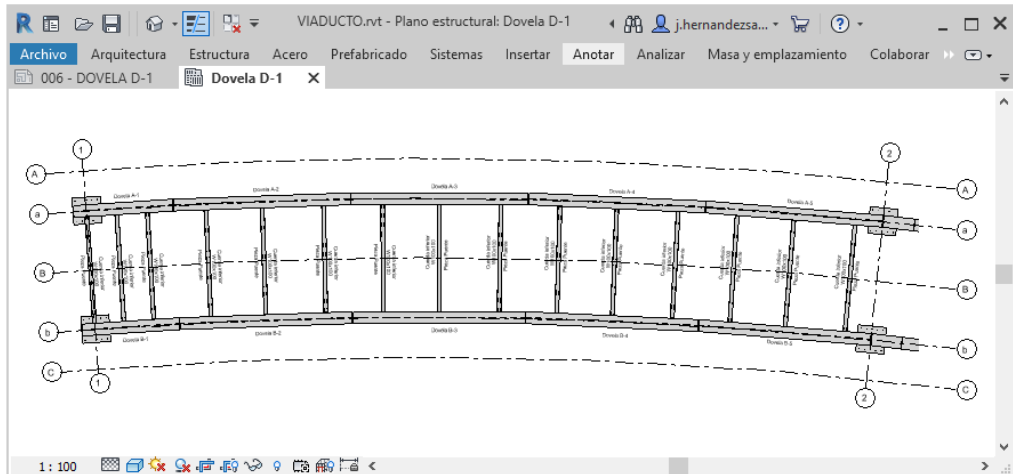


Figura V.57. Planta estructural con anotaciones. Fuente: Elaboración propia

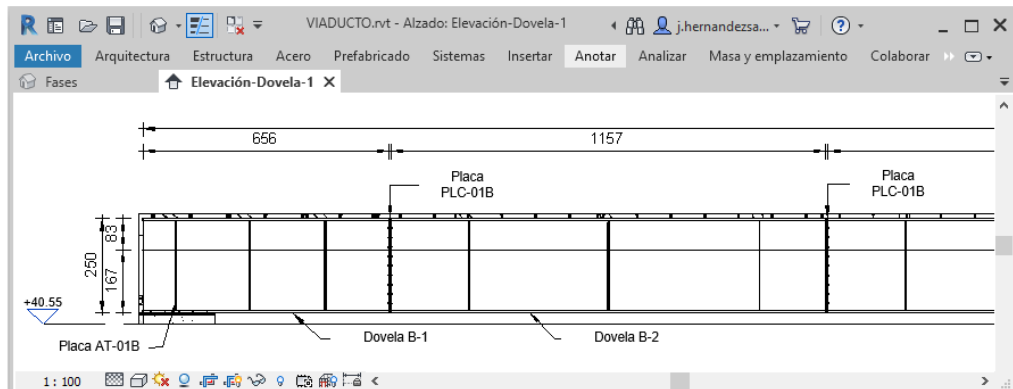


Figura V.58. Elevación estructural con anotaciones. Fuente: Elaboración propia

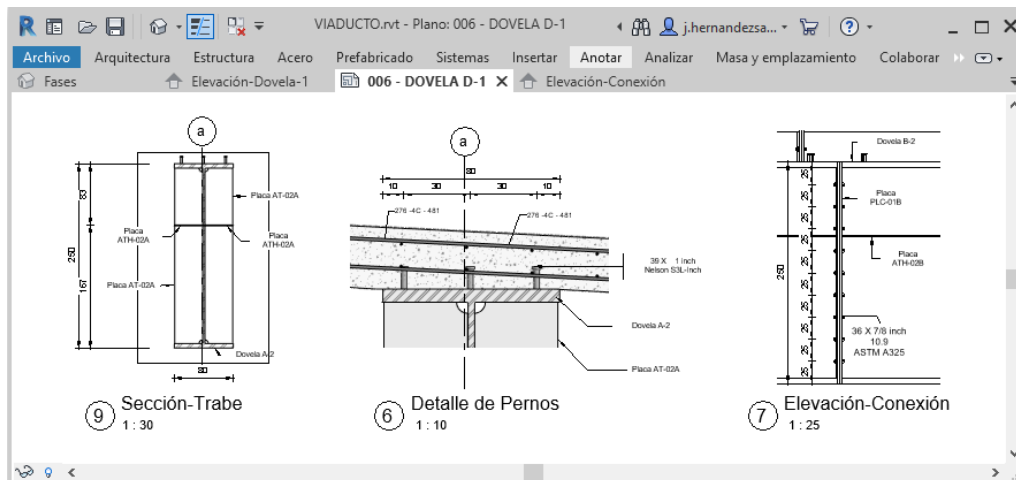


Figura V.59. Detalles estructurales con anotaciones. Fuente: Elaboración propia

El formato de planos en Revit, es una categoría donde puede editarse sus dimensiones y letreros de solapa y, posteriormente cargarlo como una plantilla para todos los demás planos. La normativa de la SCT, indica que el tamaño del plano debe ser de 160 cm de largo por 60 cm de ancho (figura V.60).

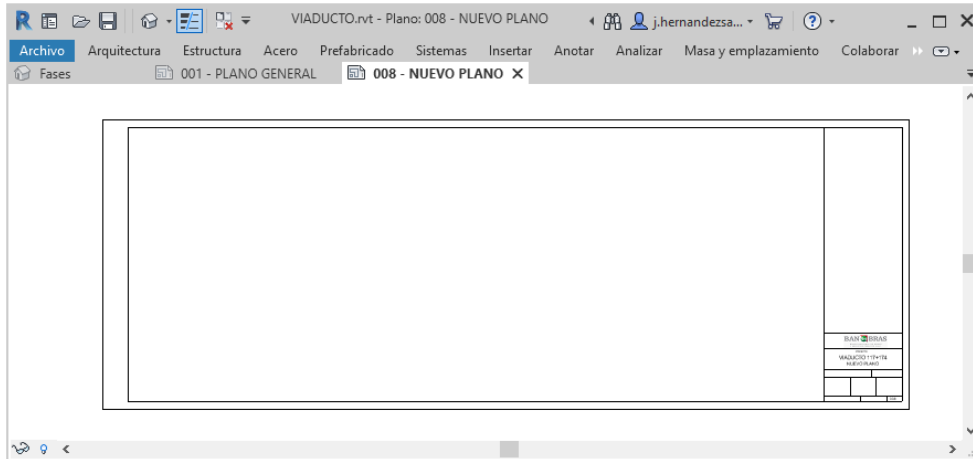


Figura V.60. Formato para planos estructurales según SCT. Fuente: Elaboración propia.

Después, ya con las vistas acotadas y etiquetadas, se procede a integrar cada plano mediante la inserción de los dibujos o tablas de cuantificación, acto seguido, se va acomodando de tal forma que su lectura sea de fácil interpretación.

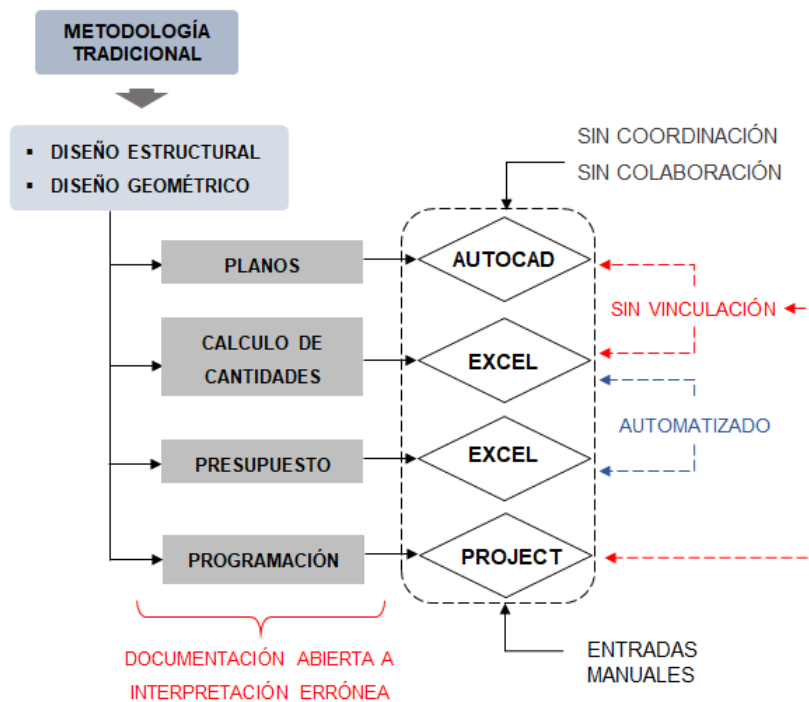
Para efectos de visualización, en los Anexos A1, A2, A3, A4 y A5, se muestran planos terminados del proyecto del puente vehicular a manera de ejemplo y, como resultado final y tangible de la información modelada con la metodología BIM propuesta en este tema de investigación.

Finalmente, los planos son convertidos a un formato PDF o exportados a AutoCAD, para ser impresos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los beneficios del planteamiento de la metodología obtenidos con la aplicación de herramientas y modelos BIM, para la elaboración de proyectos de puentes vehiculares, van encaminados más allá de una mera representación tridimensional, si no que están enfocados a una reestructuración de nuevos mecanismos para la creación de documentación consistente y coordinada de un proyecto.

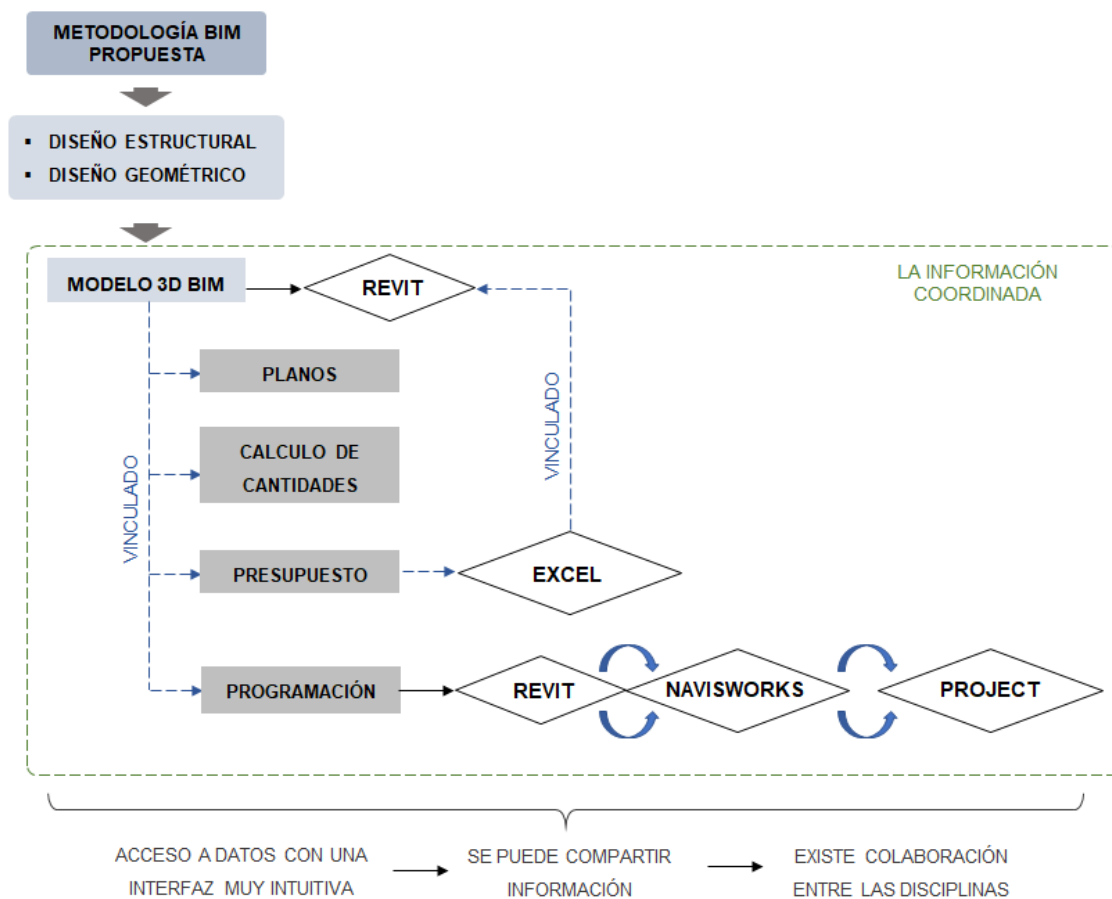
Aunque sin duda se ha superado la barrera de la metodología tradicional, en donde solo se realizan planos en 2D con un solo programa de dibujo asistido por computadora (AutoCAD), además, en lo referente a la generación de cantidades de obra, costos y programación, tiende a realizarse de forma independiente entre sí, como se muestra en el siguiente diagrama:



Al no existir comunicación directa entre las distintas disciplinas, se pierde información durante el diseño, provocando que se tenga que volver a realizar ciertos procesos o generar nueva información en caso de modificaciones al proyecto original, además de muy poca colaboración durante su ejecución.

Con la metodología BIM propuesta en esta tesis, se estableció un flujo de trabajo que permite generar la información sobre un mismo modelo, por consiguiente, puede ser administrada mediante bases de datos dentro del propio modelo.

De ese modo es más fácil coordinar la documentación y tener una gestión de la información más eficiente, lo que implica un ahorro significativo de tiempo y esfuerzo en los procesos mecanizados que inciden en la actualización y/o modificación del proyecto, como se muestra en el siguiente diagrama:



Entre un diagrama y otro, se aprecia el contraste de metodologías, mientras que en la primera se genera información de tal manera que puede interpretarse de forma distinta para los participantes, la segunda tiende a ser más coordinada y coherente debido a que la información está basada en datos, ahorrando de tiempo de trabajo, disminución de errores e incongruencias.

En referencia a los softwares utilizados de Autodesk, quedó demostrado que son herramientas potentes y versátiles, siendo una pieza fundamental para llevar a cabo esta investigación, ya que permite modelar un proyecto a partir de planos importados y elementos parametrizados que contienen información, tal como dimensiones, materiales, costos, cómputos, entre otras más, incluso se demostró que se pueden crear objetos con geometrías complejas y poco convencionales si así lo solicita el proyecto.

Gracias a lo anterior, se realizó cada una de las disciplinas que intervinieron en el proyecto mediante el uso de BIM, explicando el procedimiento para realizar elementos poco convencionales, los cuales forman parte de un puente de acero con trazo horizontal en curva. Lo anterior se sustenta en la bibliografía que existe sobre estas herramientas digitales, pues están enfocadas principalmente a proyectos del sector privado (edificios, viviendas, fabricas, etc.), saliendo a relucir algunas deficiencias, pero que, sin lugar a duda las compañías de softwares resolverán en un corto plazo y configurarán los ajustes necesarios dependiendo del tipo de modelo a realizar.

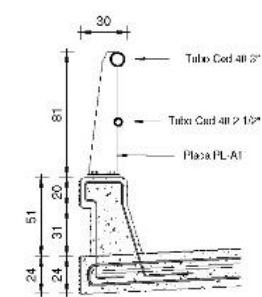
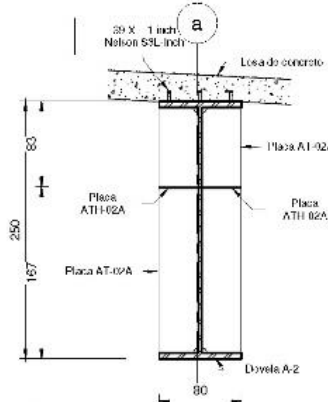
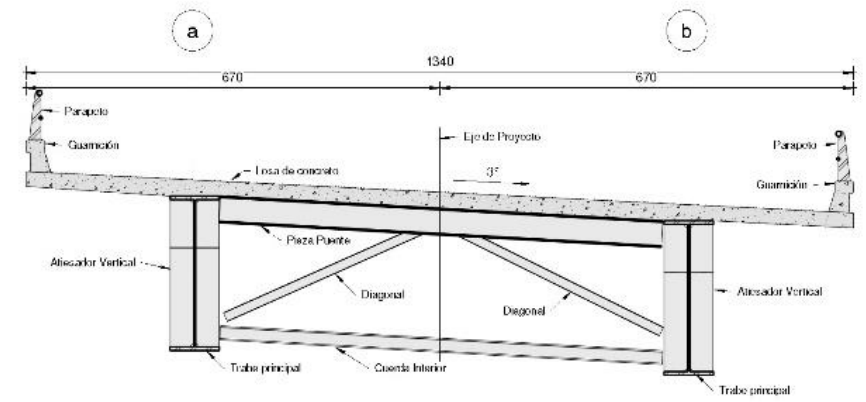
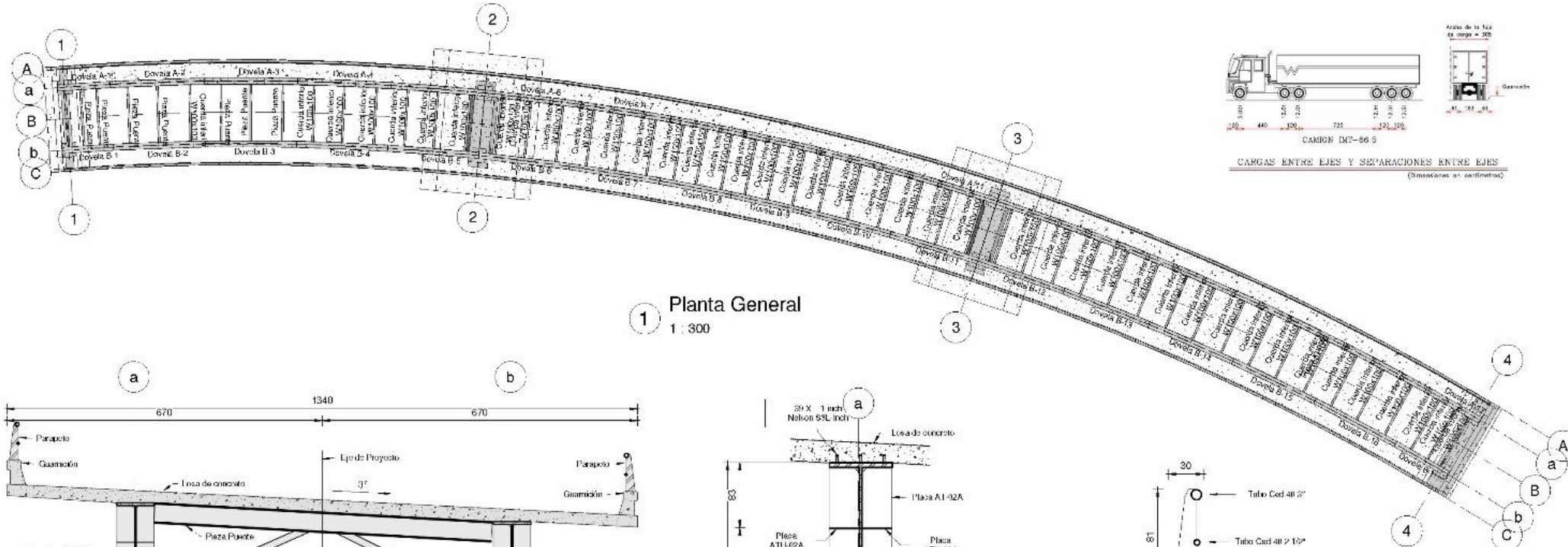
Es de carácter casi obligatorio que los responsables de elaborar los proyectos utilicen estas herramientas, que ayuden a enfrentar dese su área de especialización, dos de los retos que actualmente acontecen en el país: mejorar la productividad en la construcción y garantizar el retorno de la inversión destinados a la infraestructura de transporte.

Finalmente, el aporte más relevante que deja esta tesis de grado, fue el demostrar que el uso metodologías BIM para proyectos de infraestructura es factible, aunque se está implementando de forma gradual y aún falta implementar herramientas específicas para infraestructura de puentes, BIM ya es una realidad, y a consideración del autor, vislumbra el futuro de la industria de construcción en favor de potencializar la eficiencia en el diseño y gestión de proyectos.

Recomendaciones:

- Se tienen que considerar las normas y estándares de referencia a utilizar para un buen plan de ejecución BIM. Se recomienda basarse en la norma mexicana NMX-C-527-1-ONNCEE 2017.
- Crear alianzas entre gobierno e industria privada, para la pronta adopción de la metodología basada en herramientas BIM, motivando el cambio de pensamiento en cuanto a la forma de realizar proyectos.
- Crear planes de colaboración entre instituciones educativas y las compañías dedicadas a la creación software BIM, con el objeto de aminorar los costos de adquisición de licencias para estudiantes.
- Debe entenderse que el uso de softwares BIM no garantiza el éxito del proyecto, por lo tanto, deben visualizarse como herramientas de apoyo de los especialistas para automatizar los procesos y reducir los tiempos de ejecución.
- Fomentar las buenas prácticas del *Project Management Intitute* (PMI) para establecer líneas de comunicación entre los participantes del proyecto para asegurar el éxito del proyecto
- Hacer uso de las extensiones de softwares BIM (plugin) para el modelado de acero de refuerzo y estructural
- Considerar el uso de Infracore Autodesk y Civil 3D para elaborar propuestas conceptuales de futuros proyectos de infraestructura carretera.
- Crear una base datos de objetos 3D estandarizados propios del área de infraestructura, de acuerdo a sus lineamientos y normatividad en México.

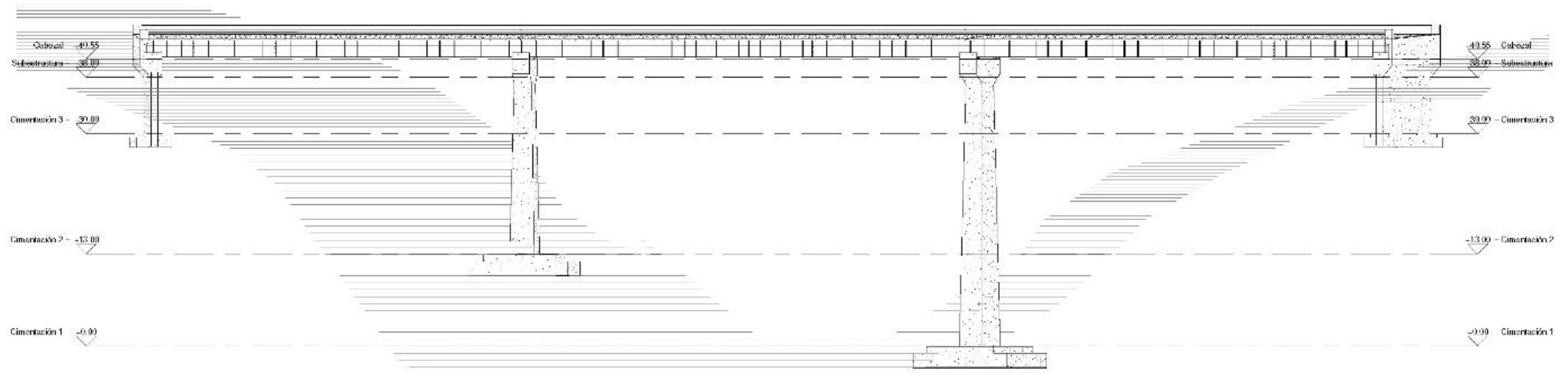
ANEXOS



3 Sección Transversal
1 : 50

4 Sección Transversal-Trabe
1 : 30

5 Parapeto y Guarnición
1 : 20



2 Elevación
1 : 350

NOTAS

Concreto:
Se emplearan los concretos de las siguientes características:
En bases y diafragmas, concreto de $f'c = 250$ kg/cm² con reservamiento en 5 a 8 cm y tamaño máximo del agregado grueso de 1.9 cm con cemento tipo I o II.
En las traveses prefabricados, concreto de $f'c = 350$ kg/cm² con reservamiento de 5 cm y tamaño máximo del agregado grueso de 1.9 cm y cemento tipo I.

Acero de refuerzo:
Los empalmes de las varillas serán hechos traslapándose o con soldadura a tope según se indique en el detalle respectivo. Se procurará tener el mayor número posible de empalmes. Se tendrá especial cuidado en la limpieza de las varillas para evitar que tengan óxido suelto antes de depositar el concreto.

Acero de prefuerzo:
Los miembros de acero para el prefuerzo de las traveses estarán formados por barras, las cuales deberán ser fabricadas a máquina. Por ser requisito del proyecto chegar a acero en el concreto, el acero no deberá estar galvanizado y consecuentemente será necesario que se proteja contra la oxidación a medida que se avance hasta el momento de utilizarlo.
Para este proyecto se requieren los siguientes empujes mínimos en el acero de prefuerzo:
A) Esfuerzo de ruptura: Mínimo diez y nueve mil kilogramos entre centímetro cuadrado (19,000 kg/cm²)
B) Esfuerzo en el límite de fluencia convencional: Resistencia en diez décimos por ciento (0.7%) de deformación permanente. Cero dieciséis mil kilogramos entre centímetro cuadrado (16,000 kg/cm²)

Acero de refuerzo de baja relajación con 5.5% de elongamiento máximo: después de 1000 horas de ser aplicada una carga correspondiente al 80% de su límite de ruptura, deberá estar no menor de 150 kg/cm².

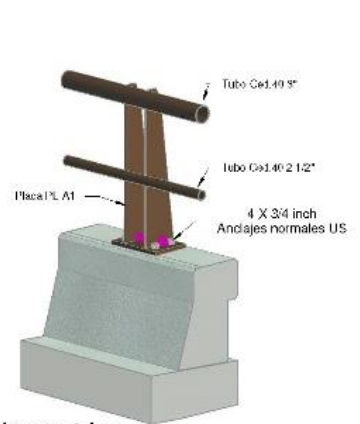
Apoyos de neopreno:
Los apoyos de neopreno se han diseñado para que su tracción o a compresión sea de 100 kg/cm², admitiendo una deformación máxima del 15%. El neopreno que se utilice deberá ser aceptado por la SCT. Las placas de neopreno se fabricarán en moldes de las dimensiones especificadas por ningún motivo se podrán de otras más grandes porque se desahorrarán con el tiempo.
El neopreno deberá cumplir con la especificación AS 9-0-2240 y tener dureza shore 60.

Nº	Descripción	Revisó	Fecha

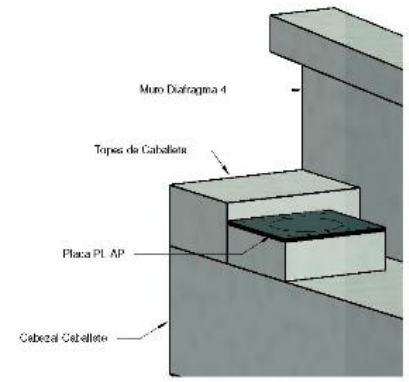
ANEXO A-1

VIADUCTO
VIADUCTO 117+174
PLANO GENERAL

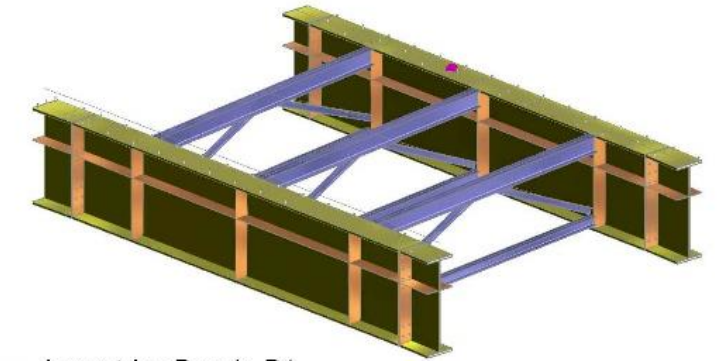
Carretera: Barranca Larga-Puerto Escondido Km: 11+174.00
Tramo: Barranca Larga-Ventanilla Origen: E.C. Barranca Larga



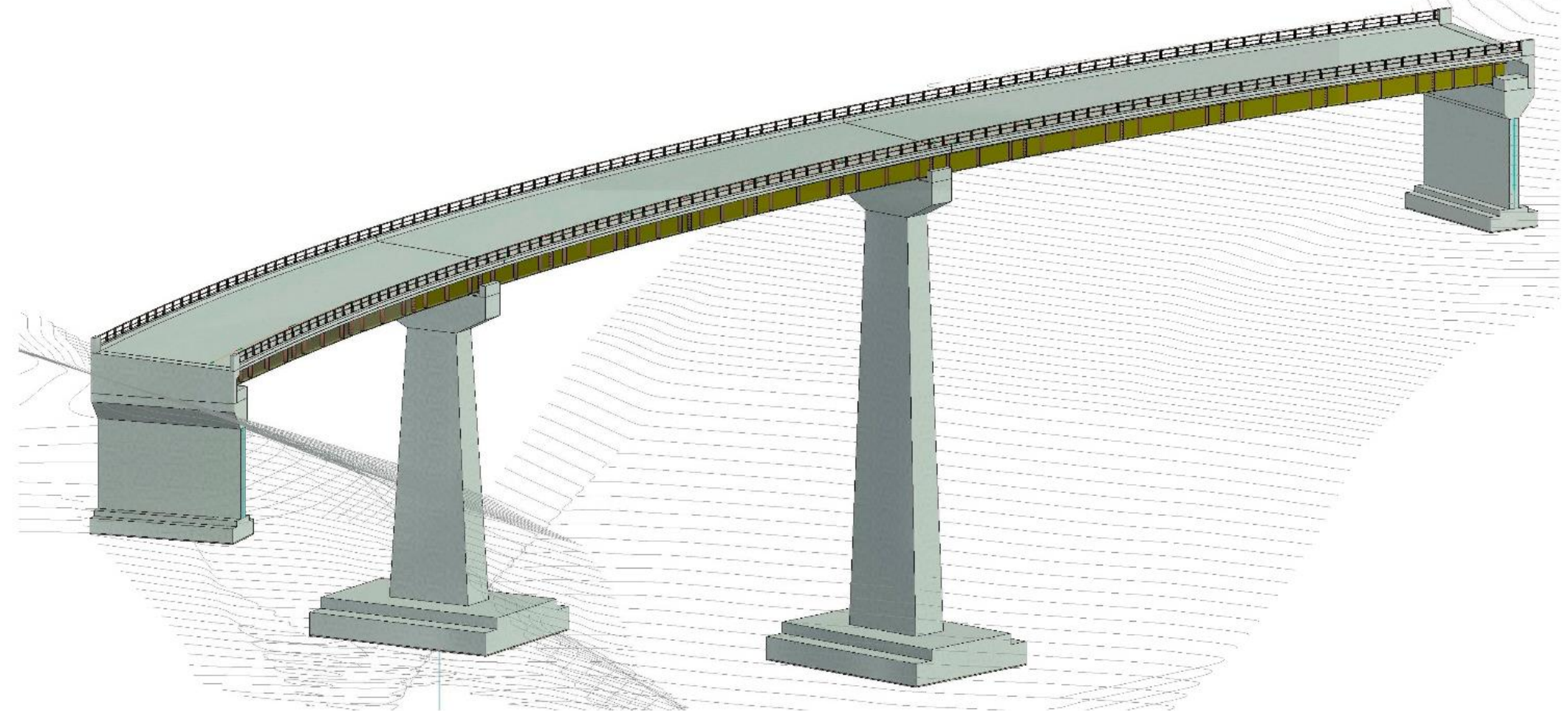
2 Isometrico



4 Detalle de Apoyos



3 Isometrico Dovela-D1



1 Isometrico General

03 Sub-Estructura Concreto en cabezales, bancos y topes					
Marca	Comentarios	Materia estructural	Cantidad	Volumen	
Caballete No.1	Cabezal	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	85.38	
Caballete No.1	Topo sismico Izquierdo	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	4.50	
Caballete No.1	Topo sismico Derecho	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	4.50	
Caballete No.1	Banco de Apoyo 1a	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	2.22	
Caballete No.1	Banco de Apoyo 1b	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	0.86	
Caballete No.1	Muro Diafragma	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	31.84	
				129.28	
Caballete No.4	Cabezal	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	85.38	
Caballete No.4	Topo sismico Izquierdo	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	4.50	
Caballete No.4	Topo sismico Derecho	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	4.50	
Caballete No.4	Banco de Apoyo 2a	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	2.22	
Caballete No.4	Banco de Apoyo 2b	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	0.86	
Caballete No.4	Muro Diafragma	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	31.84	
				129.28	
Pila No. 2	Cabezal	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	85.00	
Pila No. 2	Topo sismico Derecho	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	1.50	
Pila No. 2	Banco de Apoyo 2a	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	2.22	
Pila No. 2	Banco de Apoyo 2b	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	0.86	
				91.08	
Pila No. 3	Cabezal	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	85.00	
Pila No. 3	Topo sismico Derecho	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	1.50	
Pila No. 3	Topo sismico Izquierdo	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	1.50	
Pila No. 3	Banco de Apoyo 3a	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	2.22	
Pila No. 3	Banco de Apoyo 3b	Concreto f'c=250 kg/cm ²	1	0.86	
				91.08	

NOTAS

Concreto:
Se emplearan los concretos de las siguientes características:
En losas y diafragmas, concreto de f'c = 250 kg/cm² con revenimiento de 5 a 8 cm y tanto máximo del agregado grueso de 1.3 cm con cemento f'c=1.5. En las vigas prefabricadas, concreto de f'c= 350 kg/cm² con revenimiento de 5 cm y tamaño máximo del agregado grueso de 1.3 cm y cemento f'c=1.

Acero de refuerzo:
Los empalmes de los varillas podrán hacerse trasapicoles o con soldadura o tope según se indica en el cuadro respectivo. Se procurara tener el menor número posible de empalmes. Se tendrá especial cuidado en la limpieza de las varillas para evitar que tengan nada suelto antes de depositar el concreto.

Acero de prefuerzo:
Los elementos de acero para el prefuerzo de las trabes estarán formados por corones, los cuales deberán ser fabricados a máquina. Por ser requisito del proyecto abogar el acero en el concreto, el acero no deberá estar galvanizado y consecuentemente será necesario que se proteja contra la oxidación o contra agentes oxidantes hasta el momento de utilizarse.
Para este proyecto se requieren las siguientes características en el acero de prefuerzo:
A) Esfuerzo de ruptura: Mínimo 105 y 110 kg/cm² (19,000 kg/cm²)
B) Esfuerzo en el límite de fluencia convencional: Resistencia en los décimos por ciento (0.2%) de deformación permanente, dieciocho mil kilogramos entre centímetros cuadrados (18,000 kg/cm²)

Acero de refuerzo de baja relajación con 3.5% de alargamiento máximo después de 1000 horas de ser aplicada una carga correspondiente al 80% del límite de ruptura siendo esta no menor de 190 kg/cm²

Apoyos de neopreno:
Los apoyos de neopreno se han diseñado para que su trabajo a la compresión sea de 100 kg/cm², admitiendo una deformación máxima del 5%. El neopreno que se utilice deberá ser certificado por la SOT. Los juntas de neopreno se fabricaran en bloques de las dimensiones especificadas por el fabricante o se cortaran de otras más grandes porque se desintegrarán con el tiempo. El neopreno deberá cumplir con la especificación ASTM-D-2240 y tendrá dureza shore 80.

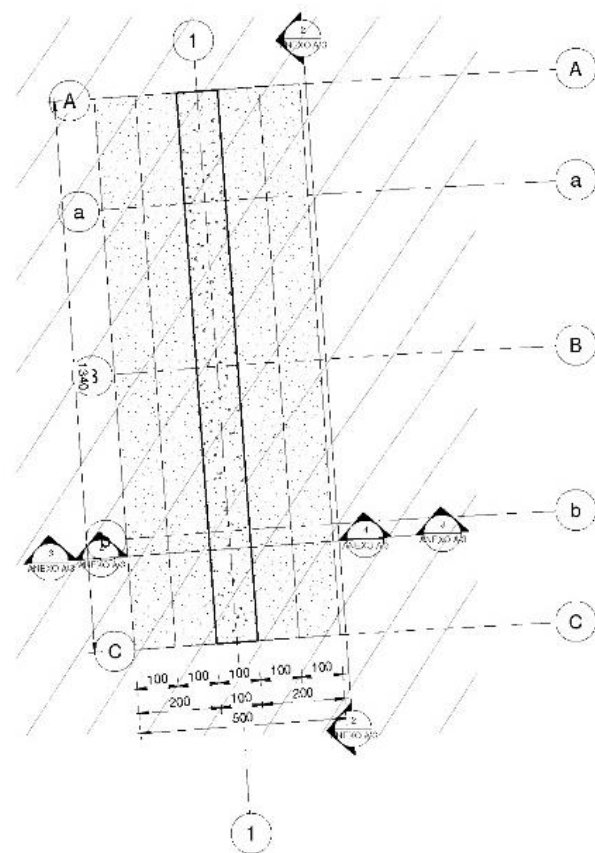
Nº	Descripción	Revisó	Fecha

ANEXO A-2

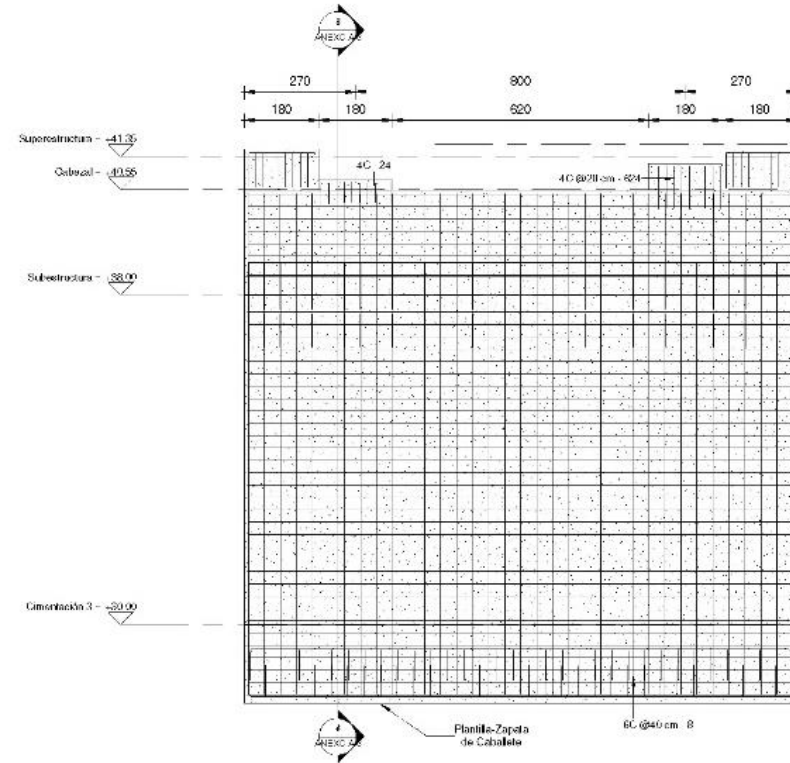
VIADUCTO
VIADUCTO 117+174
ISOMETRICOS

Carretera: Barranca Larga-Puerto Escondido Km: 11+174.00
Tramo: Barranca Larga-Ventanilla Origen: E.G. Barranca Larga

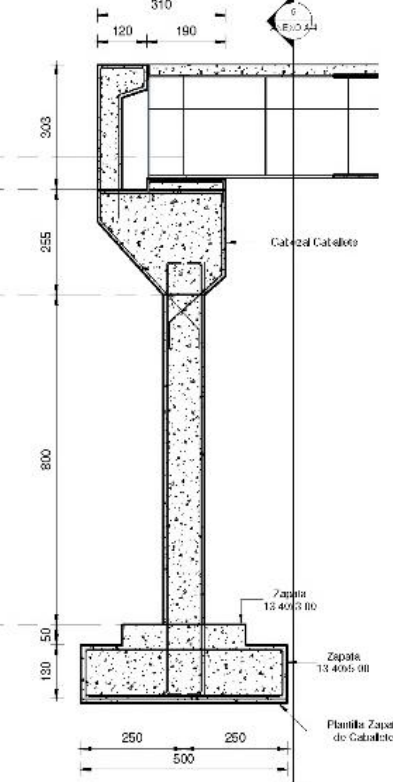
Cd. de México, Diciembre 2019 No. de Proyecto



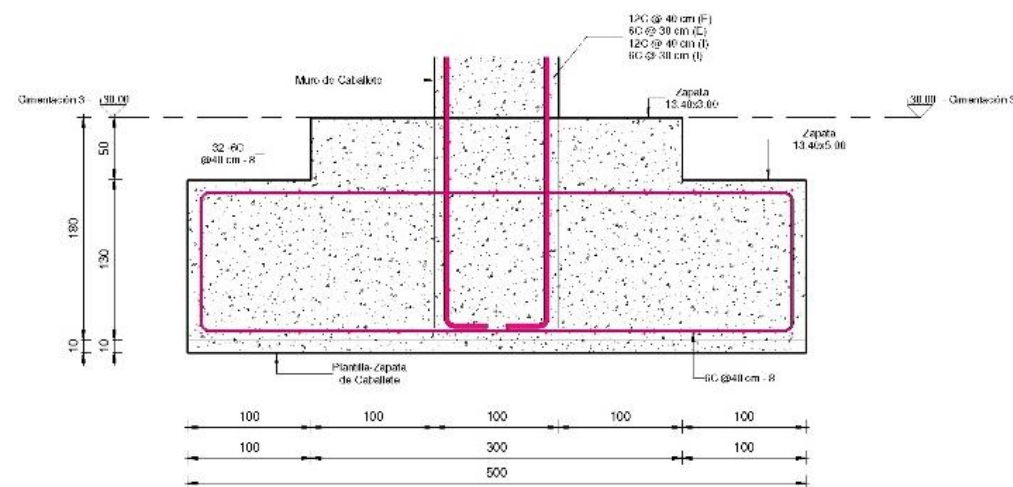
1 Zapata-Caballote No. 1
1:75



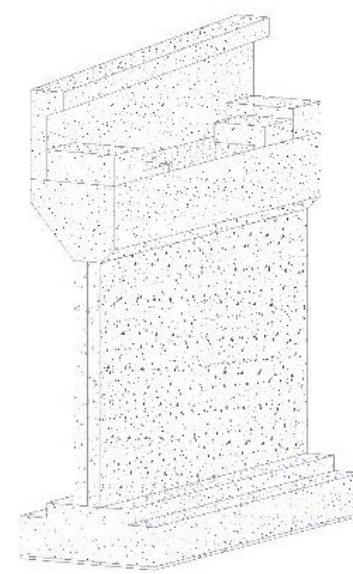
2 Sección Frontal Cab-1
1:75



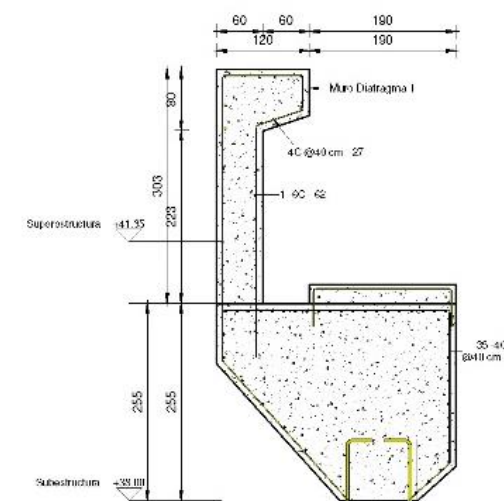
3 Sección Lateral Cab-1
1:75



4 Sección Refuerzo de Zapata
1:25



5 Isometrico - Caballote No. 1



6 Sección Cabezal
1:40

NOTAS

Concreto:
Se emplearan los concretos de las siguientes características:
En bases y diafragmas, concreto de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ con revestimiento de 5 a 8 cm y tamaño máximo del agregado grueso de 1.9 cm con cemento tipo I.
En las troces prefabricadas, concreto de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ con revestimiento de 5 cm y tamaño máximo del agregado grueso de 1.9 cm y cemento tipo I.

Acero de refuerzo:
Los empalmes de las varillas serán siempre traslapados o con soldadura a tope según se indique en el cuadro respectivo. Se procurará tener el mayor número posible de empalmes. Se tendrá especial cuidado en la limpieza de las varillas para evitar que tengan óxido sobre ellas antes de depositar el concreto.

Acero de prefuerzo:
Los elementos de acero para el prefuerzo de las troces estarán formados por torones de cuales deberán ser fabricados a máquina. Por ser requisito del proyecto chocar el acero en el concreto, el acero no deberá estar galvanizado y consecuentemente será necesario que se proteja antes de soldarlo a cualquier agente oxidante hasta el momento de utilizarlo.
Para este proyecto se requieren los siguientes requisitos en el acero de prefuerzo:

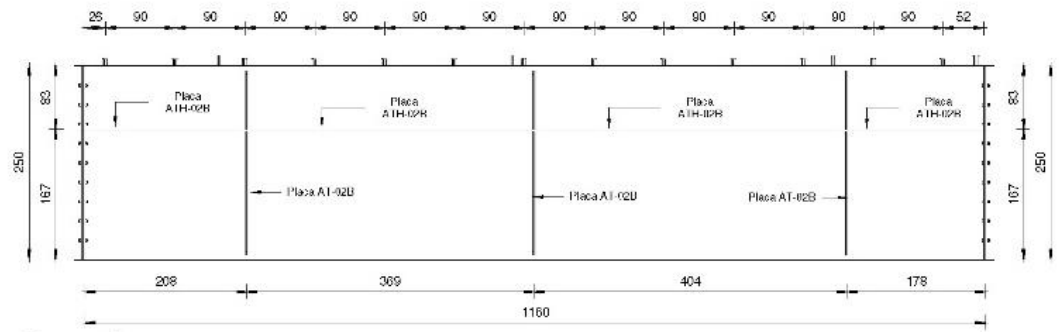
- A) Esfuerzo de fluencia: Mínimo diez y nueve mil kilogramos entre centímetro cuadrado (19,000 kg/cm²).
- B) Esfuerzo en el límite de fluencia convencional: Resistencia en dos deflexión por ciento (0.2%) de deformación permanente, dieciséis mil kilogramos entre centímetro cuadrado (16,000 kg/cm²).

Acero de refuerzo de baja relación con 50% de elongamiento: máximo después de 1000 barras de ser aplicada una carga correspondiente al 80% del límite de ruptura para el caso de barras de 190 kg/cm².

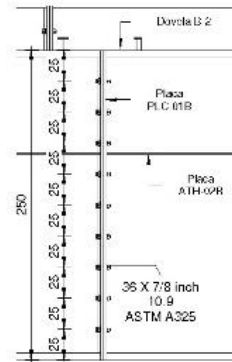
Apoyos de neopreno:
Los apoyos de neopreno se han diseñado para que el coeficiente de compresión sea de 100 kg/cm², con una deformación máxima del 15%. El neopreno que se utilice deberá ser aceptado por la SCT. Las placas de neopreno se utilizarán en todas las dimensiones especificadas por ningún motivo se podrán de otros más grandes porque se desestabilizarán con el tiempo.
El neopreno deberá cumplir con la especificación AS V-3-2240 y tendrá dureza shore 60.

Nº	Descripción	Revisó	Fecha
ANEXO A-3			
VIADUCTO VIADUCTO 117+174 CABALLETE No. 1			
Carretera: Barranca Larga-Puerto Escondido		Km: 11+174.00	
Tramo: Barranca Larga-Ventanilla		Origen: E.C. Barranca Larga	

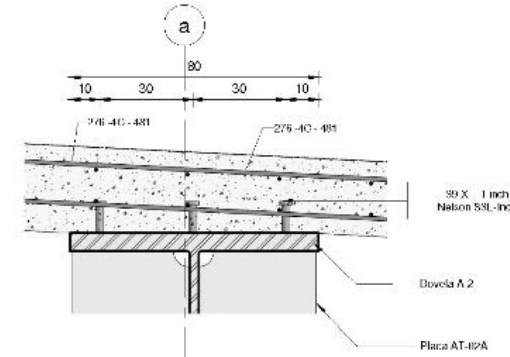
Cd. de México, Diciembre 2019		No. de Proyecto	



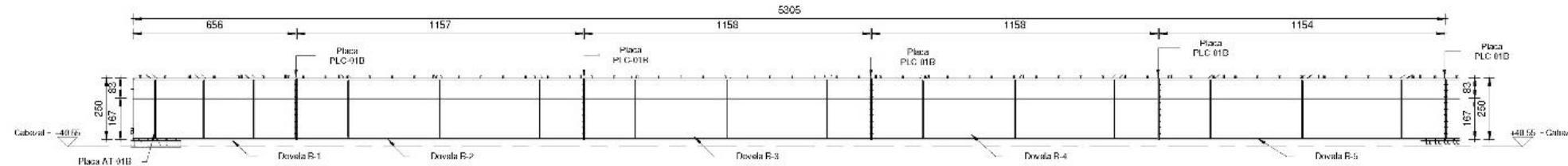
1 Tramo-D1
1:40



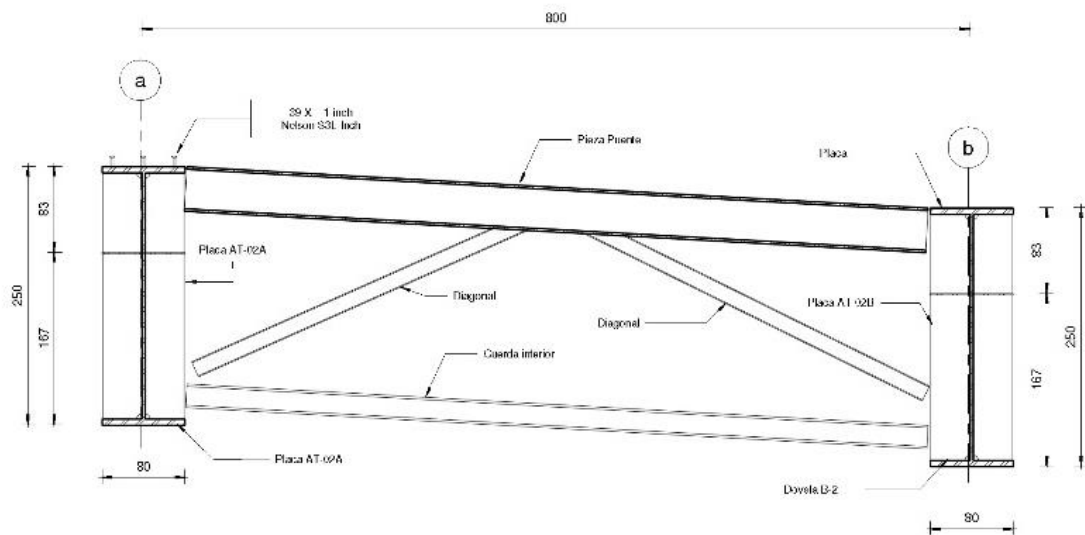
3 Elevación-Conexión
1:25



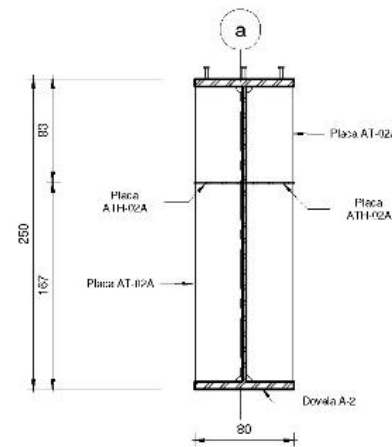
4 Detalle de Pernos
1:10



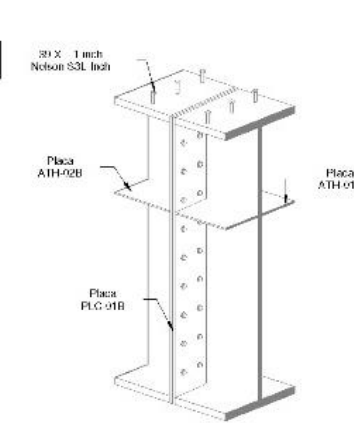
2 Elevación-Dovela-1
1:100



5 Sección Dovela-1
1:30



6 Sección-Trabe
1:25



7 Isometrico Conexión

NOTAS

Concreto:
Se emplearán los concretos de las siguientes características:
En losas y diafragmas, concreto de $f'c = 250$ kg/cm^2 con revenimiento de 5 a 9 cm y tamaño máximo del agregado grueso de 1.9 cm con cemento tipo 1.
En los traveses prefabricados, concreto de $f'c = 350$ kg/cm^2 con revenimiento de 5 cm y tamaño máximo del agregado grueso de 1.9 cm y cemento tipo 1.

Acero de refuerzo:
Los extremos de las varillas serán hechos a lasplanchas o con soldadura a tapa según se indica en el cuadro respectivo. Se procurará tener a menor número posible de empalmes. Se tendrá especial cuidado en la limpieza de las varillas para evitar que queden óxido sobre la antes de depositar el concreto.

Acero de prefuerzo:
Los elementos de acero para el prefuerzo de los traveses serán formados por torones, los cuales deberán ser fabricados a máquina. Por ser requisito del proyecto llegar a estar en el concreto, el acero no deberá estar galvanizado y consecuentemente será necesario que se proteja contra la oxidación o contra agentes externos hasta el momento de utilizarlo.
Para esta proyecto se requieren los siguientes, característicos en el acero de prefuerzo:
A) Esfuerzo de ruptura: M^2 mm² y nueva mil kilogramos entre centímetro cuadrado (13,000 kg/cm^2)

B) Esfuerzo en el límite de fluencia convencional: M^2 mm² y nueva mil kilogramos entre centímetro cuadrado (16,000 kg/cm^2)

Acero de refuerzo de baja relación con 3.5% de alargamiento mínimo después de 1000 horas en ser aplicado una carga correspondiente al 80% del F_u de M^2 mm² y nueva mil kg/cm^2 de 190 kg/cm^2

Apoyos de neopreno:
Los apoyos de neopreno se han diseñado para que su trabajo a la compresión sea de 100 kg/cm^2 , admitiendo una deformación máxima del 10%. El neopreno que se utilizara deberá ser aprobado por la SCT. Las placas de neopreno se fabricaran en moldes de las dimensiones especificadas por ningún medio se cortaran de otras más grandes porque se desintegrarían con el tiempo.
El neopreno deberá cumplir con la especificación ASTM-D-2240 y tendrá dureza shore 60.

Nº	Descripción	Revisó	Fecha

ANEXO A-5

VIADUCTO
VIADUCTO 117+174
DOVELA D-1

Carretera: Barranca Larga-Puerto Escondido Km: 11+174.00
Tramo: Barranca Larga-Ventarrills Origen: E.C. Barranca Larga

BIBLIOGRAFÍA

- 3dCadPortal (2013) ICA y AutoDesk suman esfuerzos a través de herramientas que permiten impulsar la innovación en la construcción. www.3dcadportal.com
- Autodesk México (2020) Metodología BIM y sus eneficios, Autodesk Inc. Disponible en: <https://www.autodesk.mx/solutions/bim/benefits-of-bim/> (Citado: 8 November 2020)
- Bedrick, J. et al. (2020) 'Level of Development (LOD) Specification Part I & Commentary For Building Information Models and Data', (December), pp. 15–16. Disponible en: www.bimforum.org/loa
- BIM Forum (2020) Level of Development Specification. Disponible en: <https://www.bimforum.org/loa/> (Citado: 10 November 2020)
- BIMnD España (2020) Beneficios de BIM en la construcción. Disponible en: <https://www.bimnd.es/los-8-grandes-beneficios-de-bim-en-la-construccion/>
- BuildingSMART International (2021) Industry Foundation Classes (IFC), bSI Standards. Disponible en: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>
- BuildingSMART International (2021) BuildingSMART. Disponible en: <https://www.buildingsmart.org/>
- CSI Resources (2021a) MasterFormat. Disponible at: <https://www.csiresources.org/standards/masterformat>
- CSI Resources (2021b) Omniclass. Disponible at: <https://www.csiresources.org/standards/omniclass>
- Hore, A., McAuley, B. and Roger, W. (2017) Building Information Modelling in Ireland. Dublin. doi: 0.21427
- National BIM Standard Project (2006) WHAT IS A BIM?, National Institute of Building Sciences. Disponible at: <https://www.nationalbimstandard.org/> (Citado: 9 November 2020)

- NBS (2015) Uniclass is a consistent classification structure for all disciplines in the construction industry. Disponible at: <https://www.thenbs.com/our-tools/uniclass-2015>

- ONNCE (2017) Modelado de Información de la Construcción (BIM), Industria de la Construcción -Especificaciones – Parte 1: Plan de Ejecución para Proyectos.

- Santillán Doherty, C. and Calleja, G. (2019) 'BIM: Una práctica en proyectos de infraestructura', Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres (AMIVTAC), October, p. 52. Disponible at: https://issuu.com/viasterrestres/docs/vt71_d?fr=sYmMwNDQ4NTc5

- Secretaría de Hacienda (2019) 'Estrategia para la implementación del Modelado de Información de la Construcción (MIC) en México. Secretaría de Hacienda y Credito Publico (SHCP)

- Structuralia (2020) El panorama BIM en México. Disponible at: <https://blog.structuralia.com/bim-mexico>

- U.S. ARMY Corps of Engineers, Engineering Research Developmental Center (ERDC), C. E. (2021) Construction-Operations Building Information Exchange (COBie). Disponible at: <https://www.wbdg.org/bim/cobie>

- Alpuche Sánchez, R. (2004) Productividad en la construcción. Escuela de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de las Américas, Puebla. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/alpuche_s_r/capitulo3.pdf

- Autodesk Inc. (2021) Navisworks. (Accessed: 4 June 2021). Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/navisworks/>

- Camara Mexicana de la Industria de la Construcción CMIC (2021) Baja 26.7% gasto en infraestructura. Disponible en: <https://www.cmic.org/baja-26-7-gasto-en-infraestructura/>

- Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (2019) Situación Actual y Perspectivas de la Industria de la Construcción en México. Ciudad de México. Disponible en: <https://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco>

- Centro de Investigación Económica y Presupuestaria (2020) Infraestructura en México: Prioridades y deficiencias del gasto público. Ciudad de Mexico. Disponible en: <https://ciep.mx/gasto-en-infraestructura>

- Factoría 5 (2020) Los puentes y BIM: una visión general, Training HUB. Disponible en: <https://www.factoria5hub.com/los-puentes-y-bim/>

- Jurado, C. (2014) 'Los Beneficios de BIM en el diseño de proyectos', Revista Costos, Agosto, pp. 65–68.

- McKinsey Global Institute (2017) Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity, McKinsey & Company.

- Practical BIM (2013) What is this thing called LOD. Disponible en: <http://practicalbim.blogspot.com/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html> (Accessed: 3 June 2021).

- Robles Rodríguez, J. y Velázquez García, L. (2013) 'Estructura y desempeño del sector de la construcción en México', El Cotidiano, (182), pp. 105–116. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32529942011>.

- Santillán Doherty, C. and Calleja, G. (2019) BIM: una práctica en proyectos, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres (AMIVTAC), Octubre, p. 52. Disponible en: https://issuu.com/viasterrestres/docs/vt71_d?fr=sYmMwNDQ4NTc5.

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2020) Principales estadísticas del sector comunicaciones y transporte 2020. Ciudad de Mexico.
- Tekla Trimble (2021) Diseño y Modelado de la Geometría. Disponible en: <https://www.tekla.com/la/diseño-y-modelado-de-la-geometría>
- Norma N-PRY-CAR-6-01-001/01. Libro: Proyecto. Tema Carreteras. Parte: 6 Proyecto de puentes y estructuras. Título: 01. Capítulo: 001 Ejecución de Proyectos de Nuevos Puentes. Normatividad para la Infraestructura del Transporte, SCT.
- Norma N-PRY-CAR-6-01-002/01. Libro: Proyecto. Tema Carreteras. Parte: 6 Proyecto de puentes y estructuras. Título: 01. Capítulo: 002 Características Generales de Proyecto. Normatividad para la Infraestructura del Transporte, SCT.
- Norma N-PRY-CAR-6-01-009/04. Libro: Proyecto. Tema Carreteras. Parte: 6 Proyecto de puentes y estructuras. Título: 01. Capítulo: 009 Presentación del Proyecto de Nuevos Puentes. Normatividad para la Infraestructura del Transporte, SCT.
- Norma M-PRY-CAR-6-01-008/04. Libro: Proyecto. Tema Carreteras. Parte: 6 Proyecto de puentes y estructuras. Título: 01. Capítulo: 008 Consideraciones para puentes especiales. Normatividad para la Infraestructura del Transporte, SCT.
- Whitney, C. S. (2003) Bridges of the World: Their Design and Construction. New York: Dover Publications.
- Encyclopedia Britannica (2021) bridge. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/bridge-engineering>.
- Guánchez, E. (2019) Principales fases que intervienen en el proceso de diseño de una estructura de puentes, ZIGURAT, Global Institute of technology. Disponible en: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/diseño-conceptual-de-estructura-de-puentes/>.
- Freyssinet. (2016) Apoyos mecánicos. Grupo Soletanche Freyssinet Primera edición, pp. 24. Francia

