



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**"IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO
DE LA CICLOVÍA TLAXCALA-APIZACO PRIMERA ETAPA KM 0+000.00 AL KM
6+100.00"**

**TÍTULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA CIVIL**

PRESENTA:
ROGELIO HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

NOMBRE DEL ASESOR:
ING. MIGUEL ÁNGEL DAZA MERINO

Agradecimientos

Las personas más especiales de mi vida

No tengo palabras suficientes para agradecer a mis padres, Rogelio Hernández López y Silvia Oliva Fernández Soza, por su amor, paciencia y ejemplo constante. Han sido mi mayor motivación y me han enseñado que, con esfuerzo y perseverancia, todo es posible.

Quiero agradecer especialmente a mi papá por enseñarme y guiarme en este camino, por estar siempre para mí, por ayudarme a no rendirme y por brindarme, día tras día, valiosas enseñanzas que me acompañarán durante toda mi vida. A pesar de las dificultades que ha enfrentado, siempre ha dado lo mejor de sí, enseñándome con su ejemplo el valor de la perseverancia y la fuerza para seguir adelante.

A mi mamá, gracias por tu amor incondicional, por tu apoyo en cada etapa de mi formación y por ser una fuente constante de fortaleza y confianza. A lo largo de estos años has enfrentado una enfermedad con una admirable fuerza y perseverancia, sin rendirte en ningún momento. Eres un ejemplo de lucha diaria, de valentía y de resiliencia, y aun en las situaciones más difíciles has seguido siendo un pilar fundamental en mi vida. Tu cariño y tus consejos han sido esenciales para llegar hasta aquí, y te admiro profundamente por la mujer fuerte que eres.

A mi hermana Alexandra, gracias por tu cariño y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Como mi hermana mayor, siempre has sido un ejemplo para mí; admiro tu fortaleza, tu carácter y la manera en que enfrentas cada desafío. Gracias por tus consejos, por creer en mí y por impulsarme constantemente a dar lo mejor de mí en cada etapa de mi vida. Tu presencia ha sido una guía importante y una motivación para seguir creciendo tanto personal como profesionalmente.

A mi hermano Axel, gracias por tu cariño, tu compañía y por todos los momentos que hemos compartido. Tu alegría, apoyo y forma de ver la vida han sido una motivación constante para mí. Espero que este logro también sea un ejemplo para ti, y que te recuerde que, con esfuerzo, dedicación y perseverancia, es posible alcanzar cualquier meta que te propongas. Siempre voy a procurar ser un buen ejemplo para ti y acompañarte en tu propio camino.

Asimismo, agradezco A Vero, gracias por tu amor, paciencia y apoyo incondicional durante la realización de este proyecto. A pesar de las circunstancias y de la distancia con mi familia, me acompañaste en una de las etapas más importantes de mi vida. Incluso en el tiempo que estuvimos en Estados Unidos, me apoyaste diariamente, acompañándome desde muy temprano a la universidad donde realizaba mi proyecto y estando conmigo en todo momento. Tu compañía, comprensión y motivación fueron fundamentales para que pudiera concluir esta meta.

De igual manera, agradezco profundamente a mis abuelitos, Gloria y Crescencio, así como a Guadalupe y Gildardo, mis segundos padres, quienes con su amor, consejos y ejemplo han dejado una huella invaluable en mi vida. Gracias por creer en mí, por impulsarme a luchar por mis sueños y por recordarme siempre la importancia de la familia, la humildad y el trabajo constante.

Gracias a Dios por acompañarme en cada paso de este camino, por ser mi guía en los momentos de incertidumbre y mi fortaleza en los momentos más difíciles. Gracias por darme la fuerza para seguir adelante cuando pensé que no podía más, por iluminar mi camino y por nunca soltarme de tu mano. Todo lo que he logrado es gracias a Tu presencia constante en mi vida y a Tu infinito amor. ♥

Resumen

El presente proyecto de titulación se centra en la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el diseño de una ciclovía, con el propósito de optimizar la integración de datos topográficos, la precisión geométrica y la gestión de información a lo largo del proceso de diseño.

Desde las etapas iniciales, se incorporaron levantamientos topográficos obtenidos mediante fotogrametría con drones, lo que permitió generar ortomosaicos, modelos digitales del terreno y nubes de puntos de alta resolución. Estos insumos se integraron en un entorno BIM, posibilitando la construcción de un modelo digital informativo que sirvió como base para el análisis del terreno, la definición del trazo de la ciclovía y la validación de alternativas geométricas.

El modelo permitió identificar interferencias, optimizar alineaciones y garantizar la correcta integración con la infraestructura vial existente. Asimismo, la plataforma BIM facilitó la generación de planos constructivos, memorias descriptivas y documentación técnica, reduciendo la posibilidad de errores y mejorando la trazabilidad del proyecto.

El enfoque adoptado evidencia las ventajas de BIM frente a los métodos tradicionales de diseño, entre las que destacan la coordinación multidisciplinaria, la reducción de reprocesos, la automatización de cálculos y la posibilidad de simular escenarios constructivos. Además, la implementación de esta metodología en proyectos de transporte no motorizado, como ciclovías, refuerza la importancia de aplicar herramientas digitales para fomentar la movilidad sostenible, la seguridad vial y la eficiencia en el desarrollo urbano.

Índice

Agradecimientos.....	i
Resumen.....	ii
Índice.....	iii
Introducción	16
Generalidades del Proyecto	17
Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante	17
Problema a resolver	18
Vehículos circulantes en el estado	18
Uso insuficiente para la implementación de ciclovía en el carril.....	19
Problemas que nos encontramos a la hora de la realización de las actividades	21
Problemas de precisión en los datos levantados	21
Inconsistencias en la georreferenciación.....	22
Deficiencias en la interpretación de los datos levantados	23
Retrasos en el procesamiento y entrega de planos	24
Errores humanos en el levantamiento o generación de planos.....	24
Objetivos	26
Objetivo General	26
Objetivos Específicos	26
Justificación	28
CAPÍTULO I.....	32
1.1 IMPLEMENTACIÓN INTEGRAL DEL DISEÑO DE LA CICLOVÍA TLAXCALA-APIZACO CON BIM	32
1.2 Antecedentes	48
1.3 Quejas de la ciclovía anterior.	48
1.4 Implementación de la metodología en la realización de la ciclovía del Estado de Tlaxcala.	50
1.5 Tipos de ciclovías	54
1.6 Clasificación de los tramos de la ciclovía.....	55
1.7 Ciclovías y bicicletas.....	56
1.8 Integración de ciclovías a medios de transporte.....	57
1.9 Beneficios de la adaptación de la ciclovía para la conexión de dos urbes	58
1.10 Metodología BIM (Building Information Modeling)	61
1.11 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas	64

	v
1.12 Implementación del LOD 100	70
1.13 Implementación del LOD 200	77
1.14 Implementación del LOD 300	87
1.15 Implementación de LOD 350	99
1.16 Levantamiento topográfico equipo GNSS	104
1.17 Levantamiento Topográfico con Dron	106
1.18 Representación de modelos 3D	109
1.19 Softwares de implantación para realización de modelos 3D	111
CAPÍTULO II	113
2.1 INTRODUCCIÓN	113
2.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO DE LA CICLOVÍA TLAXCALA-APIZACO	114
2.3 Planificación del Proyecto y Elaboración del Plan MIC	132
2.4 Formulación del Diseño Geométrico Integrado en Entornos BIM	134
2.5 Aplicación de Niveles de Desarrollo (LOD) en el Modelado Digital	136
2.6 Gestión de la Coordinación Multidisciplinaria en Entornos BIM	138
2.7 Producción de Entregables Digitales y Documentación Técnica del Modelo BIM	140
2.8 Evaluación Técnica y Análisis de Resultados del Modelo BIM	141
2.9 Conclusiones sobre la Implementación de la Metodología BIM	143
CAPÍTULO III	145
3.1 RESULTADOS	145
3.2 Resultados Generales del Proyecto	145
3.3 Planos del Proyecto	146
3.4 Resultados del Procesamiento Fotogramétrico en Metashape	147
3.5 Resultados del Modelado BIM	148
Conclusiones	150
Recomendaciones	155
Referencias	157
Anexos	159
1.- Permiso para uso del proyecto	159
2.-Plan MIC	159
3.-Link carpetas de DRIVE	159
4.-Manual de calles de la ciudad de Mexico	159
5.-Plan del proceso y reporte fotográfico	159

	vi
6.-Guías BIM	160
7.- Plano topográfico georreferenciado	161
8.-Plano curvas de nivel.....	165
9.-Plano de diseño geométrico.....	167
10.-Plano del perfil longitudinal	169
11.-Plano de secciones transversales de la ciclovía.....	172
12.-Plano de señalamiento vial para la ciclovía.....	175
13.-Blender	176
14.-Carta de no inconveniencia.....	179

Introducción

El presente documento forma parte del proyecto de titulación y tiene como finalidad documentar el proceso de modelado de una ciclovía mediante la implementación de la metodología BIM en una obra pública. Se detallan las etapas y procedimientos llevados a cabo, y se presenta el desarrollo de un flujo de trabajo específico para este proyecto. La propuesta consiste en el diseño de una ciclovía en el estado de Tlaxcala, que conectará las ciudades de Tlaxcala y Apizaco, con una longitud total aproximada de 16 kilómetros. No obstante, este informe se enfoca particularmente en el modelado de un tramo de 6 kilómetros, dividido en dos etapas de 3 kilómetros cada una, con el propósito de ejemplificar la aplicación práctica de los procesos modelados.

Se enfatiza la relevancia de la metodología BIM en la planificación y desarrollo de la infraestructura ciclista, al constituir una herramienta que optimiza la gestión de información y mejora la eficiencia en la ejecución del proyecto. Para este fin, se llevaron a cabo levantamientos topográficos mediante el uso de tecnologías avanzadas y equipos especializados, poco comunes en este tipo de obras. Estos procedimientos permitieron la generación de modelos tridimensionales precisos del área de intervención, fundamentales para el proceso de modelado y análisis del proyecto.

Este informe aborda los elementos clave del proyecto, incluyendo plataformas y programas utilizados para gestionar el Plan MIC en el modelado de la ciclovía. Se presentan modelos tridimensionales generados a partir de datos topográficos, con el fin de evaluar su idoneidad para

su implementación. El documento incluye el proceso de levantamiento, los actores involucrados, las herramientas digitales empleadas y el flujo de trabajo adoptado.

Generalidades del Proyecto

Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante.

La empresa SAMAR S.A. de C.V. destaca por su amplio enfoque en el sector de la construcción, abarcando desde la rehabilitación de inmuebles hasta la construcción total de proyectos arquitectónicos y civiles, siempre priorizando la implementación de nuevas tecnologías y softwares innovadores. Este enfoque permite generar un entorno armónico y eficiente para los procesos constructivos, asegurando calidad y precisión en cada etapa.

En mi rol como ingeniero topográfico, cuento con capacitación específica para operar equipos avanzados como el GNSS EYR. Este equipo incorpora tecnología de última generación, lo que nos permite realizar levantamientos topográficos de alta precisión. Al estar referenciado y conectado con una constelación de entre 32 y 46 satélites, se garantiza la obtención de datos confiables y exactos desde el inicio del proceso.

Adicionalmente, utilizamos drones equipados con tecnología LiDAR y sistemas de georreferencia para complementar los levantamientos topográficos. Esta integración tecnológica amplía significativamente nuestra capacidad de trabajo, optimizando los tiempos y mejorando la precisión de los resultados. El uso del dron nos permite cubrir grandes áreas y generar modelos tridimensionales detallados, reduciendo al mínimo los errores y maximizando la eficiencia.

Además de realizar levantamientos topográficos, desempeño la función de dibujante de planos, donde traduzco los datos obtenidos con el equipo GNSS y los drones en planos precisos y

comprensibles. Este trabajo asegura que los responsables de los proyectos cuenten con representaciones gráficas claras y detalladas para tomar decisiones informadas

Problema a resolver

"La congestión vehicular y la falta de infraestructura para transporte sostenible entre las ciudades de Tlaxcala y Apizaco: necesidad de una solución de movilidad eficiente, segura y ecológica."

Este tema aborda la congestión del tráfico, la insuficiencia de opciones de transporte no motorizado y la creciente demanda de alternativas sostenibles en la región, lo que justifica la creación de una ciclovía que conecte ambas urbes de manera eficiente y sostenible. Además, resalta la importancia de fomentar una movilidad más saludable y menos contaminante.

Vehículos circulantes en el estado

Es importante tener en cuenta, la cantidad de vehículos que hay en el estado o que se transportan de un lugar a otro ya que esto nos ayudara a conocer si es que en el estado la movilidad es importante, ya sea para desplazarse al trabajo, a la escuela o por algún servicio, nos ayuda a entender la importancia de unas vías de comunicación adecuadas y no solo de transporte vehicular, sino también para los ciclistas, que muchas ocasiones no cuentan con los espacios adecuados y esto hace que se enfrenten a problemas graves, para tener que cruzar en lugares no aptos y poniendo en riesgo la integridad del ciclista, peatón y transeúntes.

“La cifra de vehículos que circulan en el estado de Tlaxcala creció casi un 60 por ciento en un periodo de 18 años, entre el año 2005 y el 2023”, “de acuerdo con los datos de INEGI y la SMyT!. (Díaz, 2023)...”

“Un reporte del padrón vehicular de la Secretaría de Movilidad y Transporte (SMyT) refiere que diariamente 642 mil 320 unidades automotoras circulan por calles o carreteras del estado, lo que significa que por cada dos habitantes hay un vehículo.” ”De acuerdo con los datos de INEGI (Díaz, 2023)...”

El aumento vehicular en el estado aumenta de forma considerable anualmente lo que demuestra que la infraestructura con la que se cuenta en este momento no es suficiente para mantener o sostener el crecimiento en los automóviles; Frente a esto, la construcción de ciclovías surge como una solución clave para fomentar el uso de la bicicleta, un medio de transporte sostenible, saludable y eficiente. Con ciclovías seguras y accesibles, podemos reducir la dependencia del automóvil, disminuir las emisiones contaminantes y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, promoviendo un modelo urbano más equilibrado y sostenible."

“Aunque la SMyT no da a conocer el comparativo sobre el registro a agosto de 2023 con otros años, el registro del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) da cuenta de un aumento anual de vehículos que circulan en el estado de 7.3 por ciento”. (Díaz, 2023)

Uso insuficiente para la implementación de ciclovía en el carril.

Las dimensiones actuales de la calle en la que se propuso y construyó la actual ciclovía no son aptas para garantizar la seguridad y eficiencia de este medio de transporte. La falta de espacio adecuado para separar el tráfico vehicular de los ciclistas representa un riesgo significativo, ya que los usuarios de la bicicleta se verían expuestos a accidentes con los vehículos motorizados.

Además, la infraestructura existente no permite una integración fluida de la ciclovía sin afectar negativamente el flujo vehicular ni la calidad de vida de los residentes. La ausencia de un ancho adecuado para crear una ruta segura y cómoda limita la viabilidad del proyecto tal como está diseñada la vía actualmente, por lo que es necesario realizar ajustes y ampliaciones para asegurar que la ciclovía funcione de manera efectiva y segura para todos los usuarios.

Ante las limitaciones de espacio en la ruta original, se decidió optar por una nueva alternativa para la ciclovía, tomando una ruta diferente que permita una mayor amplitud y fluidez en el tránsito de los ciclistas. Esta nueva ruta fue seleccionada cuidadosamente, considerando factores como la accesibilidad, la seguridad y la conectividad con puntos clave de la ciudad. Al contar con un espacio más amplio, se facilita la separación segura entre el tráfico vehicular y los ciclistas, garantizando una circulación más fluida y reduciendo los riesgos de accidentes. Además, esta opción permite integrar mejor la ciclovía en el entorno urbano, favoreciendo tanto a los ciclistas como a los residentes, y optimizando el uso del espacio disponible para un transporte más eficiente y seguro.

A pesar de la elección de una ruta más adecuada, durante el proceso de planificación y ejecución del proyecto se han presentado desafíos relacionados con el equipo y las actividades de ingeniería. La implementación de tecnologías avanzadas, como el uso de GNSS y drones para los levantamientos topográficos, requiere una calibración y mantenimiento constantes para garantizar la precisión de los datos. Además, la coordinación entre las distintas fases del proyecto, como el diseño y la ejecución, ha demandado una integración más efectiva de los equipos de trabajo para evitar retrasos y asegurar que todos los elementos se alineen correctamente con los estándares de seguridad y calidad requeridos.

Problemas que nos encontramos a la hora de la realización de las actividades

En la construcción no estamos exentos de encontrar diferentes problemas ya se en el planteamiento durante la ejecución, o al momento de finalizar el proyecto; algunos de estos problemas pueden surgir desde el levantamiento topográfico y en la generación de planos, error que indudablemente afecta la calidad, precisión y sobre todo obtención de resultados, por ello es importante aprender a identificar y resolver. De manera subsecuente, se describen algunos de los problemas más comunes, junto con las estrategias para resolverlos y priorizarlos según su impacto en el proyecto:

Problemas de precisión en los datos levantados

Uno de los problemas más comunes que enfrentamos en los levantamientos topográficos es la falta de precisión en los datos debido a interferencias en la señal GNSS, las cuales son causadas por obstáculos como edificios, vegetación densa o condiciones meteorológicas adversas. Para evitar estos errores, es fundamental conocer bien la zona de trabajo y aprender a utilizar correctamente el equipo, así como identificar las posiciones más adecuadas para su colocación, lo que nos permitirá reducir las interferencias y realizar el proyecto de manera eficiente. Para mitigar este tipo de problemas, se recomienda realizar un estudio previo que permita identificar las áreas con mayor probabilidad de interferencia, lo cual facilita la implementación de soluciones directas, como el uso de amplificadores de señal. Además, una opción viable es complementar el levantamiento con drones equipados con LiDAR, ya que este tipo de tecnología depende de señales satelitales y puede capturar información con alta precisión. La importancia de resolver este

problema es alta, ya que la precisión de los datos obtenidos es la base fundamental para todo el proceso de diseño y ejecución del proyecto, garantizando que las decisiones y las etapas posteriores se basen en información correcta y confiable.

Inconsistencias en la georreferenciación

Las inconsistencias en la georreferenciación pueden surgir debido a una configuración incorrecta de los equipos o a la falta de un sistema de referencia común. Estas inconsistencias pueden deberse a factores como zonas restringidas que interfieren con la capacidad de recepción del radio del equipo, una mala nivelación o calibración que provoca desorientación y mal enfoque, o incluso una incorrecta configuración inicial desde las alturas, lo que afecta la exactitud en la toma de puntos. Para evitar estos problemas, es fundamental verificar y calibrar regularmente los equipos GNSS y drones, ya que es esencial orientar adecuadamente las brújulas y sensores que incorporan, siendo recomendable realizar este procedimiento al menos cada tres levantamientos, o un día antes de comenzar un nuevo proyecto. Además, se debe utilizar software especializado que permita homologar los sistemas de referencia y corregir posibles discrepancias, lo cual requiere un conocimiento previo de la zona de trabajo para identificar las referencias adecuadas y minimizar los errores. La importancia de solucionar este tipo de inconsistencias es alta, ya que pueden generar errores acumulativos en los planos y afectar decisiones clave del proyecto, impactando directamente en las dimensiones, coordenadas, longitudes y volúmenes, lo que podría comprometer la exactitud y éxito del proyecto.

Deficiencias en la interpretación de los datos levantados

La complejidad de los datos obtenidos durante el levantamiento topográfico puede dificultar la generación de planos claros y comprensibles. Esta complejidad surge de la gran cantidad de información capturada, la diversidad de las fuentes de datos y las características técnicas avanzadas de los equipos utilizados, como el GNSS y los drones equipados con LiDAR. Estos dispositivos generan datos de alta precisión en grandes volúmenes, que incluyen coordenadas tridimensionales, modelos digitales del terreno (MDT), nubes de puntos, curvas de nivel y detalles geométricos específicos. Para abordar este desafío, es esencial capacitar a los responsables en el uso del software topográfico, lo que mejorará la traducción de los datos en planos, realizando talleres que permitan a los usuarios finales, como ingenieros, arquitectos y proyectistas, comprender adecuadamente la simbología, los formatos y las escalas. Una solución integral también consiste en implementar un enfoque que combine capacitación, estandarización y herramientas tecnológicas avanzadas. Además, se debe capacitar de manera continua a los equipos de trabajo y a los usuarios finales en la lectura e interpretación de datos topográficos, abarcando tanto los conceptos básicos como el uso de software especializado. Es fundamental implementar estándares en la elaboración de planos, lo que asegurará uniformidad y claridad en la representación gráfica. La importancia de solucionar esta deficiencia es media, ya que afecta la comunicación entre equipos, pero no siempre detiene el proyecto. Sin embargo, la correcta interpretación de los datos topográficos es crucial, ya que estos constituyen la base para la planificación, diseño y ejecución de proyectos de construcción, garantizando que todos los involucrados comprendan con claridad las características del terreno, lo que minimiza errores en la toma de decisiones y reduce riesgos asociados a problemas como diseños incorrectos, retrabajos o sobrecostos.

Retrasos en el procesamiento y entrega de planos

Los retrasos en el procesamiento y entrega de planos son una problemática común que surge debido a la falta de sincronización entre las actividades de levantamiento y dibujo, o bien por limitaciones en los recursos tecnológicos disponibles. Para abordar esta situación, es fundamental establecer un flujo de trabajo eficiente que permita procesar los datos en tiempo real, lo que garantiza que la información se procese de manera rápida y precisa. Asimismo, es recomendable utilizar software que automatice la integración de datos y la creación de planos básicos, lo que agiliza significativamente el proceso, reduciendo tiempos y esfuerzos manuales. La prioridad de esta solución es media a baja, ya que el impacto de los retrasos dependerá de los plazos del proyecto, aunque siempre es importante mitigar estos inconvenientes para mantener los tiempos de entrega dentro de los límites establecidos.

Errores humanos en el levantamiento o generación de planos

Los errores humanos en el levantamiento o generación de planos pueden surgir debido a la fatiga, la falta de capacitación adecuada o descuidos durante la recopilación y procesamiento de datos. Para solucionar este problema, se debe implementar protocolos de revisión cruzada y validación de datos entre los equipos, asegurando que los datos recopilados sean revisados y verificados antes de su uso en etapas posteriores del proyecto. Además, es esencial fomentar un programa de capacitación continua para los operadores y dibujantes, con el fin de garantizar que el personal esté siempre actualizado en las mejores prácticas y tecnologías disponibles. La prioridad de este problema es media, ya que su impacto puede mitigarse mediante controles de calidad eficientes. En cuanto a la estrategia de priorización, es fundamental dar prioridad a los problemas que afectan directamente la precisión y la calidad de los datos, ya que estos son la base para todas las etapas subsecuentes del proyecto. Para ello, se debe establecer un flujo de trabajo

que aborde en paralelo los problemas de interpretación y retrasos, optimizando los tiempos de respuesta sin comprometer la calidad. Implementar controles de calidad regulares permitirá detectar y corregir errores humanos antes de que impacten de forma significativa en el proyecto, garantizando así que los levantamientos topográficos y los planos generados cumplan con los estándares requeridos, minimizando riesgos y optimizando recursos.

Objetivos

Objetivo General

Implementar la metodología BIM (Building Information Modeling) en el diseño geométrico y la construcción de un tramo de ciclovía en el corredor Tlaxcala - Apizaco, utilizando tecnologías avanzadas como fotogrametría con drones, GNSS y escaneo LiDAR para crear una infraestructura segura, sostenible y eficiente que promueva la movilidad activa y potencie la conectividad en la región.

Objetivos Específicos

-Implementar un modelo BIM colaborativo que facilite la integración interdisciplinaria, el intercambio eficiente de información y la detección oportuna de conflictos en las etapas de diseño y ejecución de la ciclovía.

-Optimizar el diseño geométrico de la ciclovía mediante el análisis de las condiciones topográficas y la infraestructura existente, utilizando el modelo BIM para asegurar la seguridad y funcionalidad de los usuarios.

-Aplicar tecnologías avanzadas de levantamiento y análisis, como fotogrametría con drones, GNSS y escaneo LiDAR, integradas en el modelo BIM para reducir errores, tiempos y costos en el desarrollo del proyecto.

-Fomentar la sostenibilidad del proyecto mediante el diseño y la implementación de la ciclovía en el modelo BIM, priorizando la minimización de impactos ambientales y la promoción de la movilidad activa.

-Evaluar y documentar los resultados obtenidos para analizar la aplicabilidad de la metodología BIM en proyectos similares y contribuir al desarrollo de prácticas innovadoras en infraestructura vial.

Justificación

El desarrollo de proyectos de infraestructura, especialmente aquellos que promueven la movilidad activa y sostenible, como las ciclovías, demanda la integración de metodologías modernas que aseguren una gestión más eficiente, precisa y sostenible de los recursos disponibles. En este contexto, la metodología BIM (Building Information Modeling) se presenta como una herramienta clave no solo para el diseño, sino para la ejecución completa del proyecto. Este trabajo se enfoca en la aplicación de BIM para el diseño, modelado y construcción de un tramo de ciclovía en el corredor Tlaxcala-Apizaco, utilizando tecnologías avanzadas de levantamiento topográfico, como GNSS, drones con LiDAR y fotogrametría. BIM permitirá optimizar no solo el diseño, sino también la planificación, coordinación, y gestión de todas las etapas del proyecto, desde la fase inicial de levantamiento hasta la construcción y posterior mantenimiento.

La integración de la metodología BIM en este proyecto es fundamental para responder a la creciente demanda de infraestructura vial sostenible en la región de Tlaxcala. La ciclovía propuesta no solo mejorará la conectividad entre comunidades, sino que también ofrecerá una alternativa ecológica y segura para los ciclistas, contribuyendo a la reducción de la dependencia del transporte motorizado. En regiones donde la infraestructura para ciclistas es limitada, como es el caso de Tlaxcala, la implementación de un modelo digital 3D de la ciclovía permite analizar de manera más precisa las mejores rutas y diseños, maximizando la seguridad y la eficiencia del recorrido. Además, BIM facilita la integración de diferentes disciplinas de ingeniería y arquitectura, permitiendo una mejor coordinación entre los equipos de trabajo y reduciendo el riesgo de errores o malentendidos durante el proceso.

La metodología BIM es una herramienta revolucionaria que optimiza los recursos, el tiempo y los costos del proyecto, y lo hace desde la fase de planificación hasta la ejecución. Al

integrar BIM con tecnologías avanzadas como el GNSS y los drones con LiDAR, se garantiza que los datos topográficos sean precisos y actualizados, lo que se traduce en una base sólida para el diseño de la ciclovía. El uso de BIM también permite detectar y resolver posibles problemas antes de que se inicie la construcción, lo que evita retrabajos y sobrecostos. Además, BIM mejora la visualización tridimensional del proyecto, lo que facilita la comprensión del diseño por parte de todos los involucrados en el proceso y permite realizar simulaciones para prever el comportamiento de la infraestructura bajo diferentes condiciones, como el tráfico, el clima o el desgaste con el tiempo.

Uno de los principales beneficios de implementar BIM en este proyecto es su capacidad para promover la sostenibilidad, no solo en términos de impacto ambiental, sino también en la eficiencia de los recursos utilizados. BIM permite la creación de modelos digitales detallados que pueden analizarse para optimizar el uso de materiales y minimizar el desperdicio durante la construcción. Además, el uso de esta metodología facilita la planificación de rutas que respeten el entorno natural y que integren soluciones de movilidad sostenible. La ciclovía propuesta, apoyada por BIM, no solo contribuirá a la mejora de la movilidad, sino que también fomentará hábitos de transporte ecológicos, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y la reducción de la huella de carbono.

Este proyecto representa una valiosa oportunidad para demostrar la eficacia de BIM en la ingeniería civil aplicada a la infraestructura vial, y en particular, en el diseño y ejecución de ciclovías. A través de la implementación de BIM, se podrá evidenciar cómo esta metodología facilita la colaboración entre diferentes disciplinas (arquitectura, ingeniería, planificación urbana), lo que optimiza tanto los tiempos de trabajo como los resultados finales. La documentación y análisis de los resultados obtenidos en este proyecto no solo permitirá evaluar la viabilidad y

efectividad de BIM, sino también establecer un precedente para su aplicación en futuros proyectos similares. Además, este trabajo contribuirá al avance del conocimiento y la profesionalización del sector de la ingeniería civil, proporcionando una base sólida para el uso de tecnologías innovadoras en la construcción de infraestructura sostenible.

Un aspecto crucial que debe destacarse en la aplicación de BIM en este proyecto es su impacto en la gestión y el mantenimiento de la infraestructura a largo plazo. La metodología BIM no solo se limita al diseño y la construcción, sino que también juega un papel crucial en la gestión del ciclo de vida de la infraestructura. Al contar con un modelo digital completo de la ciclovía, se podrán realizar seguimientos y evaluaciones periódicas para asegurar su buen estado a lo largo del tiempo. Además, la integración de información precisa sobre materiales, técnicas de construcción y condiciones del terreno permitirá realizar un mantenimiento predictivo, evitando costosos trabajos de reparación y prolongando la vida útil de la infraestructura. Este enfoque no solo mejora la sostenibilidad del proyecto, sino que también optimiza los recursos y reduce los costos operativos a largo plazo.

La implementación de la metodología BIM en este proyecto no solo optimiza el diseño y construcción de la ciclovía, sino que establece un modelo a seguir para futuros proyectos de infraestructura. BIM proporciona una plataforma integral que permite gestionar de manera más eficiente todos los aspectos del proyecto, desde el levantamiento topográfico hasta la planificación y ejecución, garantizando que el proceso sea más preciso, colaborativo y sostenible. Al incorporar tecnologías avanzadas de levantamiento y herramientas de visualización tridimensional, este proyecto representa un paso importante hacia la innovación y la sostenibilidad en la infraestructura vial. En definitiva, este trabajo busca no solo resolver un desafío técnico de diseño y construcción,

sino también sentar las bases para una nueva forma de abordar los proyectos de infraestructura, centrada en la eficiencia, la sostenibilidad y la integración tecnológica.

“BIM puede cambiar fundamentalmente la manera en que se planifican los proyectos de construcción. La posibilidad de visualizar el proyecto de forma tridimensional antes de que se haya iniciado la construcción puede ayudar a hacer correcciones tempranas y a prevenir errores costosos”. “De acuerdo con los datos de la universidad tecnológica Ziguart. (ZIGUART INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2023)...”

CAPÍTULO I:

MARCO TEORICO

1.1 IMPLEMENTACIÓN INTEGRAL DEL DISEÑO DE LA CICLOVÍA TLAXCALA-APIZACO CON BIM

Se llevó a cabo un estudio para modelar una ciclovia que conecte dos importantes urbes, Tlaxcala y Apizaco, ofreciendo una solución diferente a las opciones actuales. Hasta el momento del análisis, no existía una ciclovia en la región que cumpliera con las normativas necesarias ni que ofreciera características adecuadas para garantizar la seguridad y comodidad del usuario. La propuesta abarca un proyecto integral para una ciclovia de 16 km de longitud, sin embargo, en esta etapa inicial se enfocó únicamente en el primer tramo, que comprende una extensión de 3 km.

Este primer segmento comienza en el recinto ferial de Tlaxcala, ubicado en el kilómetro 0+000.00, y concluye en San Pablo Apetatitlán km 6+000.00, específicamente en el área conocida como "El Molinito". Para adaptarse a las condiciones del terreno y las necesidades de los usuarios, se diseñaron dos tipos de ciclovías diferenciadas a lo largo del primer tramo del recorrido. La primera se ubicará sobre el muro que bordea el río Zahuapan, aprovechando su infraestructura existente, mientras que la segunda se plantea en un camino de terracería, considerando las características del terreno y su accesibilidad. En este diseño inicial se priorizó la funcionalidad y seguridad, asegurando que ambas opciones cumplan con las normativas vigentes y ofrezcan una experiencia eficiente y cómoda para los ciclistas. Además, esta propuesta busca sentar las bases para extender el proyecto a los tramos restantes, promoviendo así la movilidad activa y fortaleciendo la conectividad entre estas dos ciudades.

La metodología BIM (Building Information Modeling, por sus siglas en inglés) representa una transformación significativa en la manera en que se planifican, diseñan, construyen y gestionan los proyectos de infraestructura. A diferencia del enfoque tradicional de diseño basado en planos 2D, BIM permite la creación y gestión de modelos digitales tridimensionales que contienen información detallada sobre cada componente del proyecto, desde su geometría hasta sus propiedades físicas y funcionales. Este enfoque facilita la colaboración entre todos los actores involucrados en el proceso constructivo y permite una toma de decisiones más informada a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

La metodología Building Information Modeling (BIM) siendo proceso colaborativo orientado a la creación, gestión y visualización de modelos digitales que integran datos geométricos y no geométricos de un proyecto a lo largo de su ciclo de vida. En el contexto del diseño de ciclovías, su implementación permite optimizar la planificación, el análisis del terreno, el trazado geométrico y la gestión de la información desde la etapa conceptual hasta la ejecución y mantenimiento.

La aplicación de BIM en este proyecto se complementa con el uso de tecnologías geoespaciales avanzadas como el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) y los vehículos aéreos no tripulados (drones), los cuales permiten obtener datos precisos y actualizados del corredor vial. El dron se utiliza principalmente para realizar levantamientos topográficos mediante fotogrametría, generando ortomosaicos, modelos digitales del terreno (MDT) y nubes de puntos que sirven como base para modelar el entorno físico de la ciclovía. Por otro lado, el GNSS de alta precisión se emplea para georreferenciar puntos clave del alineamiento, validar cotas y garantizar la precisión del trazado geométrico.

Este enfoque integral permite desarrollar un modelo BIM preciso y confiable de la ciclovía, adaptado a las condiciones reales del terreno, lo cual facilita la detección temprana de conflictos, la evaluación de alternativas geométricas, el análisis del impacto urbano y la correcta planificación de la señalética vial, obras inducidas o cruces existentes. Además, se mejora la comunicación entre los actores del proyecto al contar con un entorno visual e informativo compartido, promoviendo una toma de decisiones más informada y eficiente.

La incorporación de BIM con herramientas como GNSS y drones representa un cambio significativo en la forma en que se diseñan y proyectan ciclovías, permitiendo soluciones más sostenibles, accesibles y seguras para los usuarios, alineadas con los principios de movilidad urbana inteligente.

La historia de la metodología BIM se remonta a la década de 1970, cuando se comenzaron a desarrollar los primeros conceptos de modelado paramétrico en el ámbito académico. Sin embargo, fue hasta los años 2000 que BIM empezó a consolidarse como una práctica común en el sector de la construcción, impulsado por el avance de las tecnologías digitales y la necesidad de mejorar la eficiencia y reducir los errores en los proyectos. Hoy en día, BIM es una herramienta ampliamente utilizada a nivel mundial y ha sido adoptada por múltiples gobiernos como requisito obligatorio en obras públicas, debido a sus múltiples beneficios en términos de control de calidad, tiempo y costos (Eastman et al., 2011).

Además de su importancia como herramienta tecnológica, la metodología BIM se ha consolidado como un enfoque colaborativo para la gestión de proyectos en todas sus fases. A diferencia de los métodos tradicionales donde la información suele estar fragmentada entre los distintos equipos de trabajo, BIM permite una integración total de los datos en una única base digital que evoluciona desde la planeación inicial hasta el mantenimiento del activo. Esta

capacidad de centralizar y coordinar información resulta especialmente valiosa en proyectos de infraestructura pública, como es el caso de las ciclovías, donde se requiere una comunicación eficiente entre diseñadores, urbanistas, ingenieros, autoridades locales y ciudadanía.

Uno de los beneficios más significativos del uso de BIM en proyectos urbanos es la detección temprana de interferencias. Gracias a la visualización tridimensional y a las herramientas de análisis, es posible identificar conflictos entre disciplinas antes de que se ejecuten en obra, lo que reduce significativamente los costos por modificaciones durante la construcción. Asimismo, permite realizar simulaciones de uso, circulación y comportamiento estructural, lo cual resulta útil para garantizar la seguridad del usuario y el cumplimiento de las normas técnicas. Otro aspecto relevante es la trazabilidad que ofrece BIM, permitiendo registrar cada decisión de diseño, cada cambio realizado y cada elemento construido, lo que aporta transparencia y mejora la rendición de cuentas.

En cuanto a la normativa aplicable, en México ha comenzado a integrar lineamientos relacionados con BIM en diversos organismos. Por ejemplo, el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED) ha adoptado esta metodología en proyectos escolares, y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público ha promovido su uso para la planeación de obra pública mediante lineamientos para el uso de tecnologías digitales. “A nivel internacional, estándares como la ISO 19650 y el PAS 1192 del Reino Unido ofrecen marcos de referencia para una implementación efectiva del modelado de información” (British Standards Institution, 2013; ISO, 2018). De igual manera, países latinoamericanos como Chile, Brasil y Colombia han desarrollado estrategias nacionales BIM, reconociendo su potencial para mejorar la infraestructura pública y la eficiencia de los recursos.

Por otra parte, es necesario profundizar en el diseño geométrico de ciclovías, el cual representa un componente esencial para garantizar su funcionalidad y seguridad. Este diseño no solo debe atender al trazado físico del recorrido, sino también a su integración con el entorno urbano y la conectividad con otros medios de transporte. La geometría de la ciclovía considera aspectos como la visibilidad, el confort del ciclista, la señalización adecuada, las condiciones del terreno y la interacción con vehículos motorizados y peatones. Un diseño mal ejecutado puede resultar en accidentes, desuso de la vía o en la necesidad de realizar costosas reconfiguraciones.

El Manual de Calles “Anexo No.4 ” establece parámetros específicos para el diseño de ciclovías en México, tales como el ancho mínimo recomendado (1.50 m por sentido), la separación física respecto a otros carriles, la pendiente longitudinal máxima (4% en tramos continuos) y la distancia mínima de visibilidad en curvas. Asimismo, se señala la importancia de considerar criterios de accesibilidad universal y conectividad urbana. Estas normativas permiten que el diseño cumpla no solo con requisitos técnicos, sino también con principios de equidad y sostenibilidad. Además, promueven una infraestructura ciclista incluyente, resiliente al cambio climático y que fomente estilos de vida saludables.

Las ciclovías pueden clasificarse en distintos tipos según su nivel de segregación respecto al tráfico motorizado. Las ciclovías segregadas están completamente separadas del resto del tráfico por medio de elementos físicos, como muros, jardineras o barreras. Las ciclovías en banqueta se construyen sobre las aceras, compartiendo espacio con peatones, mientras que los carriles compartidos o ciclo carriles permiten la circulación conjunta de bicicletas y automóviles, con señalización horizontal adecuada. La elección del tipo adecuado depende del flujo vehicular, el espacio disponible y el perfil urbano de la zona.

En el caso específico del tramo entre Tlaxcala y Apizaco, se identificaron dos tipos de tramos: uno sobre el muro del río Zahuapan y otro sobre un camino de terracería. Ambos representan desafíos distintos en cuanto a diseño geométrico. Por ejemplo, en el primer tramo se requiere verificar la resistencia estructural del muro, su ancho útil y las condiciones de seguridad lateral, mientras que en el segundo tramo deben evaluarse factores como el drenaje superficial, la compactación del suelo y la señalética preventiva. El uso de BIM permite modelar ambos escenarios con precisión, integrando estudios topográficos, cargas estructurales y visualización del entorno urbano. También facilita la gestión de fases constructivas, la planificación de recursos y la evaluación de impactos ambientales mediante simulaciones digitales.

La combinación de la metodología BIM con el diseño geométrico de ciclovías permite desarrollar soluciones más eficientes, seguras y sostenibles. La digitalización de los proyectos no solo facilita su diseño y ejecución, sino que también permite su mantenimiento a largo plazo mediante modelos digitales actualizables. Así, se logra una gestión inteligente de los activos urbanos, alineada con los objetivos de desarrollo sostenible y la transformación digital del sector de la construcción. Este enfoque representa una oportunidad para que las ciudades mexicanas modernicen su infraestructura y respondan con eficacia a los retos de movilidad, inclusión social y sostenibilidad ambiental del siglo XXI.

El diseño geométrico de las ciclovías no debe limitarse únicamente a cumplir con criterios técnicos, sino que debe estar enfocado en ofrecer una experiencia segura, cómoda y continua para los usuarios. Elementos como la calidad del pavimento, la iluminación nocturna, la señalización clara, la protección frente al tránsito motorizado y la percepción de seguridad influyen directamente en la decisión de utilizar la bicicleta como medio de transporte. Cuando el diseño es deficiente, la infraestructura ciclista puede ser ignorada o incluso generar situaciones de riesgo,

mientras que un diseño bien ejecutado se traduce en una opción atractiva y cotidiana para distintos sectores de la población, incluyendo estudiantes, trabajadores y personas adultas mayores. Este enfoque centrado en el usuario también implica reconocer que existen diferentes tipos de ciclistas, cada uno con necesidades específicas. Por ejemplo, los ciclistas recreativos pueden requerir zonas de descanso, mientras que los urbanos necesitan recorridos rápidos y eficientes, y los repartidores o ciclistas de carga valoran las rutas directas y seguras. Todos estos aspectos pueden ser anticipados desde la fase de diseño mediante simulaciones virtuales y análisis funcionales dentro del entorno BIM.

En el contexto urbano actual, las ciclovías se han consolidado como una pieza clave en la construcción de ciudades sostenibles. Diversos organismos internacionales, como la Organización Mundial de la Salud, han destacado que el desarrollo de infraestructura ciclista contribuye significativamente a reducir las emisiones contaminantes, mitigar la congestión vehicular y fomentar hábitos saludables entre la población. Esto, a su vez, repercute positivamente en los niveles de salud pública y en el aprovechamiento del espacio urbano. En línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 11 enfocado en ciudades y comunidades sostenibles, el diseño geométrico de ciclovías, apoyado por herramientas como BIM, debe contemplar una planeación estratégica que vaya más allá de lo estructural, incorporando una visión ambiental, social y tecnológica.

Uno de los elementos fundamentales para garantizar el éxito de una ciclovía es su integración con otros modos de transporte. Las rutas ciclistas deben enlazarse con estaciones de transporte público, nodos peatonales, espacios recreativos y centros escolares, lo que favorece trayectos intermodales y reduce la dependencia del automóvil. En este sentido, el uso del modelado BIM permite integrar datos de movilidad urbana, flujos peatonales y mapas de calor, generando

propuestas fundamentadas en evidencia que optimizan la conectividad del proyecto. Existen casos destacados a nivel internacional que han apostado por esta estrategia. Por ejemplo, ciudades como Ámsterdam o Bogotá han logrado consolidar redes de ciclovías altamente funcionales gracias a una planeación basada en datos y la participación activa de la ciudadanía. En Ámsterdam, el diseño responde a una jerarquía vial que da prioridad al ciclista, con cruces seguros y separación física del tránsito motorizado, mientras que, en Bogotá, donde existen más de 500 kilómetros de ciclorrutas, se han comenzado a implementar proyectos piloto utilizando modelado BIM como parte de su modernización.

El uso de la metodología BIM también ha abierto nuevas posibilidades en la gobernanza y participación ciudadana. Los modelos generados permiten visualizar el proyecto de forma clara y accesible antes de su construcción, facilitando procesos de consulta pública, toma de decisiones compartida y una mayor apropiación por parte de los usuarios finales. Al vincular los modelos 3D con plataformas digitales o incluso con realidad aumentada, se pueden presentar recorridos virtuales que muestran el funcionamiento esperado de la infraestructura, ayudando a prevenir errores y a mejorar la comunicación entre los distintos actores del proyecto. Asimismo, BIM puede integrarse con Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiendo generar mapas interactivos, reportes de mantenimiento y alertas sobre condiciones del pavimento, obstrucciones o daños.

A pesar de sus ventajas, el desarrollo de ciclovías enfrenta varios retos que deben ser abordados desde la fase de diseño. Entre los más frecuentes se encuentran la invasión por parte de vehículos motorizados cuando no existe una segregación física clara, la falta de mantenimiento que deteriora la infraestructura y disminuye la seguridad, la existencia de tramos inconexos que interrumpen el recorrido continuo del ciclista y la carencia de iluminación, especialmente en tramos urbanos donde la movilidad en horarios nocturnos es común. Todos estos problemas

pueden ser previstos y gestionados si se aprovechan correctamente las herramientas digitales, modelando escenarios de uso, simulando recorridos en distintos horarios y evaluando condiciones reales del entorno. Es ahí donde la metodología BIM se convierte en un aliado estratégico no solo en la planificación geométrica de la ciclovía, sino también en su operación, monitoreo y mantenimiento a largo plazo.

La integración de las ciclovías en el contexto urbano requiere un análisis exhaustivo de factores que van más allá del diseño geométrico. Uno de estos aspectos es la sostenibilidad ambiental, un principio clave que está tomando cada vez más relevancia en las ciudades del siglo XXI. Las ciclovías no solo sirven como infraestructura para fomentar el uso de la bicicleta, sino que también son una herramienta efectiva para reducir las emisiones de gases contaminantes, disminuir la dependencia del automóvil y mejorar la calidad del aire. Las infraestructuras verdes, como las ciclovías, contribuyen de manera significativa a la reducción de la huella de carbono de las ciudades, ayudando a mitigar los efectos del cambio climático y favoreciendo la biodiversidad. Además, la incorporación de vegetación en los tramos de ciclovía, como jardines y áreas verdes a lo largo de su recorrido, no solo mejora el paisaje urbano, sino que también reduce el impacto térmico, promoviendo un microclima más saludable para los ciclistas.

Dentro de la sostenibilidad, otro aspecto importante es la gestión del agua en el diseño de ciclovías. Las ciudades enfrentan retos relacionados con las inundaciones debido a la impermeabilización del suelo, lo cual aumenta el riesgo de daños en la infraestructura y afecta a los usuarios. Para mitigar este problema, se deben incorporar estrategias de drenaje sostenible en los diseños de ciclovías. Esto incluye el uso de pavimentos permeables, canales de drenaje pluvial integrados en el diseño y la reutilización de aguas pluviales. El uso de modelos BIM facilita la simulación y el análisis de los flujos de agua a lo largo de las rutas propuestas, lo que permite

optimizar las soluciones de drenaje y garantizar que la infraestructura no se vea afectada por eventos climáticos extremos.

Por otro lado, el concepto de resiliencia urbana también juega un papel fundamental en el diseño de las ciclovías. A medida que las ciudades crecen, se enfrentan a nuevos desafíos en términos de movilidad y sostenibilidad. Las ciclovías deben ser diseñadas no solo para resistir el paso del tiempo, sino también para adaptarse a las condiciones cambiantes del entorno urbano. Esto incluye considerar factores como la expansión de la población, el crecimiento del parque vehicular, los cambios climáticos y la evolución de las necesidades de los ciudadanos. Gracias a la metodología BIM, los diseños de ciclovías pueden ser evaluados para asegurar que sean resistentes al paso del tiempo y adaptables a posibles modificaciones a lo largo de su ciclo de vida. BIM permite realizar simulaciones que evalúan cómo las condiciones ambientales, el uso y el desgaste pueden afectar la infraestructura, facilitando así su diseño para que sea robusto y capaz de enfrentar futuros desafíos.

La seguridad vial es otro aspecto crucial en el diseño de ciclovías. Las estadísticas globales revelan que los accidentes de tráfico siguen siendo una de las principales causas de lesiones y muertes en las ciudades, y los ciclistas no están exentos de estos riesgos, los accidentes en ciclovías pueden ser significativamente reducidos mediante un diseño adecuado que incluya elementos de seguridad como barreras físicas, iluminación adecuada, señalización clara y visibilidad. En este sentido, el uso de modelos BIM permite evaluar diferentes opciones de seguridad, como las barreras físicas que separan a los ciclistas del tránsito motorizado, o los sistemas de semaforización adaptativa para mejorar la visibilidad y la seguridad en las intersecciones. Además, las simulaciones de tráfico y comportamiento de los ciclistas en los modelos 3D pueden anticipar puntos de riesgo y proporcionar soluciones de diseño para mitigarlos.

El también juega un papel fundamental en el éxito de las ciclovías. No se trata solo de una infraestructura que atienda las necesidades de los ciclistas, sino también de un espacio inclusivo que fomente la cohesión social. El diseño de las ciclovías debe tener en cuenta factores como la accesibilidad para personas con discapacidades, la integración con otras infraestructuras urbanas como paraderos de transporte público, espacios recreativos y centros comerciales, y la posibilidad de que sean utilizadas por diferentes grupos sociales, incluyendo niños, adultos mayores y personas en situación de vulnerabilidad. La participación comunitaria en el proceso de diseño es crucial para asegurar que la infraestructura sea utilizada y apreciada por todos los sectores de la población. Las plataformas basadas en BIM permiten incluir retroalimentación de la comunidad en tiempo real, facilitando la adaptación de los diseños a las necesidades locales.

Es importante señalar que el diseño de ciclovías debe considerar su interacción con el espacio público. La inclusión de infraestructura ciclista no debe generar fragmentación urbana, sino más bien contribuir a la cohesión de los espacios públicos. Las ciclovías bien diseñadas contribuyen a la mejora del espacio público al fomentar la movilidad activa, mejorar el acceso a áreas verdes y proporcionar nuevas áreas de recreo y convivencia. Las ciclovías pueden convertirse en una vía de transformación urbana, generando un espacio más dinámico, saludable y accesible, lo que contribuye a una mayor calidad de vida para los residentes.

Finalmente, la tecnología inteligente se está incorporando progresivamente en el diseño de ciclovías. Esto incluye el uso de sensores para medir la calidad del aire, la velocidad del tráfico o el número de ciclistas que transitan por un determinado tramo. Esta información, al ser integrada en el modelo BIM, permite realizar ajustes dinámicos en la infraestructura, mejorar la seguridad en tiempo real y optimizar el mantenimiento de las ciclovías. La digitalización del proceso de monitoreo y mantenimiento, facilitada por BIM, también permite realizar un seguimiento de las

condiciones del pavimento, detectar posibles daños de forma temprana y garantizar la continuidad del servicio a lo largo del tiempo.

El uso de la metodología BIM en el diseño de infraestructuras urbanas representa un cambio paradigmático que ha revolucionado la forma en que concebimos, diseñamos, ejecutamos y gestionamos proyectos de construcción. En el contexto específico del diseño de ciclovías, BIM no solo ofrece ventajas operativas y técnicas, sino que también se alinea con las necesidades más amplias de sostenibilidad, eficiencia, accesibilidad y seguridad, características fundamentales en la creación de espacios urbanos pensados para la movilidad activa. A medida que las ciudades del mundo entero avanzan hacia un modelo de urbanización más inteligente y sustentable, la integración de BIM en la planificación de infraestructura de transporte activo, como las ciclovías, es una respuesta fundamental a los retos de la modernidad.

El marco teórico desarrollado en este capítulo ha sentado las bases para comprender los principios, beneficios y aplicaciones de la metodología BIM en el diseño de ciclovías, un aspecto crucial para la movilidad urbana del siglo XXI. A lo largo de este análisis, hemos destacado cómo BIM permite una coordinación más eficaz de los diversos actores involucrados en el proyecto, asegurando que todos los aspectos del diseño y la ejecución estén alineados desde el inicio. Esto se traduce en una gestión más eficiente de los recursos, una mayor previsibilidad en los costos y tiempos de entrega, y una reducción considerable de los errores y omisiones durante el proceso constructivo. La capacidad de visualizar en 3D el proyecto antes de su ejecución permite a los diseñadores anticipar posibles interferencias y realizar ajustes en tiempo real, lo que no solo mejora la calidad final del proyecto, sino que también reduce los costos imprevistos durante la construcción.

Sin embargo, el verdadero valor de la metodología BIM radica en su capacidad para mejorar la colaboración entre los distintos actores del proceso, desde arquitectos, ingenieros y urbanistas hasta las autoridades gubernamentales y los ciudadanos. Este enfoque colaborativo y multidisciplinario permite un análisis exhaustivo de cada fase del proyecto y una toma de decisiones más informada y eficaz. A través de la digitalización y la integración de información, BIM también permite la creación de modelos más sostenibles, optimizando el uso de materiales, reduciendo la huella de carbono y minimizando el impacto ambiental de las obras de infraestructura. Este aspecto es especialmente relevante en el contexto de las ciclovías, cuyo diseño debe tener en cuenta factores como la integración con el paisaje urbano, el respeto al medio ambiente y la accesibilidad universal.

El diseño geométrico de ciclovías es un elemento clave en el desarrollo de un sistema de transporte urbano inclusivo y eficiente. Las ciclovías no solo deben responder a las necesidades del ciclista, sino también a las condiciones del terreno, la conectividad con otros medios de transporte y la seguridad vial. En este sentido, la metodología BIM facilita la simulación de diferentes escenarios de diseño, permitiendo evaluar el comportamiento de la infraestructura ante diversas condiciones de tráfico, climáticas y de uso. Esto es fundamental para crear un diseño que no solo sea seguro y eficiente, sino también flexible y adaptable a futuras modificaciones o ampliaciones.

La integración de la metodología BIM con las normativas locales e internacionales también juega un papel crucial en el diseño y ejecución de proyectos de ciclovías. En el caso de México, la normatividad aplicada en proyectos urbanos debe contemplar una serie de consideraciones técnicas y legales que garanticen que la infraestructura cumpla con los estándares de seguridad, accesibilidad y sostenibilidad. Las normativas de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y

Urbano (SEDATU), así como los lineamientos internacionales como los establecidos por la ISO, son fundamentales para garantizar que los proyectos no solo sean viables desde el punto de vista técnico, sino que también contribuyan al desarrollo de una infraestructura resiliente y adaptada a los retos del cambio climático.

En este sentido, el diseño geométrico de las ciclovías debe responder a principios fundamentales como la conectividad, la accesibilidad y la seguridad. La implementación de señalización adecuada, la elección de materiales y la integración con otras infraestructuras de transporte, como estaciones de autobús o de tren, son solo algunos de los aspectos que deben ser considerados en el diseño de estas vías. A través de BIM, es posible crear modelos digitales que incorporen estos elementos, garantizando que se cumpla con todos los requisitos técnicos y normativos, al tiempo que se facilita la gestión de las fases constructivas y la evaluación de los impactos ambientales y sociales del proyecto.

A lo largo de este trabajo se ha puesto de manifiesto la importancia de considerar los aspectos técnicos, normativos y funcionales en el diseño de ciclovías, pero también se ha destacado la necesidad de contar con un enfoque integral que contemple la participación de la comunidad y los actores sociales. El éxito de una ciclovía no solo depende de su diseño técnico, sino también de su aceptación por parte de los usuarios y de su integración en la vida diaria de la ciudad. Es por ello que el uso de BIM no debe limitarse únicamente a la fase de diseño, sino que debe extenderse a la gestión y mantenimiento de la infraestructura a lo largo de su ciclo de vida. Con la digitalización de los proyectos, es posible realizar un seguimiento continuo de la infraestructura, monitorear su estado y tomar decisiones informadas sobre su mantenimiento y mejora. Esto contribuye no solo a la sostenibilidad del proyecto, sino también a la creación de una infraestructura más eficiente y duradera.

En el caso de la ciclovía entre Tlaxcala y Apizaco, los retos y oportunidades derivados del uso de BIM son claros. La infraestructura que conecta estas dos ciudades debe ser diseñada con un enfoque que respete tanto las características geográficas del terreno como las necesidades de los ciclistas, sin perder de vista la viabilidad técnica y económica del proyecto. Al integrar BIM, se puede obtener un modelo detallado que contemple todos estos factores, lo que permite ajustar el diseño a las particularidades de la zona, garantizar la accesibilidad de la infraestructura y optimizar la distribución de los recursos. Además, la combinación de BIM con otras tecnologías como la fotogrametría y los estudios topográficos realizados con dron, permite obtener una visión más precisa y detallada del terreno, mejorando la toma de decisiones y la planificación del proyecto.

La metodología BIM, por tanto, no solo se presenta como una herramienta tecnológica avanzada, sino como un catalizador para la mejora de la calidad de vida urbana. Al promover la movilidad activa y la infraestructura ciclística, BIM contribuye a una transición hacia ciudades más sostenibles, resilientes y saludables, donde el transporte no motorizado juega un papel central en la configuración del espacio público. El diseño de ciclovías con la integración de BIM, en particular, representa una inversión en la sostenibilidad, la equidad social y la calidad del entorno urbano.

A medida que este proyecto avanza, se profundizará en los aspectos técnicos de la implementación de BIM, así como en los procesos constructivos específicos, las herramientas utilizadas para la simulación y modelado, y las estrategias adoptadas para superar los desafíos encontrados en el diseño y ejecución de las ciclovías. En los próximos capítulos, se abordarán también las fases de planificación detallada y ejecución, que incluirán la gestión de los recursos y la evaluación del impacto social y ambiental del proyecto. Asimismo, se discutirá la evolución de

las infraestructuras de movilidad en la región y cómo el uso de tecnologías avanzadas como BIM puede contribuir a la mejora continua de los sistemas de transporte urbano en Tlaxcala y Apizaco.

Finalmente, es importante reconocer que el camino hacia una infraestructura de transporte urbano más inclusiva y sostenible no está exento de desafíos. No obstante, la aplicación de la metodología BIM ofrece una respuesta innovadora y efectiva para abordar estos retos, brindando una herramienta poderosa para diseñar, construir y gestionar ciclovías que no solo sean funcionales y seguras, sino que también fomenten un cambio cultural hacia la movilidad no motorizada, apoyando la creación de entornos urbanos más saludables y sostenibles.

Este marco teórico ha establecido los cimientos sobre los cuales se basará el resto del proyecto, y las siguientes etapas permitirán explorar de manera más detallada las aplicaciones prácticas de BIM en el diseño de ciclovías y su implementación en el contexto específico de Tlaxcala y Apizaco. Se abrirá la puerta a una visión más concreta de cómo la tecnología puede transformar la infraestructura urbana, con un enfoque centrado en las personas y el respeto por el medio ambiente, con miras a lograr un futuro urbano más inclusivo y eficiente.

1.2 Antecedentes

En el estado de Tlaxcala, anteriormente existía una ciclovía que no cumplía con los estándares de calidad ni de seguridad necesarios para garantizar una movilidad eficiente y segura para los ciclistas. Esta infraestructura resulta deficiente, tanto en su diseño como en su gestión, lo que ocasionaba problemas recurrentes como la falta de mantenimiento, la señalización inadecuada y la integración deficiente con el resto de la red vial. Además, el espacio destinado para la ciclovía era reducido y no permitía una separación adecuada del tráfico vehicular, lo que exponía a los ciclistas a riesgos innecesarios. La gestión de este espacio no estaba bien coordinada, lo que resultaba en un uso ineficiente de los recursos y un incumplimiento de las necesidades reales de los usuarios. Esta situación evidenció la necesidad urgente de rediseñar y mejorar la infraestructura ciclista en la región, con el objetivo de promover una movilidad más segura y sostenible para los habitantes de Tlaxcala.

1.3 Quejas de la ciclovía anterior.

La ciclovía en Tlaxcala, inaugurada en 2020, tiene una extensión de aproximadamente 5 km y conecta varias de las principales zonas de la capital del estado. Este proyecto fue diseñado para fomentar la movilidad activa y sostenible, proporcionando una opción de transporte más ecológica y saludable. La ciclovía recorre importantes puntos de la ciudad, incluyendo la Plaza Xicohténcatl, la Plaza de la Constitución, la Plaza Bicentenario, el Mercado Municipal, el Parque Guillermo Valle, el Estadio Tlahuicole y la Fuente de los Bergantines, conectando diversos espacios de recreación, comercio y servicios.

Además de la infraestructura ciclista, el proyecto incluye la instalación de bici estacionamientos gratuitos en puntos estratégicos, mejorando la accesibilidad y seguridad para los ciclistas. La ciclovía también busca reducir la dependencia del transporte motorizado, contribuyendo a disminuir los niveles de contaminación ambiental y promoviendo hábitos más saludables entre la población. Con una inversión significativa, el proyecto contempla también mejoras en el pavimento y señalización de las calles, con el objetivo de optimizar la circulación y seguridad de todos los usuarios de la vía.

La implementación de la ciclovía en Tlaxcala no solo responde a la necesidad de mejorar la movilidad urbana y reducir el impacto ambiental, sino también a la de crear un sistema de transporte más accesible, saludable y eficiente para la comunidad. Con la rehabilitación de calles, la mejora en la señalización vial y la instalación de bici estacionamientos estratégicos, el proyecto ha avanzado hacia un modelo más sostenible y seguro. Este tipo de infraestructura es fundamental para lograr una transformación urbana que impulse el uso de la bicicleta y reduzca la dependencia del automóvil, lo que permite avanzar hacia una ciudad más conectada y amigable con el medio ambiente. Sin embargo, para maximizar la efectividad de este proyecto y garantizar su integración con las demás fases de planificación y ejecución de infraestructura, resulta crucial la adopción de metodologías avanzadas como la metodología BIM (Building Information Modeling). Esta metodología permite integrar información detallada y precisa desde el diseño hasta la construcción, mejorando la colaboración entre los diferentes actores del proyecto, optimizando recursos y garantizando la precisión en la ejecución.

1.4 Implementación de la metodología en la realización de la ciclovía del Estado de Tlaxcala.

El presente marco teórico se centra en los aspectos fundamentales para la implementación de la metodología BIM en el diseño geométrico de un tramo de ciclovía correspondiente a la primera etapa del proyecto Tlaxcala-Apizaco. Este enfoque innovador no solo permite optimizar el diseño y la coordinación interdisciplinaria, sino que también garantiza una infraestructura eficiente y segura que responda a las necesidades de los usuarios y las características del entorno.

Se abordan conceptos clave sobre movilidad activa, normativas aplicables y características de la infraestructura ciclista, estableciendo el contexto necesario para entender la importancia de este proyecto. Además, se detalla el uso de tecnologías avanzadas como el escaneo LiDAR, la fotogrametría con drones y los levantamientos GNSS, integradas al modelo BIM, que fortalecen la precisión y eficacia del diseño geométrico.

También se analiza cómo la metodología BIM se convierte en una herramienta central del proyecto, permitiendo una gestión integral de la información, la detección temprana de conflictos y la optimización de recursos. Este marco teórico establece las bases para comprender la relevancia del proyecto como ejemplo de innovación en infraestructura ciclista y movilidad activa en la región.

En este marco, resulta imprescindible incorporar el análisis del marco normativo aplicable, el cual constituye un componente esencial para la planificación, diseño y ejecución de infraestructura ciclista. La observancia de la normativa vigente en los ámbitos federal, estatal y municipal no solo asegura el cumplimiento de los requisitos legales, sino que también establece parámetros técnicos mínimos en materia de seguridad vial, accesibilidad, movilidad sustentable y calidad constructiva. De manera subsecuente, se detallan las disposiciones normativas que regulan

la implementación de ciclovías en el Estado de Tlaxcala, las cuales deben ser consideradas como referencia obligatoria en el desarrollo del proyecto.

Normativa federal

La **Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano** se reformó para obligar a autoridades federales, estatales y municipales a promover la construcción de ciclovías y carriles exclusivos para bicicletas, como parte de la planificación urbana y movilidad activa

La NOM-004-SEDATU-2023, aplicable en todo México, establece criterios técnicos obligatorios para diseño de vías urbanas, incluyendo ciclovías: especifica pendientes máximas, superficies antideslizantes, segregación de tráfico, dimensiones según velocidad y volumen vehicular, entre otros requisitos de seguridad

“Se pretende que las autoridades federales, estatales y municipales promuevan la construcción de ciclovías y la designación de un carril exclusivo para bicicletas e impulsar el uso de vehículos no motorizados” (NOM-004-SEDATU-2023, Estructura y diseño para vías urbanas. Especificaciones y aplicación, 2024)

Normativa estatal (Tlaxcala)

La **Ley de Movilidad y Seguridad Vial del Estado de Tlaxcala** reconoce el derecho de ciclistas a una movilidad segura, preferencial y a infraestructura adecuada (ciclovías, estacionamientos, bici-escuelas, transporte público con aditamentos para bicicletas)

También establece obligaciones: uso de aditamentos visibles, señalización manual para giros o frenado, prohibición de uso de móvil mientras se circula, mantenerse en carril derecho, casco para menores

(Ley de Movilidad y Seguridad Vial del Estado de Tlaxcala, n.d.)

Normativa municipal

El **Reglamento de Tránsito del Municipio de Tlaxcala**, vigente desde al menos 2015, regula aspectos como: obligación de portar casco, respeto a carriles destinados a ciclistas, dispositivos de seguridad (casco, espejos), y la promoción de infraestructura ciclista condicional a la autorización municipal

Además, en la capital (Tlaxcala ciudad) se introdujo un nuevo reglamento vial que prohíbe estacionarse sobre ciclovías y penaliza su obstrucción con multas de hasta 20 UMA (unos $\approx$ 1,628–4,342 pesos según infracción) (Diario Oficial de la Federación, n.d.).

El proyecto está completamente rodeado de tecnología, desde la capacitación, hasta la realización, pero por una metodología, que en el estado de Tlaxcala es muy poco aplicable, se menciona el estado de Tlaxcala ya que será sede de la realización del proyecto como zona principal y para eso debemos entender que es la metodología BIM

Como ejemplo me gustaría destacar la construcción del Aeropuerto Internacional Hamad en Doha, Qatar ya que es una gran obra en la que fue ya que destacan puntos importantes en los que podemos guiarnos para una futura construcción de gran magnitud, porque nos ayuda a tomar en cuenta muchos detalles y puntos, para un mejor seguimiento de obra

“el Aeropuerto Internacional Hamad demuestra cómo la implementación efectiva de BIM puede mejorar significativamente la eficiencia y la efectividad de la planificación de la construcción. Sin duda, este caso es una inspiración y un modelo a seguir para arquitectos y profesionales de la construcción en todo el mundo.” (ZIGUART INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2023)

La metodología ayudo con una colaboración de todos los encargados de la obra, esta colaboración género que la perdida de datos fuera mínima y así todos estuvieran enterados de los cambios que se realizan, que es el punto más importante, ayudo a generar modelos 3D antes de su construcción y esto para no generar gastos innecesarios y entender cuáles serían los conflictos que se podrían encontrar en el proyecto, y desde ese momento buscar soluciones, también con las nuevas tecnologías la cuantificación de materiales sería más exacta ayudando a reducir desperdicios innecesarios y con muchos softwares y herramientas podríamos enfocarnos en el medio ambiente y el impacto que tendría en la zona.

1.5 Tipos de ciclovías

“Ciclo banda: Se pintan líneas del lado derecho que marcan el área exclusiva de la ciclovía

Contra el tránsito: La circulación de bicicletas es contraria a la de los vehículos. Ciclo

banda: Está visiblemente diferenciada y separada físicamente de los autos por algún pabellón

Intersecciones: Para no aumentar o modificar la infraestructura, se pintan Bike Boxes

Camellones: Se dejan rampas en los cruceros y se obliga a los ciclistas a utilizar los mismos semáforos que los autos.

Paralelas: Separadas de las carreteras con acceso a las ciudades, es decir, que son su propia infraestructura y siguen rutas exclusivas y totalmente seguras.

Signos, marcas y señales viales: Sirven principalmente para reducir accidentes, maniobras imprevistas y ansiedades.² (Desarrollos, 2020).

Nuestra ciclovía entra en la categoría de paralelas, Una ciclovía paralela es una infraestructura para bicicletas que se construye siguiendo el trazado de una vía principal, como una carretera o avenida, pero con una separación física que protege a los ciclistas del tránsito vehicular. Su diseño está orientado a garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios, mientras se mantiene una cercanía funcional con la vía principal.

Características principales de una ciclovía paralela

Ubicación: Corre a lo largo de una vía principal, pero en un carril separado o en un espacio exclusivo, como una banqueta ampliada o una franja adyacente.

Separación física: Se puede lograr mediante bordillos, franjas verdes, barandales o cualquier elemento que delimite el espacio para los ciclistas.

Conexiones: Suele estar diseñada para facilitar accesos a puntos clave, como cruces peatonales, intersecciones y entradas a zonas urbanas o rurales.

1.6 Clasificación de los tramos de la ciclovía

Ubicación:

Primer tramo:

La ciclovía inicia junto al recinto ferial, en la calle, Blvd Leonarda Gómez Blanco, sobre un muro junto al río, delimitado por una banquetta y un carril de autos, hasta el parque lineal ubicado antes de cruzar el puente Av. Juárez de Tizatlán.

Clasificación: Este tramo puede categorizarse como una ciclovía paralela debido a su diseño cercano a una vía vehicular, con una separación física que protege a los ciclistas. La ubicación sobre un muro y junto al río también le confiere un carácter segregado.

Particularidad: Combina características de una ciclovía paralela y una segregada, priorizando la seguridad del ciclista al mantener una barrera entre el tráfico vehicular y el entorno natural.

Segundo tramo:

Ubicación: Calle sin nombre iniciando en la parte de atrás de Hotel Jeroc's, hasta llegar al molinito en calle ribereña junto al río, Sobre una calle exclusiva para bicicletas, sin tránsito vehicular.

Clasificación: Este tramo se clasifica como una ciclovía recreativa o exclusiva, ya que se encuentra en una zona dedicada exclusivamente al tránsito de bicicletas, sin compartir espacio con vehículos motorizados.

Particularidad: Este diseño permite un flujo seguro y eficiente de ciclistas, ideal para promover el uso recreativo y funcional de la bicicleta.

"La ciclovía diseñada en el corredor Tlaxcala-Apizaco presenta una tipología mixta en sus tramos. El primer tramo se clasifica como una ciclovía paralela, debido a su ubicación adyacente a un carril vehicular, con delimitación física mediante una banquetta y su disposición sobre un muro junto al río. Esta configuración prioriza la seguridad del ciclista al separar el tráfico motorizado. Por otro lado, el segundo tramo corresponde a una ciclovía exclusiva, dado que transita por una calle sin tránsito vehicular, proporcionando un espacio dedicado para el uso recreativo y funcional de las bicicletas. Esta tipología mixta refleja una integración adecuada al entorno y a las necesidades de conectividad del proyecto."

1.7 Ciclovías y bicicletas

La bicicleta, como medio de transporte, ofrece una alternativa ecológica y saludable frente al uso de vehículos motorizados. Su adopción contribuye significativamente a la reducción de la huella de carbono y la congestión urbana, al mismo tiempo que promueve un estilo de vida activo y saludable. Al ser accesible, económica y fácil de mantener, la bicicleta se adapta a diversos entornos y necesidades, favoreciendo la movilidad en áreas urbanas densas y ofreciendo una solución eficaz para la conexión entre puntos cercanos. Además, al no depender de combustibles

fósiles, se convierte en una opción clave para el desarrollo de ciudades más sostenibles y menos contaminadas.

La implementación de infraestructura adecuada para ciclistas, como las ciclovías, fomenta el uso de la bicicleta al ofrecer un espacio seguro y separado del tráfico motorizado. Esto no solo aumenta la cantidad de personas que eligen la bicicleta como medio de transporte, sino que también reduce el riesgo de accidentes para los ciclistas.

El uso de la bicicleta en la Ciudad de México y su área metropolitana (ZMVM) ha crecido de forma importante en la última década, lo cual ha beneficiado a miles de personas. (Manuel Landin, 2018)

Esto se puede comprobar comparando los datos de la Encuesta Origen Destino (EOD) 2007 y 2017, que dan cuenta de su incremento.¹ (Manuel Landin, 2018)

1.8 Integración de ciclovías a medios de transporte

La integración de ciclovías como medio de transporte urbano es la oportunidad para promover un modelo de movilidad más sostenible; la creación de rutas seguras y separadas del tráfico vehicular, facilita el uso de la bicicleta, ofreciendo una alternativa eficiente y económica al transporte motorizado. Esto contribuye a la reducción de la congestión, la contaminación del aire y el ruido, mejorando la calidad de vida en las ciudades.

Además, las ciclovías promueven la salud pública al incentivar la actividad física diaria, reduciendo los riesgos asociados con el sedentarismo. Su implementación no solo mejora la conectividad entre puntos clave de la ciudad, sino que también facilita la accesibilidad a diferentes

áreas, creando entornos urbanos más sostenibles y equitativos. De esta manera, las ciclovías se posicionan como una herramienta clave para el desarrollo de ciudades más habitables y con menor impacto ambiental.

La creación de infraestructura ciclista de excelencia sumada a la demanda por un mejor ambiente y mejores formas de movilidad generará un cambio de cultura y hábitos que repercutirán en mejoras sustanciales en la vida diaria de los habitantes de la Ciudad de México. “De acuerdo con los datos de coordinación de vinculación y proyectos especiales. (COORDINACIÓN DE VINCULACIÓN Y PROYECTOS ESPECIALES)...”

1.9 Beneficios de la adaptación de la ciclovía para la conexión de dos urbes

La adaptación de ciclovías para conectar dos urbes ofrece múltiples beneficios en términos de movilidad y sostenibilidad. Al establecer una red de ciclovías entre ciudades, se facilita un transporte más ágil y económico, permitiendo a los usuarios desplazarse de manera rápida y segura sin depender del tráfico vehicular. Esto no solo reduce la congestión urbana, sino que también disminuye las emisiones contaminantes, contribuyendo a mejorar la calidad del aire en ambas urbes.

Además, la conexión de ciclovías entre ciudades fomenta la integración social y económica, al facilitar el acceso a diferentes áreas y servicios, como centros de trabajo, escuelas y comercios. Esto mejora la conectividad entre regiones, potenciando la movilidad activa y reduciendo la dependencia de vehículos motorizados. Al mismo tiempo, se promueve un estilo de vida más saludable y sostenible, con un menor impacto ambiental, lo que refuerza el compromiso con el desarrollo urbano responsable.

- Reducción de la congestión vehicular: Las ciclovías proporcionan una alternativa de transporte eficiente, disminuyendo la cantidad de vehículos en las carreteras y reduciendo el tráfico.
- Mejora de la calidad del aire: Al fomentar el uso de la bicicleta en lugar de vehículos motorizados, se disminuyen las emisiones de gases contaminantes, contribuyendo a un entorno más limpio.
- Impulso a la economía local: La conexión de ciclovías facilita el acceso a áreas comerciales y turísticas, beneficiando a negocios locales y fomentando el turismo en ambas urbes.
- Fomento de la salud pública: Promover el uso de la bicicleta como medio de transporte activo contribuye a reducir problemas relacionados con el sedentarismo, mejorando la salud de los habitantes.
- Accesibilidad y conectividad: Las ciclovías interurbanas mejoran la conexión entre zonas urbanas y rurales, facilitando el acceso a diferentes servicios y fomentando la inclusión social.
- Reducción de costos en infraestructura vial: La creación de ciclovías es una opción más económica en comparación con la expansión de infraestructuras viales para vehículos motorizados.
- Desarrollo sostenible: Las ciclovías contribuyen a un modelo de transporte más sostenible, reduciendo la huella de carbono y promoviendo una ciudad más amigable con el medio ambiente.

- Estímulo a la inversión y el crecimiento urbano: Las ciudades que promueven el uso de bicicletas suelen ser más atractivas para inversores y residentes, lo que fomenta un desarrollo urbano más saludable y equilibrado.

La adaptación de ciclovías para conectar dos urbes también tiene un impacto positivo en la economía local y regional. Al facilitar el acceso a distintas zonas, se impulsa el flujo de personas hacia áreas comerciales y turísticas, lo que beneficia a pequeños negocios y fomenta el turismo. Además, al ofrecer una alternativa de transporte segura y eficiente, se reduce la demanda de infraestructuras viales costosas y el mantenimiento de redes de transporte motorizado, lo que representa un ahorro para las autoridades locales. Esta infraestructura también atrae inversiones al promover ciudades más sostenibles y atractivas para la vivienda y el trabajo. El incremento de la demanda ciudadana evidencia la utilidad de este tipo de infraestructura. Los datos que presenta el documento “La Ciclovía Insurgentes: un análisis social para su permanencia” muestran de manera irrefutable la necesidad de generar acciones y alternativas de movilidad (Huber, 2020)

La ciclovía paralela propuesta en el corredor Tlaxcala-Apizaco integra una infraestructura que promueve la seguridad y comodidad de los ciclistas al ofrecer un espacio segregado del tráfico vehicular. Con un diseño que garantiza la protección de los usuarios y la conectividad entre diversas áreas urbanas y rurales, esta infraestructura no solo fomenta la movilidad activa y sostenible, sino que también reduce los riesgos asociados al uso de la bicicleta en vías mixtas.

Ahora bien, para lograr una mejor planificación y ejecución de este tipo de proyectos, resulta fundamental contar con herramientas que permitan visualizar y optimizar el diseño de la

ciclovía en su contexto urbano. Es aquí donde entra la implementación de un modelado 3D, que proporciona una representación precisa y detallada de la infraestructura propuesta, permitiendo no solo una mejor visualización, sino también una simulación de flujos y conectividad con otros medios de transporte.

1.10 Metodología BIM (Building Information Modeling)

BIM es una metodología de trabajo colaborativa y en tiempo real para la gestión de proyectos constructivos. A través de herramientas de software para modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, BIM logra centralizar toda la información de un proyecto en un único modelo. “De acuerdo con la información de (Drago, 2024)...”

BIM (Building Information Modeling) es un enfoque que facilita la creación de un modelo digital en 3D de un proyecto de construcción o infraestructura, integrando información clave como materiales, dimensiones, costos, tiempos y especificaciones técnicas. Este modelo no solo ofrece una representación visual, sino que también incluye datos detallados de cada elemento, como el tipo de material, sus propiedades y los requerimientos de mantenimiento.

Una de las principales ventajas de BIM es que promueve la colaboración entre todos los participantes del proyecto (arquitectos, ingenieros, contratistas, etc.), permitiendo que trabajen sobre el mismo modelo, realicen actualizaciones e identifiquen posibles problemas antes de que ocurran, lo que contribuye a reducir errores y retrabajos.

Durante todo el ciclo de vida del proyecto, BIM facilita la gestión del diseño, la construcción y la operación, proporcionando una herramienta valiosa para tomar decisiones más acertadas y optimizar el uso de recursos y tiempos. BIM revoluciona la forma en que se planifican,

diseñan y gestionan los proyectos, incrementando la eficiencia y precisión en cada fase, aunque como todo, una metodología de aplicación nueva debe tener ventajas y desventajas, pero debemos aprender a trabajar con ellas para mayor facilidad y entender porque se generan, algunas ventajas y desventajas.

Ventajas:

- “1. Mejor planificación y diseño.
- 2. Cambios de diseño fáciles.
- 4. Prefabricación.
- 5. El software gratuito está disponible.
- 6. Información de por vida para el usuario final.” (Lucas, 2022)

“En ocasiones, puede parecer que la metodología BIM presenta más desventajas que ventajas, pero este sistema provee a las empresas constructoras de suficiente margen de planificación y detalle para gestionar los proyectos en construcción” (Maragall, 2022)

La tecnología es un herramienta que debemos saber aprovechar, algunos nos quedamos con la idea de que en la construcción todo es artesanal y no podemos aplicar la tecnología, pero no solo en la construcción final es cuando se aplica, la construcción lleva varios procesos y ahí es donde nosotros podemos implantarlo, en esta caso desde el modelo, nosotros no realizáremos la construcción de la ciclovía, solo será un diseño, para el cual se hizo el uso de la metodología, se requirió de un equipo GNSS para el levantamiento topográfico, un dron georreferenciado y con LiDar para la realización, así como softwares de gran amplitud para la lectura de datos,

procesamiento de imágenes y creación de modelo 3d, un modelo real de la zona de estudio, para después ocupar programas de modelado 3d para diseñar y cuantificar la estructura.

Desventajas:

“1. Software de modelado.

1. Capacitación y personal.

2. Confianza y cooperación.

3. Compromiso del cliente.” (Lucas, 2022)

“Una de las desventajas del software BIM para la construcción es que requiere una primera inversión sustancial en el software para transformar su metodología de empresa. Es decir, el cambio del modelo tradicional al sistema BIM requiere de una estrategia de implementación que supone gastos en formación” “De acuerdo a la información de Maragall (Maragall, 2022)...”

Una de las desventajas es que la falta de información y capacitación para todos los equipos y softwares que se necesitaran para el modelado del proyecto, al ser tecnología tan precisa se debe comprender como es que funciona, debemos programar correctamente todos los equipos con los que se va a trabajar, también ubicar la zona de estudio en la que se realiza el proyecto, entender cómo podemos generar errores si no tomamos en cuenta todos estos factores en equipos tan precisión ya que cualquier dato mal ingresado por no conocer la zona, generara un reporte deficiente, también una mala geolocalización siendo el caso. La metodología BIM, al centralizar la gestión de datos y optimizar la coordinación entre disciplinas, depende de la precisión de la información inicial para garantizar la calidad de los modelos tridimensionales. Es en este punto

donde los levantamientos topográficos adquieren un papel crucial, ya que proporcionan la base geométrica y altimétrica que sustenta el desarrollo del proyecto. Gracias a tecnologías avanzadas como GNSS, drones con LiDAR y herramientas de fotogrametría, los levantamientos topográficos no solo ofrecen datos precisos del terreno, sino que también se integran directamente en plataformas BIM, asegurando una representación detallada y exacta del entorno físico en el que se llevará a cabo la obra.

1.11 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

En el presente capítulo se expone el procedimiento metodológico adoptado y las actividades desarrolladas para la elaboración del proyecto de diseño de la ciclovía, empleando la metodología BIM (Building Information Modeling) como eje central en la gestión de la información. Durante las distintas fases del proyecto se aplicaron niveles progresivos de desarrollo (LOD, por sus siglas en inglés), con el propósito de asegurar la precisión, coherencia técnica y eficiencia en la generación del modelo digital, desde la etapa de diseño preliminar hasta la preparación del modelo constructivo detallado.

La implementación escalonada de los LOD no solo contribuyó a una gestión optimizada de tiempos y recursos, sino que también favoreció la integración interdisciplinaria en un entorno colaborativo. Estos niveles constituyen una secuencia estructurada en el grado de definición del modelo, iniciando con el LOD 100 en la etapa conceptual, orientado a la exploración de alternativas de trazo, hasta alcanzar los niveles LOD 300 y 350, que permiten definir con mayor precisión la geometría del proyecto y garantizar la coordinación técnica de los componentes constructivos involucrados.

Cada nivel de desarrollo (LOD) implementado en el presente proyecto ha desempeñado un papel fundamental en la identificación temprana de interferencias, la mejora en los flujos de comunicación entre disciplinas y la validación del cumplimiento de los estándares establecidos en materia de calidad, seguridad y accesibilidad para infraestructura ciclista. Esta estrategia metodológica ha facilitado, además, la incorporación de tecnologías avanzadas, tales como escaneo LiDAR, fotogrametría aérea mediante drones y levantamientos con sistemas GNSS, cuyos datos geoespaciales de alta resolución permitieron generar un modelo digital altamente representativo del entorno físico del proyecto.

Para el desarrollo de este proyecto, se llevaron a cabo una serie de actividades complejas y coordinadas, cada una con su propia importancia y requisitos. La intención principal de este proyecto es poder explicar de manera clara y ordenada los pasos que se siguieron durante su ejecución, destacando las decisiones clave tomadas en cada fase. A lo largo del proceso, se ha priorizado la optimización de los recursos y el tiempo, con el fin de garantizar una implementación eficiente y exitosa. Este documento busca detallar los momentos en los que fue crucial enfocar esfuerzos en actividades específicas y aquellos en los que fue necesario priorizar determinadas tareas, permitiendo que el proyecto se realice de la mejor manera posible. Al presentar estas actividades, se proporcionará una guía útil para entender cómo organizar y planificar proyectos similares, haciendo hincapié en la importancia de una adecuada gestión de tiempos y recursos, así como en la coordinación entre las distintas fases de trabajo.

Desde el inicio del proyecto, las primeras semanas se dedicaron a la capacitación del equipo de trabajo, lo cual fue una etapa crucial para asegurar que todos los miembros comprendieran el funcionamiento de los equipos y las herramientas necesarias para el desarrollo exitoso del proyecto. La capacitación no solo abarcó el manejo de equipos técnicos, sino también el

conocimiento específico de las aplicaciones de estos equipos en el campo. Al tratarse de un proyecto enfocado en levantamientos topográficos y modelado 3D, fue fundamental adquirir conocimientos sobre el uso de equipos GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) y drones, herramientas esenciales para capturar datos precisos de la zona de intervención.

El GNSS es utilizado para obtener coordenadas geográficas exactas, lo que es indispensable para los levantamientos topográficos. Por otro lado, el uso del dron permite obtener imágenes aéreas de alta resolución que, procesadas adecuadamente, contribuyen a crear modelos 3D detallados del terreno. Además, se capacitó en el manejo de software especializado como Agisoft y Pix4D, que permiten procesar y analizar los datos obtenidos mediante estos equipos. Estos programas son clave para leer y transformar los datos capturados en modelos 3D y ortofotos, lo cual facilita la visualización, planificación y diseño de la ciclovía de manera precisa y eficiente.

A través de esta capacitación, se pudo fortalecer el entendimiento técnico sobre el manejo de herramientas avanzadas, lo cual resultó esencial para el avance del proyecto. La correcta utilización de estas tecnologías y software permitió asegurar la calidad y precisión de los datos obtenidos, los cuales son fundamentales para la creación de modelos 3D detallados y la planificación del trazado de la ciclovía, contribuyendo así al éxito del proyecto.

Una vez concluida la capacitación en el manejo de los equipos topográficos, se nos otorgó un periodo de práctica para familiarizarnos con su funcionamiento y optimizar su uso en las actividades del proyecto. Durante este tiempo, consideré esencial realizar ejercicios en un campo abierto y extenso, lo que me permitió explorar de manera práctica las capacidades y limitaciones del equipo en condiciones reales de trabajo.

En esta etapa, uno de los principales objetivos fue identificar y aplicar diferentes nomenclaturas para clasificar y diferenciar los objetos registrados en el levantamiento topográfico. Este proceso no solo facilitó la organización y correcta interpretación de los datos, sino que también me permitió establecer un criterio claro y sistemático para futuras mediciones.

Adicionalmente, dediqué tiempo a evaluar el rango máximo y óptimo de operación del equipo, lo cual es fundamental para garantizar su eficiencia en áreas de gran extensión o con posibles obstrucciones. A través de estas pruebas, pude determinar la distancia ideal entre puntos de control, así como los límites de precisión del equipo en situaciones específicas.

Otro componente relevante del proceso fue la revisión y validación de los parámetros técnicos proporcionados por el equipo de medición, con el fin de asegurar la calidad de los datos topográficos obtenidos. Dichos parámetros entre ellos, la precisión horizontal y vertical, el tiempo de captura y la estabilidad de la señal fueron fundamentales para verificar si los puntos levantados cumplían con los estándares técnicos establecidos o si era necesario repetir determinadas mediciones para garantizar su fiabilidad.

Este proceso de análisis y familiarización con el equipo permitió no solo adquirir un dominio técnico en su operación, sino también establecer una metodología eficiente para la ejecución de levantamientos topográficos. La aplicación sistemática de estos procedimientos asegura que los datos recolectados en campo sean precisos, consistentes y técnicamente adecuados para su integración posterior en el modelado tridimensional y en el diseño geométrico del proyecto.

Una vez que adquirí un conocimiento más profundo en el manejo del equipo topográfico, realicé un recorrido a pie sobre el primer tramo en el que se desarrollaría el proyecto. Esta caminata tuvo como objetivo realizar un reconocimiento preliminar del área, identificando elementos

relevantes relacionados con la topografía y las características físicas del entorno. Durante el recorrido, me enfoqué en observar y documentar aspectos clave como la presencia de árboles, accesos peatonales y vehiculares, puentes, tomas de agua, tipos de postes, áreas verdes, rutas de acceso y cualquier otro elemento que pudiera influir de manera positiva o negativa en el desarrollo del proyecto.

Para asegurar un registro ordenado y completo de la información recopilada, fui anotando todos estos hallazgos en una bitácora de trabajo. Este método resultó ser eficiente, ya que facilitó la organización de las observaciones y me permitió contar con una referencia detallada para su análisis posterior.

Al regresar a la oficina, el primer paso fue elaborar una lista exhaustiva de los objetos relevantes que había identificado durante la caminata. A partir de esta información, desarrollé un sistema de nomenclaturas personalizado, en el cual clasifiqué más de 60 objetos diferentes. La finalidad de este sistema fue optimizar el proceso de levantamiento topográfico, asignando una nomenclatura específica a cada objeto identificado.

Este método permitió agilizar el trabajo en campo, ya que, al incorporar las nomenclaturas en el equipo topográfico, no fue necesario escribir el nombre completo de cada elemento, evitando así pérdidas de tiempo y posibles errores. Además, esta sistematización facilitó el procesamiento de los datos en el software especializado, como Civil 3D, asegurando que la información fuera organizada, clara y libre de saturación de texto, lo que contribuyó a una interpretación más eficiente y ordenada del modelo digital resultante.

En concordancia con la metodología adoptada, se consideró pertinente la inclusión de referencias normativas que respaldan el enfoque técnico del proyecto, particularmente aquellas

relacionadas con la gestión de la información en entornos BIM. En este sentido, se integraron citas en formato APA correspondientes a la *Guía BIM para Infraestructura*, documento que proporciona lineamientos estratégicos para la implementación del modelado digital en proyectos de obra pública, así como a la norma internacional *ISO 19650*, que establece los principios y requisitos para una gestión estructurada de la información durante todo el ciclo de vida de los activos. La incorporación de estos marcos normativos no solo fortalece la validez técnica del trabajo desarrollado, sino que también garantiza su alineación con estándares internacionales en materia de digitalización y coordinación interdisciplinaria en infraestructura.

“ Con el fin de mejorar la calidad y eficiencia en el desarrollo de las inversiones públicas a nivel nacional, se vienen desarrollando medidas para implementar de manera progresiva la metodología BIM” “De acuerdo con Guía técnica BIM para edificaciones e infraestructura (Pamela & Bryan, 2023).…”

Como norma internacional, cumplir con la ISO 19650 garantiza que usted y sus partes interesadas, independientemente del lugar en el que operen, puedan colaborar y beneficiarse de procesos consistentes de gestión de la información. “De acuerdo con Information management according to BS EN ISO 19650 (Information management according to BS EN ISO 19650, 2020).…”

1.12 Implementación del LOD 100

“100 LOD

Es la etapa de prediseño de LOD.

El elemento LOD 100 es un modelo conceptual donde se definen los parámetros como altura, área, volumen, orientación y ubicación.

La información en esta etapa se considera como una aproximación.” “De acuerdo con los datos de monarch innovation (MONARCH INNOVATION, s.f.)...”

En esta etapa inicial, se implementó el LOD 100, que corresponde al nivel conceptual dentro de la metodología BIM. Este nivel se caracteriza por representar de manera general los elementos y su ubicación aproximada, permitiendo establecer las bases del diseño sin entrar en detalles específicos. En el caso de la ciclovía, el LOD 100 se utilizó para trazar un diseño preliminar a través de herramientas como Google Earth, donde se definieron las rutas óptimas y se identificaron posibles restricciones en el terreno, como árboles, accesos limitados e infraestructura existente. Este enfoque conceptual facilitó la toma de decisiones y sirvió como punto de partida para un diseño más detallado en etapas posteriores. El LOD 100 permitió visualizar de manera inicial el alcance y las características generales del proyecto, sirviendo como guía para identificar las condiciones generales del terreno y las necesidades preliminares de la ciclovía. A este nivel, los elementos no contienen especificaciones detalladas, pero ofrecen una base suficiente para analizar la viabilidad del proyecto y explorar distintas alternativas de diseño. Este enfoque fue clave para establecer un esquema básico que posteriormente se detallará en los siguientes niveles de desarrollo, integrando información más precisa y acorde a las condiciones reales del sitio.

De esta manera, la planificación previa y la creación de un sistema estructurado de nomenclaturas resultaron ser una herramienta clave para garantizar la precisión y eficiencia en la etapa de levantamiento topográfico, sentando las bases para el desarrollo adecuado del proyecto.

Con base en esta observación, tracé un diseño aproximado en el que consideré los anchos necesarios para la ciclovía y otros detalles esenciales. Realicé este trazo a una escala que me permitiera visualizarlo claramente, para posteriormente imprimir los planos. Estos primeros borradores no fueron más que un esquema básico de lo que podría ser el trazado de la ciclovía, pero resultaron fundamentales para evitar llegar al proyecto sin una idea concreta del recorrido.

El propósito de este paso fue generar una guía preliminar que me ayudara a ahorrar tiempo en las etapas posteriores, ya que, de no haberlo hecho, tendría que haber realizado todo el trabajo de trazado en campo, lo que hubiese implicado más tiempo y recursos. Al contar con estos primeros borradores, pude tener una referencia sobre el posible diseño y optimizar los siguientes pasos, enfocándome en detalles más específicos y en la resolución de posibles inconvenientes a lo largo del recorrido.

A medida que desarrollaba el trazo preliminar, me di cuenta de la importancia de anticipar posibles obstáculos que podrían surgir en el terreno durante la construcción. Por ejemplo, identifiqué áreas donde la topografía podría necesitar modificaciones para asegurar la accesibilidad, como pendientes pronunciadas o zonas inundables cerca del río. Además, utilicé el software de Google Earth para comparar el trazado propuesto con las imágenes satelitales más actualizadas, lo que me permitió tener una visualización precisa del entorno y ajustar el diseño a las condiciones reales del terreno. Esto también facilitó la identificación de conexiones con otras rutas de transporte y la integración de la ciclovía con los elementos urbanos circundantes, como parques, caminos secundarios y accesos peatonales.

Con estos ajustes en mente, pude realizar una versión más detallada del trazado, incorporando medidas específicas para la seguridad de los ciclistas y asegurando que el recorrido fuera lo más fluido y seguro posible. De igual manera, esta planificación preliminar fue útil para comenzar a pensar en los recursos necesarios, como materiales de construcción y la maquinaria que podría necesitarse, así como el tiempo estimado para cada fase del proyecto. Tener un diseño inicial me permitió visualizar con mayor claridad los posibles problemas logísticos y comenzar a planificar las soluciones antes de entrar en la fase de ejecución, lo cual fue clave para la eficiencia del proceso.



Nota : * Imagen que muestra como fue el prototipo de la ruta de la ciclovía. *

Una vez que se contaba con los elementos y la planificación necesarios para iniciar el proceso topográfico, procedí a realizar el levantamiento de campo. Aunque el equipo GNSS permite realizar levantamientos con una sola persona, ya que la base queda estacionada en un lugar seguro y únicamente se requiere el Rover junto con la colectora montados en un mismo bastón, se solicitó el apoyo de dos personas adicionales. Esta decisión se tomó por razones de seguridad y

para facilitar tareas complementarias durante el levantamiento, asegurando así un trabajo más eficiente y coordinado.

Durante el proceso surgieron algunos inconvenientes, principalmente en el primer kilómetro del tramo. La presencia de una gran cantidad de árboles ubicados sobre la banqueta interfería con la señal del Rover, lo cual dificultaba la obtención de datos precisos. Al operar con tecnología GNSS, el equipo depende de la conexión con constelaciones de satélites, por lo que la densidad de la vegetación ocasionaba obstrucciones en la recepción de la señal. Para resolver esta situación, se implementó una estrategia en la que nos movíamos hacia zonas más despejadas para recuperar la señal y luego regresábamos rápidamente al punto objetivo para continuar con la toma de datos.

En cuanto a la metodología utilizada, se decidió realizar los puntos de control o cadenamientos a intervalos de 5 a 10 metros. Este criterio permitió capturar una mayor cantidad de información topográfica, garantizando así que el modelo generado contara con la densidad de puntos necesaria para representar con precisión las características del terreno. Esta decisión también facilitó el procesamiento de datos posterior, ya que la información obtenida resultó ser detallada y consistente.

A pesar de las dificultades iniciales con la señal del Rover, aprovechamos la experiencia como una oportunidad de práctica y aprendizaje. De esta forma, desarrollamos habilidades para minimizar los retrasos y optimizar la operatividad del equipo GNSS en situaciones adversas, lo que nos permitió completar el levantamiento topográfico de manera satisfactoria y con la calidad requerida.

Para el segundo tramo del levantamiento topográfico, que comprendió aproximadamente 3 kilómetros, las condiciones del terreno presentaron características más favorables en comparación con el primer tramo, ya que se trataba de una superficie de terracería. Este tipo de terreno facilitó considerablemente la recolección de puntos, permitiéndonos trabajar con mayor agilidad y sin interrupciones significativas.

Sin embargo, durante el proceso de levantamiento surgió un aspecto relevante: la ciclovía estaba proyectada para pasar sobre el hombro del río. Esto nos obligó a realizar una recolección más detallada de datos, descendiendo hasta la zona de inicio del cauce del río para garantizar una información topográfica más completa y precisa. Esta acción fue clave, ya que capturar datos del nivel inferior del río permitió generar una representación más exacta del terreno, lo cual resulta fundamental para el diseño geométrico y la correcta planificación del proyecto.

A diferencia del primer tramo, en esta sección no se presentaron interferencias significativas, como obstrucciones de señal por árboles o estructuras. El terreno al estar más despejado permitió realizar cadenamientos lineales de manera más eficiente, asegurando la continuidad y precisión del levantamiento. Además, la ausencia de dificultades técnicas permitió mantener un ritmo constante de trabajo, optimizando los tiempos y mejorando la calidad de los resultados obtenidos.

De esta manera, el levantamiento en el segundo tramo fue ejecutado sin mayores contratiempos, cumpliendo con los estándares de precisión y eficiencia requeridos para el proyecto.

Una vez obtenidos los puntos durante el levantamiento topográfico, estos se convierten en la base fundamental para la generación de datos clave del proyecto, como la altimetría, planimetría,

secciones transversales, curvas de nivel y los cortes de terreno. Estos datos son esenciales para comprender la topografía del área, ya que nos permiten identificar los puntos críticos del terreno, tales como las variaciones en las pendientes o las áreas que requieren modificaciones.

Aunque no nos centraremos inicialmente en los detalles de cada punto, ya que el enfoque principal en esta etapa está en analizar los anchos, las alturas y los posibles obstáculos, la información obtenida nos proporciona una visión general de cómo se comporta el terreno. Gracias a esto, podemos comenzar a realizar ajustes en la proyección de la ciclovía, modelando su trayectoria en función de las características topográficas observadas.

De esta forma, los datos obtenidos no solo nos ayudan a establecer una representación precisa del terreno, sino también a tomar decisiones sobre la necesidad de mover la trayectoria del proyecto en zonas donde el terreno sea más complejo o no se ajuste a las especificaciones requeridas. Este proceso de análisis es clave para optimizar el diseño de la ciclovía, asegurando que sea funcional y segura a lo largo de todo su recorrido.

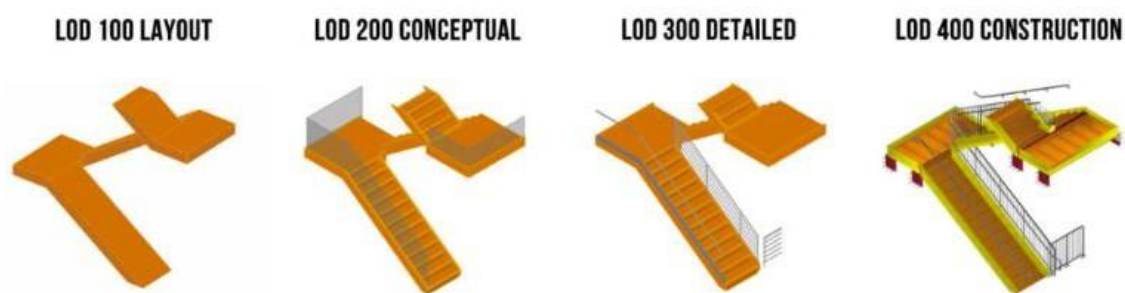
Además, los puntos obtenidos durante el levantamiento topográfico son cruciales para garantizar que el diseño de la ciclovía sea coherente con las condiciones del terreno. A medida que analizamos los datos, podemos identificar variaciones en la pendiente del terreno, zonas con posibles riesgos de erosión o áreas donde podría ser necesario realizar obras de estabilización. Estos detalles no solo afectan el diseño geométrico de la ciclovía, sino también los métodos de construcción y los materiales a utilizar.

A través del modelado 3D, podemos integrar todos estos aspectos y visualizar cómo se comportará la infraestructura en su contexto real. Al contar con una representación tridimensional del terreno, es posible hacer simulaciones de la ciclovía, evaluando diferentes escenarios de

adaptación para ajustarnos mejor a las condiciones del sitio. Este enfoque permite anticipar posibles complicaciones, como cambios en el nivel del terreno, y optimizar el diseño para maximizar la seguridad y funcionalidad de la ciclovía a lo largo de su recorrido. Gracias a este análisis integral, se obtiene un modelo más preciso, eficiente y adecuado a las necesidades tanto técnicas como ambientales del proyecto.

Con la información obtenida hasta el momento, el siguiente paso fue comenzar a conceptualizar la ciclovía. Aunque ya sabíamos que se llevaría a cabo la construcción, no teníamos claras las dimensiones exactas para determinar cuál sería la opción más adecuada. En este punto, decidí iniciar el proceso con la elaboración de bocetos a mano, con el fin de obtener una primera aproximación de lo que se podría implementar. Posteriormente, trasladé estos bocetos al software AutoCAD, donde utilicé la herramienta 2D (polilínea) en una vista bidimensional. La idea era obtener una representación clara de los elementos que iba a necesitar y verificar si las dimensiones preliminares coincidían con lo requerido para el tramo en cuestión.

Imagen LOD 100



Nota: importancia de la aplicación correcta de los LOD “fase 100”, Tomado de (ShipProjects, n.d.)

1.13 Implementación del LOD 200

“200 LOD

Es la etapa de diseño esquemático de LOD.

El elemento LOD 200 muestra características geométricas tales como formas, dimensiones, ubicaciones, etc.

El nivel de complejidad en LOD 200 es ligeramente superior al de LOD 100. También puede incluir alguna información no geométrica.

La información en esta etapa también se considera como una aproximación.” (MONARCH INNOVATION, s.f.)

El LOD 200 (Level of Development 200) es un nivel intermedio en la metodología BIM que se utiliza para representar el diseño de un proyecto con un nivel de detalle moderado. En esta fase, los elementos del modelo son representados en términos generales, sin especificar detalles precisos como dimensiones exactas, materiales específicos o componentes exactos. El LOD 200 permite visualizar el diseño a una escala más amplia, mostrando la forma y las relaciones espaciales entre los diferentes elementos del proyecto. Es crucial para establecer una comprensión general del diseño antes de pasar a etapas de desarrollo más detalladas.

Con el detalle de del modelo 3D y la topografía finalizada, el LOD 200 se implementa para crear una representación precisa pero general del trazado de la ciclovía. Este nivel de desarrollo es utilizado para ilustrar las características globales del proyecto, como la alineación del trazado y la disposición general de la infraestructura, pero sin entrar en los detalles más finos relacionados con las dimensiones exactas o los materiales.

El LOD 200 permite visualizar cómo se integra el diseño de la ciclovía con el entorno, destacando aspectos importantes como la conexión con otras rutas y la relación con los elementos urbanos circundantes, como parques y accesos peatonales. En esta fase, se busca identificar y resolver posibles problemas conceptuales, como pendientes pronunciadas, zonas inundables o interferencias con otros elementos urbanos. Aunque no se especifican aún todos los detalles, el LOD 200 proporciona una base sólida sobre la que se pueden realizar ajustes antes de avanzar a un nivel de detalle mayor.

Los datos del levantamiento topográfico en esta etapa permiten una representación más precisa del terreno y cómo el trazado de la ciclovía se ajusta a las condiciones físicas del área. Esto resulta esencial para validar la viabilidad del diseño y optimizar aspectos clave, como la seguridad y accesibilidad de los usuarios.

El uso del LOD 200 facilita la toma de decisiones iniciales, preparando el terreno para las fases posteriores, en las cuales se incrementará el nivel de detalle (como el LOD 300) y se incorporarán datos más específicos sobre materiales, dimensiones y otros aspectos técnicos que completarán el diseño final.

Este modelo preliminar fue esencial para la planificación y para la identificación de posibles áreas problemáticas en el recorrido de la ciclovía, ayudando a ajustar la disposición general del diseño. A medida que el modelo fue evolucionando, se incluyeron detalles más específicos que podrían influir en la construcción y en la conexión con otras rutas de transporte o infraestructuras urbanas. La integración del LOD 200 sirvió como un punto de partida para la evaluación preliminar, optimizando los recursos y facilitando la integración con otras disciplinas involucradas en el proyecto.

Fases Importantes en el Desarrollo con LOD 200

1. Levantamiento y Análisis del Terreno

Se realizó un levantamiento topográfico inicial que identificó las características generales del terreno, como pendientes, obstáculos naturales o artificiales, y cruces existentes. Esta información se incorporó en un modelo digital básico, utilizando herramientas como drones o estaciones totales para representar la topografía de forma simplificada. Se crearon superficies trianguladas (TIN) o curvas de nivel aproximadas que reflejaron las condiciones del sitio, permitiendo evaluar las restricciones del trazado.

2. Trazado General de la Ciclovía

Se definió el eje principal de la ciclovía considerando las conexiones urbanas y las características del terreno. El recorrido se diseñó de manera general, estableciendo dimensiones estándar para los carriles y áreas complementarias como banquetas o separadores. El trazado se representó como un volumen o superficie esquemática en el modelo, asegurando que respetara los lineamientos normativos básicos y se adaptara a las condiciones topográficas.

3. Modelado de Elementos Básicos

Se modelaron los componentes principales que conformaron la ciclovía, como bordillos, separadores y zonas de descanso, utilizando dimensiones estándar. El mobiliario urbano, como postes de iluminación o bancas, se representó de forma simplificada, priorizando la ubicación y proporciones generales sobre los detalles técnicos. Estos elementos se incorporaron en el modelo para ofrecer una visión conceptual del diseño sin necesidad de especificaciones avanzadas.

4. Modelado del Entorno Urbano

Se incluyó en el modelo una representación básica del entorno inmediato, como banquetas, vialidades y edificaciones cercanas, para mostrar la interacción entre la ciclovía y su contexto. Los elementos del entorno, como árboles o zonas verdes, se representaron mediante geometrías genéricas que proporcionaron un panorama claro del impacto visual y funcional del diseño. El modelo mostró cómo la ciclovía se integró en su ubicación prevista.

5. Análisis Básico de Factibilidad

Se realizó un análisis preliminar que identificó la viabilidad técnica del diseño, evaluando aspectos como pendientes máximas, radios de curvatura y accesibilidad. A partir del modelo, se generaron gráficos y datos básicos que ayudaron a localizar posibles áreas problemáticas, como zonas con pendientes inadecuadas o falta de espacio para ciertos elementos. Este análisis se incorporó en las decisiones de diseño para optimizar el trazado.

6. Generación de Documentación Conceptual

Se elaboraron planos esquemáticos y secciones transversales a partir del modelo que mostraron las características generales de la ciclovía, como anchos de carriles, separadores y elementos de apoyo. También se crearon visualizaciones en 3D o recorridos virtuales que comunicaron el concepto del proyecto a las partes interesadas. Esta documentación se preparó con un enfoque en claridad y simplicidad para facilitar la revisión y presentación del diseño.

Justificación del Uso del LOD 200 en el Proyecto de Ciclovía

El uso del LOD 200 en este proyecto se justificó debido a que este nivel de desarrollo es ideal para la etapa conceptual del diseño de la ciclovía. En esta fase, se buscó representar los

elementos principales del proyecto de forma esquemática, proporcionando información suficiente para analizar el trazado y evaluar diferentes alternativas sin requerir detalles específicos de construcción. Esta aproximación permitió enfocar los esfuerzos en aspectos estratégicos del diseño, optimizando los recursos disponibles y garantizando la claridad en la representación inicial del modelo.

Además, el LOD 200 ofreció una flexibilidad importante al permitir realizar ajustes rápidos en el diseño en función de las restricciones identificadas en el levantamiento del terreno y las consideraciones normativas. Por ejemplo, al modelar el eje principal y los componentes básicos de la ciclovía, se pudieron realizar iteraciones rápidas que facilitaron la evaluación de rutas alternativas y la optimización de las dimensiones generales del trazado. Esto fue especialmente valioso para garantizar que el diseño cumpliera con los estándares requeridos y se adaptara de manera eficiente al entorno urbano.

Otra razón clave para utilizar el LOD 200 fue la optimización del tiempo y los recursos tecnológicos. Dado que esta etapa no requería especificar materiales, detalles constructivos o uniones, fue posible concentrarse en generar un modelo que representara de manera adecuada el concepto general de la ciclovía. Esto no solo permitió visualizar de forma clara la interacción entre la ciclovía y su entorno inmediato, sino también presentar el diseño de manera efectiva a las partes interesadas, facilitando la comunicación y la toma de decisiones durante esta fase inicial.

Trazado general

El trazado de la ciclovía, modelado con un nivel LOD 200, permitió identificar y justificar de manera efectiva su recorrido gracias a las características y los puntos estratégicos que conectó a lo largo de su extensión. Desde su inicio en el recinto ferial, el trazado fue pensado para ofrecer

una ruta accesible, aprovechando su cercanía con el Parque de la Juventud, a tan solo 350 metros de distancia. Este espacio recreativo representó un punto de interés clave debido a su alta afluencia de visitantes y su conexión con las áreas urbanas cercanas.

El recorrido sigue hacia el Parque de las Artesanías, un lugar que atraía a artesanos y compradores especialmente durante los fines de semana. Este punto, junto con las múltiples escuelas cercanas, validó la pertinencia del trazado, ya que facilitó el acceso a centros educativos y culturales, promoviendo su uso entre estudiantes y familias. Las geometrías representadas en el modelo simplificaron la evaluación de estos puntos de interés, lo que permitió analizar su impacto funcional y visual en el diseño preliminar.

Avanzando, la ciclovía pasa por el Puente Rojo, que se transformaba los sábados en el principal tianguis de Tlaxcala, atrayendo a cientos de personas. Este nodo, junto con la cercanía de la plaza del mercado, donde se encontraban los paraderos de transporte público y otras instalaciones importantes como el comedor universitario UAT y un pequeño hospital, consolidó el diseño como una solución de movilidad estratégica. La representación de los elementos principales en el modelo permitió evaluar con precisión la conexión entre estos puntos y la demanda potencial del trayecto.

El diseño también considera zonas de alto flujo, como la Plaza Vértice y el estadio de Tlaxcala, lugares donde regularmente se congregaban grandes cantidades de personas. La inclusión de estos puntos en el modelo aseguró que la ciclovía cumpliera su función de conectar áreas recreativas, comerciales y educativas. Además, la cercanía de clínicas como la ISSSTE y la Clínica 8, junto con instalaciones universitarias como la Facultad de Odontología de la UAT, reforzó el valor social del proyecto al proporcionar una alternativa de transporte eficiente y sostenible para estas comunidades.

Finalmente, en el modelo se incluye la transición hacia el segundo tramo de la ciclovía, que pasaba por detrás del Jardín Botánico de Tizatlán, un área popular entre ciclistas y entusiastas del deporte. Este tramo aprovechó un entorno natural frecuentado por usuarios que ya realizaban actividades similares, validando aún más la elección del trazado. En el extremo final, la conexión con Gran Patio, también conocido como Molinito, ofreció acceso a una zona comercial importante, ampliando el impacto del proyecto.

El uso del LOD 200 en esta fase permitió representar de manera esquemática estos puntos clave, evaluando su conectividad y accesibilidad. Gracias a la flexibilidad de este nivel, se pudieron realizar ajustes rápidos en el trazado para optimizar la integración de la ciclovía con el entorno urbano, maximizando su utilidad y aceptación entre los habitantes de Tlaxcala.

Interacción con el entorno

La interacción del trazado de la ciclovía con su entorno ofreció múltiples ventajas tanto para la comunidad como para el desarrollo urbano sostenible. Al integrarse con áreas de alto flujo peatonal, comercial y educativo, la ciclovía promovió una movilidad más eficiente y accesible, reduciendo la dependencia de vehículos motorizados y, con ello, contribuyendo a disminuir los niveles de congestión y contaminación en la zona.

Otro beneficio importante fue la mejora en la conectividad entre espacios clave, lo que facilitó el acceso a servicios esenciales, centros educativos y áreas recreativas. Este diseño integrado permitió a los usuarios desplazarse de manera más segura y rápida, fortaleciendo la cohesión social al conectar comunidades y promover actividades saludables como el ciclismo y la caminata.

Desde una perspectiva económica, la ciclovía incentivó el comercio local al proporcionar una mayor afluencia de usuarios a las áreas comerciales cercanas. Esto fomentó el desarrollo de economías locales y aumentó la visibilidad de los negocios, especialmente aquellos ubicados en puntos estratégicos a lo largo del recorrido.

Asimismo, la interacción con el entorno permitió una integración respetuosa con los espacios naturales y urbanos, aprovechando la infraestructura existente y minimizando los impactos negativos. Esto contribuyó a un desarrollo urbano más equilibrado, donde los elementos del entorno se potenciaron en lugar de ser modificados significativamente.

Por último, al proporcionar una infraestructura dedicada a la movilidad no motorizada, la ciclovía ayudó a mejorar la seguridad vial, reduciendo conflictos entre vehículos y peatones o ciclistas. Esto generó una mayor confianza en los usuarios para desplazarse de forma independiente, promoviendo una cultura de movilidad sostenible y accesible para todos.

Análisis y toma de decisión

El modelado de la ciclovía permitió realizar un análisis preliminar que facilitó la toma de decisiones en la planificación del trazado. En esta fase, se representaron los elementos clave del proyecto, como la ruta principal, los puntos de acceso y las áreas de interés. Esto ofreció una visión general de las conexiones que se establecerían a lo largo del recorrido, lo que permitió evaluar alternativas en términos de accesibilidad y conectividad antes de definir detalles más específicos de construcción.

El análisis realizado permitió ajustar rápidamente el trazado, considerando aspectos como la cercanía a zonas educativas, comerciales y recreativas. Estos ajustes fueron esenciales para garantizar que la ciclovía conectara de manera eficiente las áreas con alta densidad de usuarios,

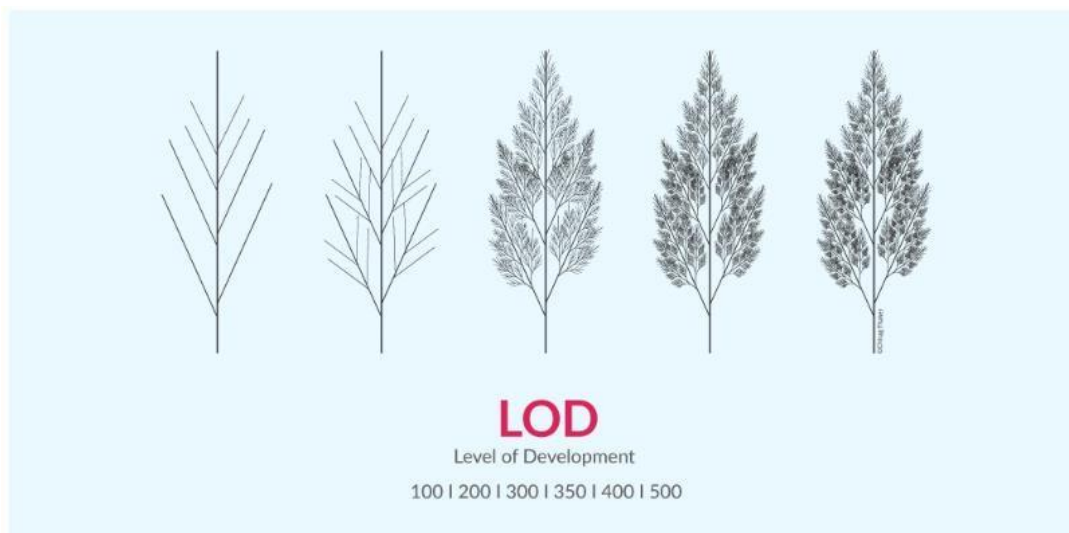
como las escuelas y centros comerciales, sin generar conflictos con otros usos del espacio público. Esta flexibilidad facilitó la toma de decisiones rápidas y eficientes, lo que aceleró el proceso de diseño y permitió optimizar el recorrido de la ciclovía.

Además, el modelo permitió una comunicación más fluida con las partes interesadas, como autoridades locales, entidades educativas y la comunidad. Al representar visualmente los puntos clave del proyecto, se hizo más fácil para los involucrados comprender las implicaciones del diseño y contribuir con retroalimentación valiosa. Esto ayudó a afinar detalles y a garantizar que la ciclovía cumpliera con las expectativas y necesidades de todos los actores involucrados.

La evaluación preliminar también permitió considerar los impactos del proyecto en el entorno urbano y natural, analizando cómo se integraría el trazado con el tráfico vehicular, el flujo peatonal y la proximidad a espacios verdes. Esta reflexión facilitó la toma de decisiones sobre la viabilidad del proyecto y permitió identificar áreas que podían mejorar, asegurando que la ciclovía fuera funcional, accesible y sostenible a largo plazo.

Una vez realizado el análisis y las decisiones preliminares con la información proporcionada por el modelo inicial, se procede a un nivel de desarrollo más detallado con el LOD 300. En esta fase, el diseño se profundiza y se incluye información más precisa sobre los elementos estructurales y de infraestructura que compondrán la ciclovía. Mientras que el LOD 200 permitió realizar ajustes estratégicos y evaluar la viabilidad general del proyecto, el LOD 300 proporciona detalles más específicos que permiten definir con exactitud las dimensiones, materiales y conexiones de cada componente de la ciclovía. Esta transición a un nivel de detalle mayor no solo facilita la validación del diseño final, sino que también optimiza la coordinación entre los diferentes equipos de trabajo, garantizando que la construcción futura del proyecto sea precisa, eficiente y cumpla con todos los requisitos técnicos y normativos establecidos.

Imagen LOD 200



Nota: Seguimiento constante de los avances en obra, como guía y fortalecimiento. Imagen tomada de (BIM Level of Development, n.d.)

1.14 Implementación del LOD 300

“300 LOD

Es el desarrollo de diseño de edificios etapa de LOD.

Las representaciones gráficas de LOD 300 pueden ser las mismas que la representación gráfica de LOD 200, pero lo que lo hace diferente de LOD 200 es que la geometría y las características en esta etapa se consideran precisas.

La información en esta etapa se puede utilizar en la etapa de construcción.” (MONARCH INNOVATION, s.f.)

El LOD 300 representa un nivel de desarrollo donde los detalles del modelo se incrementan significativamente, facilitando la coordinación y planificación precisa del proyecto. En esta etapa, el diseño pasa de ser solo conceptual a tener especificaciones exactas en cuanto a geometría y características técnicas de los elementos. En el contexto de este proyecto de la ciclovía, el LOD 300 se utiliza para detallar de manera precisa tanto el trazado de la ciclovía como sus elementos asociados, como puentes, accesos, puntos de descanso, señales y sistemas de iluminación, entre otros.

Una vez confirmadas las viabilidades de las dimensiones y el diseño, se ha decidido trasladar el modelo a un programa de diseño 3D, inicialmente realizado en Blender. Aunque Blender no está específicamente orientado a la construcción, ha resultado ser una herramienta accesible y eficiente para el modelado en tres dimensiones. Gracias a mi experiencia con el software, he logrado crear el modelo con facilidad, lo que me ha permitido observar los detalles con mayor precisión y realizar ajustes rápidos. Además, la compatibilidad de Blender con otros programas ha facilitado la exportación del modelo sin pérdida de información. Posteriormente, el

diseño fue importado a Revit, un software especializado en modelado 3D para la construcción, que ha sido ideal para generar modelos detallados y precisos, permitiéndome avanzar rápidamente a las siguientes fases del proyecto.

Este proceso ha facilitado la visualización detallada de la ciclovía y ha permitido tomar decisiones informadas sobre aspectos como las dimensiones, el diseño y la viabilidad del proyecto, basándome en los datos obtenidos en el levantamiento topográfico. La integración de herramientas como AutoCAD, Blender y Revit ha sido fundamental en la fase inicial, permitiendo generar un modelo 3D eficiente y preciso que cumple con las características necesarias para avanzar en la construcción.

Además de facilitar la visualización del diseño, el uso de estas herramientas ha optimizado el tiempo y los recursos durante el proceso de modelado. Al realizar los primeros bocetos a mano y trasladarlos a AutoCAD, pude establecer una base sólida que sirvió de referencia en las siguientes etapas. Aunque AutoCAD está limitado a 2D, esta herramienta resultó crucial para definir las dimensiones y las relaciones entre los elementos del proyecto, permitiéndome evaluar la disposición de componentes clave, como los accesos, las pendientes y los anchos.

La integración del diseño en Blender permitió obtener una representación más dinámica y tridimensional del proyecto. Esto me permitió observar el modelo desde diferentes perspectivas y realizar ajustes que, en un plano 2D, podrían haber pasado desapercibidos, como la intersección con otros elementos urbanos y la integración de la ciclovía con el paisaje circundante. Blender también facilitó la creación de texturas y materiales, lo que permitió darle un aspecto más realista al diseño, ayudando a identificar posibles problemas visuales o estéticos.

Finalmente, al exportar el modelo a Revit, el diseño adquirió un nivel de precisión y detalle acorde con los estándares de la construcción. Revit, con su enfoque paramétrico, permitió ajustar las dimensiones de manera rápida y efectiva, garantizando que el diseño cumpliera con las normativas y especificaciones requeridas. Además, la capacidad de Revit para integrar diversos elementos constructivos en un solo modelo, como la estructura, los sistemas de drenaje y los accesos, generó un flujo de trabajo más colaborativo y eficiente con los demás profesionales del proyecto.

Este enfoque integrado no solo permitió crear un modelo detallado de la ciclovía, sino que también ofreció una visión clara de cómo se podría ejecutar el proyecto en el terreno, considerando factores técnicos, estéticos y funcionales. El proceso de modelado 3D fue fundamental para avanzar en el diseño de manera efectiva, sirviendo como una base sólida para las siguientes fases del proyecto, como la planificación de la construcción y la coordinación con otros especialistas involucrados.

El modelo 3D realizado inicialmente en Blender se utilizó para guiarnos en la creación de detalles exclusivos de la ciclovía. Este modelo es específico para la representación de conceptos básicos y detalles del diseño, y no incluye información real del terreno. En cambio, el levantamiento 3D se realizó mediante una nube de puntos, que contiene información real de la zona. En este caso, se tomó un área de 10 metros a cada lado del río, considerando que la ciclovía tendría un ancho de 2.60 metros. Con esta área, obtuvimos datos relevantes sobre el entorno, como árboles, objetos, calles, banquetas y otras características del área circundante.

Este modelo 3D se caracteriza por incluir la nube de puntos, un mapa de elevaciones, curvas de nivel, la malla del terreno y, finalmente, la posibilidad de crear una ortofoto para su visualización en 2D. De esta manera, la combinación del modelo de diseño en Blender con el

levantamiento 3D real permite tener una representación precisa tanto del diseño como de la topografía del terreno.

Una vez que tuve el modelo 3D y la topografía finalizada, el siguiente paso fue realizar un plan de vuelo para obtener datos en tiempo real sobre el estado actual de la zona de intervención. Para esto, utilicé el dron DJI Mini 3, una herramienta eficaz para realizar levantamientos aéreos. El objetivo de este vuelo fue generar dos elementos clave para el avance del proyecto: el levantamiento 3D de la zona y la ortofoto. Estos dos productos son fundamentales para contar con una representación precisa y actualizada del terreno.

El levantamiento 3D permite observar la zona desde una perspectiva aérea y detallada, lo cual facilita la visualización de cómo interactúan los elementos del entorno con el diseño proyectado de la ciclovía. Esto es crucial para evaluar la viabilidad del diseño y detectar posibles problemas o mejoras antes de llevarlo a cabo. Por otro lado, la ortofoto proporciona un plano de referencia detallado que me permite tener una visión clara de las condiciones reales del terreno, lo que resulta esencial para hacer ajustes al proyecto, en caso de ser necesario, asegurando que el diseño sea compatible con las características físicas del área.

Gracias a estas herramientas, se puede validar si el modelo 3D y el diseño de la ciclovía se integran de manera óptima en el espacio real. Y de esta forma, evaluar la calidad del diseño, así como también garantizar que sea funcional y adaptable a las condiciones topográficas y ambientales de la zona.

El uso del dron DJI Mini 3 no solo permite obtener una visión detallada del terreno, sino que también facilita el proceso de recolección de datos en áreas difíciles de acceder. Esto es particularmente útil en proyectos de gran escala o en terrenos con obstáculos naturales, como áreas

de difícil acceso o zonas con vegetación densa, donde el levantamiento tradicional podría resultar complicado o incluso peligroso. Además, la capacidad del dron para cubrir grandes extensiones de terreno en poco tiempo incrementa la eficiencia del proceso de levantamiento, permitiendo que el proyecto avance rápidamente sin comprometer la calidad de los datos obtenidos.

Una de las ventajas significativas de contar con un modelo 3D y una ortofoto obtenidos a través del dron es la posibilidad de realizar análisis detallados desde diferentes perspectivas, incluso antes de que comience la fase de construcción. A través de herramientas de software especializadas, se pueden simular diferentes escenarios, como el impacto visual de la ciclovía sobre el paisaje, la relación con el entorno urbano o natural, y la posible interacción con otras infraestructuras cercanas. Esto facilita la identificación temprana de posibles conflictos, lo que a su vez permite realizar ajustes en el diseño sin la necesidad de realizar costosos cambios en el terreno. Además, el uso de tecnologías como el dron también permite hacer un seguimiento continuo del estado del proyecto a lo largo de su desarrollo, proporcionando datos actualizados en tiempo real para garantizar que el diseño inicial se mantenga consistente con las condiciones del terreno a medida que avanzan los trabajos de construcción.

Hasta este momento, contaba con una gran cantidad de información que resultaba sumamente útil para el desarrollo del proyecto, lo que me proporcionaba una sensación de confianza y optimismo. Sin embargo, al comenzar a trabajar en el modelo 3D de mi primer tramo de ciclovía, que abarca aproximadamente 3 kilómetros, me enfrenté a varios desafíos imprevistos. Uno de los principales problemas fue la capacidad limitada de la computadora disponible, que resultó insuficiente para manejar la gran cantidad de datos requeridos. Esto se debía a la complejidad del modelo de la ciclovía, así como a la inclusión de detalles adicionales como los árboles, las infraestructuras y otros elementos presentes en la zona. Este contratiempo fue motivo

de preocupación, ya que uno de los objetivos del proyecto es poder visualizar cómo quedaría la ciclovía en el área de intervención, no solo como una representación básica, sino como un modelo detallado que simule el diseño final en un espacio real.

Dado que la capacidad técnica no permitía procesar toda la información de manera eficiente, surgió la necesidad de replantear la estrategia. Se optó por una solución que, aunque no cumplía con la ambición inicial de mostrar todo el tramo, sí permitía ilustrar el concepto del proyecto de manera comprensible. La propuesta fue generar un modelo 3D de una sección representativa de la ciclovía, seleccionando una zona que pudiera ofrecer una visión adecuada del diseño en el contexto real. De este modo, pude mostrar un ejemplo concreto de lo que se pretende lograr, sin perder el enfoque principal del proyecto. Esta decisión también permitió realizar una presentación más eficiente, considerando las limitaciones técnicas y ofreciendo un resultado visual comprensible para los interesados.

Esta decisión de limitar el modelo 3D a una sección representativa también permitió explorar alternativas en cuanto a la visualización y la comunicación del proyecto. Al trabajar con una parte del tramo, pude enfocarme en los aspectos más relevantes del diseño, como las interacciones entre la ciclovía y los elementos urbanos circundantes. De esta manera, pude abordar detalles específicos que de otro modo habrían quedado opacados por la complejidad del modelo completo. Además, el proceso de trabajar con un modelo reducido facilitó la aplicación de diferentes herramientas de análisis, como el cálculo de pendientes, la visibilidad del recorrido y la integración con el entorno, lo que resultó en una evaluación más precisa de los aspectos técnicos del proyecto. Aunque esta solución no representa el tramo total de la ciclovía, proporcionó un ejemplo visual claro y comprensible, permitiendo transmitir de manera efectiva las ideas de diseño

a los interesados, sin la necesidad de manejar grandes volúmenes de datos que podían entorpecer el proceso.

Una vez que obtuvimos la información necesaria y los modelos detallados de las zonas correspondientes, el siguiente paso crucial fue comenzar con la elaboración de los planos y los detalles técnicos. Con todos los datos recopilados y el levantamiento topográfico realizado, estábamos listos para avanzar en la generación de los planos, que resultan fundamentales para la correcta interpretación y ejecución del proyecto. Aunque el enfoque principal del proyecto radica en el modelado 3D, también es necesario cumplir con los requerimientos de entrega que incluyen planos detallados y específicos. Este proceso nos llevó a retroceder un poco en los pasos y enfocarnos nuevamente en la representación bidimensional de la información, dado que los planos requerían ciertos detalles que debían estar perfectamente especificados.

En este proceso, nos aseguramos de no sobrecargar la información presentada, seleccionando cuidadosamente los datos a incluir. Para ello, generamos planos a escala 1:1000, en los cuales, aunque la lectura de los detalles podría resultar compleja debido a la escala, nos permitieron tener una visión general de las características más importantes del proyecto. La decisión de elaborar estos planos fue fundamental para asegurarnos de que toda la información estuviera estructurada de manera coherente y para evitar posibles confusiones a futuro. En particular, para el tramo de la ciclovía que abarca 6 kilómetros, produjimos 6 planos a escala 1:1000, los cuales nos dieron una visión general, y 12 planos a escala 1:500, que nos permitieron detallar aún más el trayecto de la ciclovía y los elementos que se deben implementar.

Estos planos fueron esenciales para identificar las características particulares de cada sección del trazado y para visualizar cómo podrían mejorarse ciertos aspectos del diseño, como la ubicación de las infraestructuras complementarias y las adaptaciones necesarias para optimizar el

recorrido. De este modo, los planos no solo sirvieron como una herramienta para el diseño inicial, sino que también fueron clave para la fase de ejecución, ya que proporcionan una base clara y detallada que facilita la toma de decisiones y garantiza la correcta implementación de la ciclovía.

Además, una vez definidos los planos y con la información detallada sobre la topografía y el diseño de la ciclovía, se consideraron aspectos adicionales que podrían influir en la implementación del proyecto. Entre estos aspectos se incluye la integración de elementos de accesibilidad y seguridad para los usuarios, tales como la señalización adecuada, la inclusión de áreas de descanso y la conexión con otras infraestructuras urbanas. Para poder incluir estos detalles, realizamos un análisis más exhaustivo de la zona, considerando las intersecciones con otras vías, la proximidad de servicios y la posible influencia de factores climáticos que pudieran afectar el uso de la ciclovía. Además, se evaluó el impacto ambiental del proyecto, especialmente en las áreas cercanas a zonas verdes y cuerpos de agua, para garantizar que el diseño no solo fuera funcional y seguro, sino también respetuoso con el entorno. A partir de esta información, ajustamos los planos y el modelo 3D para reflejar mejor estos aspectos, lo que resultó en una propuesta más completa y viable para la construcción de la ciclovía, alineada con las necesidades de la comunidad y los requisitos técnicos del proyecto.

Con base en la información recopilada y para garantizar una organización clara y eficiente, se tomó la decisión de dividir la información en tres planos diferentes. Este enfoque permite evitar la saturación de detalles en un único documento, facilitando su interpretación y uso práctico durante las distintas fases del proyecto. Además, se planteó la creación de un catálogo de conceptos que sirviera como una herramienta complementaria para la ejecución de la obra:

Catálogo de conceptos

Tabla 1*TABLA DE CONCEPTOS*

Catálogo de conceptos	
"IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA BIM EN EL DISEÑO GEOMETRICO DE LA CICLOVIA TLAXCALA-APIZACO PRIMER ETAPA KM 0+000.00 A KM 6+100.00"	
1.- Estudios Preliminares	
1.1.-	Levantamiento topográfico georreferenciado (Planimetría, altimetría) de la zona de estudio
1.2.-	Estudio Geotécnico de terracerías
2.- Proyecto Geométrico	
2.1.-	Proyecto geométrico (planta general, perfil del proyecto, secciones de construcción del proyecto).
3.- Proyecto de señalamiento horizontal y vertical	
3.1.-	Proyecto de señalamiento horizontal y vertical.

Nota: La información presentada en esta tabla está basada en los procedimientos y estándares utilizados para el diseño de la ciclovía.

Este enfoque metodológico no solo mejora la organización del proyecto, sino que también refuerza la capacidad de adaptación a cambios o ajustes necesarios en las diferentes etapas de la obra.

Se decidió elaborar un primer plano titulado "Levantamiento topográfico georreferenciado", que contiene la información esencial derivada del estudio topográfico

realizado. Este plano incluye detalles precisos de la topografía del terreno, destacando las curvas de nivel, que en este caso se definieron a intervalos de 1 metro y cada 5 metros. Debido a esta resolución, el archivo resultante se tornó considerablemente pesado para el software en su lectura y procesamiento. Además de las curvas de nivel, se incluyeron elementos relevantes del área, como árboles, bancas, postes de luz, postes de servicios, escaleras, puentes y registros. La inclusión de estos objetos es fundamental, ya que su ubicación y características podrían afectar la implementación del proyecto y deben considerarse cuidadosamente en el diseño final.

Posteriormente, se desarrolló para nuestro segundo concepto, un segundo plano denominado "Proyecto geométrico", donde se muestra el recorrido de la ciclovía con su diseño geométrico definitivo y las dimensiones finales previstas. Este diseño, aunque más complejo, permite una representación tridimensional (3D), lo que facilita la validación de los estudios previos y asegura que el proyecto se ejecute de manera precisa y conforme a lo planeado. En este plano, también se generaron elementos clave como:

Perfiles longitudinales: Estos ayudan a visualizar las elevaciones del terreno a lo largo del recorrido y a realizar ajustes según las condiciones existentes.

Secciones transversales: Estas se elaboraron a intervalos de 20 metros, lo cual optimiza la claridad del plano y evita la saturación de información. Estas secciones permiten evaluar cómo se integrarán las dimensiones de la ciclovía con el terreno y los elementos circundantes.

Planta general: Esta vista proporciona una perspectiva detallada y precisa del circuito completo, facilitando la identificación de posibles conflictos o ajustes necesarios en el diseño.

Ambos planos son herramientas fundamentales que consolidan la información técnica del proyecto y garantizan que las decisiones de diseño, construcción y supervisión se basen en datos claros, precisos y representativos de las condiciones reales del terreno.

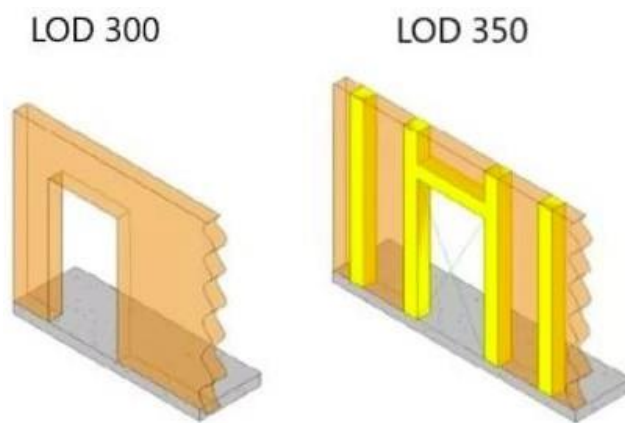
Y para finalizar se realizó en un plano de señalética, Un plano de señalética es un documento técnico esencial que detalla la ubicación, diseño y características específicas de las señales que se implementarán en un proyecto de infraestructura, en este caso, una ciclovía. Este plano tiene como objetivo principal garantizar la seguridad y orientación de los usuarios, promoviendo un tránsito eficiente y ordenado. En el contexto del proyecto de ciclovía, el plano de señalética incluye información requerida como señales de advertencia, regulaciones y direccionales, así como elementos visuales destinados a informar a los ciclistas y peatones sobre cruces, pendientes, accesos, zonas de descanso, y cualquier otro aspecto relevante.

Además, este plano contempla detalles constructivos, como dimensiones, materiales y colores de las señales, asegurando su durabilidad y cumplimiento con las normativas locales e internacionales. Por ejemplo, se especifican las alturas de instalación, los anclajes para resistir condiciones climáticas adversas, y los reflejantes necesarios para garantizar visibilidad nocturna. También se incluyen símbolos y textos que sean universalmente comprensibles para facilitar su interpretación por parte de diversos usuarios.

En el caso de la ciclovía, este plano se complementa con información georreferenciada para garantizar una correcta alineación con el diseño geométrico y topográfico previamente establecido. Con ello, se asegura que las señales estén ubicadas en los puntos estratégicos y que no interfieran con otros elementos del proyecto, como árboles o postes preexistentes. Este enfoque integral en el plano de señalética es clave para optimizar la funcionalidad y seguridad de la ciclovía, alineándose con los objetivos generales del modelado 3D del proyecto.

Una vez finalizados los planos que detallan las trayectorias y los elementos esenciales del proyecto, procedimos a iniciar el desarrollo de los modelos tridimensionales (3D). Este proceso fue fundamental para visualizar y comunicar el diseño final de manera precisa y eficiente, aprovechando las herramientas tecnológicas disponibles. De manera subsecuente, se describe de forma detallada cada paso realizado en esta etapa para garantizar un resultado óptimo y un diseño alineado con los objetivos del proyecto.

Imagen bim 300



Nota: referencia de los avances de los modelos y los LOD tomada de (HARMONY AT, n.d.)

1.15 Implementación de LOD 350

“350 LOD

Es la etapa de documentación de construcción.

La información obtenida en LOD 350 es la misma que la obtenida en LOD 300, pero en esta etapa, también se incluyen las interfaces con otros componentes del edificio como conexiones y soporte.

Indica la forma en que se puede instalar el componente y la forma en que interactúa con los sistemas de otros edificios.” (MONARCH INNOVATION, s.f.)

El LOD 350 (Level of Development 350) es un nivel de detalle utilizado en la metodología BIM (Building Information Modeling) que describe el grado de precisión con el que los componentes de un proyecto deben ser representados en un modelo digital. En este nivel, los elementos del diseño, como la infraestructura, los materiales, y los sistemas, se encuentran modelados con un alto nivel de detalle, permitiendo que el modelo no solo sea visualizado en tres dimensiones, sino que también incluya información clave para la ejecución de la obra. El LOD 350 va más allá de la representación básica de los objetos, ya que asegura que todos los elementos estén alineados y dimensionados correctamente, lo que facilita la coordinación entre diferentes disciplinas y la detección de interferencias antes de la construcción.

La aplicación del LOD 350 permite generar un modelo tridimensional preciso que no solo visualiza la geometría y la topografía del terreno, sino que también incorpora detalles importantes como la ubicación de señalización, barreras de seguridad, accesos, y otros elementos urbanos relevantes. Esta implementación no solo mejora la calidad del proyecto al permitir un análisis exhaustivo de todos los componentes antes de su ejecución, sino que también optimiza la

colaboración entre los equipos de diseño, ingeniería y construcción, asegurando que la información proporcionada sea lo suficientemente detallada para tomar decisiones informadas durante la ejecución del proyecto.

Este nivel de detalle se facilita la planificación de cada fase del proyecto, ya que permite no solo visualizar el diseño, sino también tener una comprensión clara de las condiciones del terreno y los elementos existentes. Con un modelo preciso, es posible abordar los ajustes necesarios en la geometría y la infraestructura, antes de proceder con la ejecución. En este sentido, la identificación de elementos clave, como el muro de resguardo del río, se vuelve crucial para la correcta definición de la ruta y alineación de la ciclovía, lo que asegura una integración eficiente del diseño con el entorno natural y construido.

El primer paso consistió en definir con claridad la ruta que seguiría la ciclovía. Para ello, utilizamos como base el diseño geométrico previamente elaborado, que ya había sido optimizado y aprobado en etapas anteriores. A partir de este diseño, trazamos una línea central que representaría el eje principal de la ciclovía. Este paso fue crucial, ya que permitió establecer una referencia precisa para los siguientes procesos de modelado.

La ubicación de esta línea central estuvo directamente vinculada con la configuración del terreno y los elementos existentes en el área de trabajo. En nuestro caso, el centro de la ciclovía se ubicó estratégicamente sobre el muro de resguardo del río, un elemento estructural importante que había sido considerado desde las primeras fases del proyecto. Este muro no solo define un límite físico, sino que también garantiza la seguridad y el soporte necesario para la infraestructura de la ciclovía.

Este enfoque nos permitió integrar de manera efectiva las condiciones del entorno al diseño, asegurando que el modelo 3D reflejara con precisión la realidad del terreno. La línea central sirvió como base para construir las demás características de la ciclovía, incluyendo sus dimensiones, pendientes y elementos adicionales como barandales o señalización. Con esta metodología, logramos combinar precisión técnica con una representación clara y comprensible del proyecto.

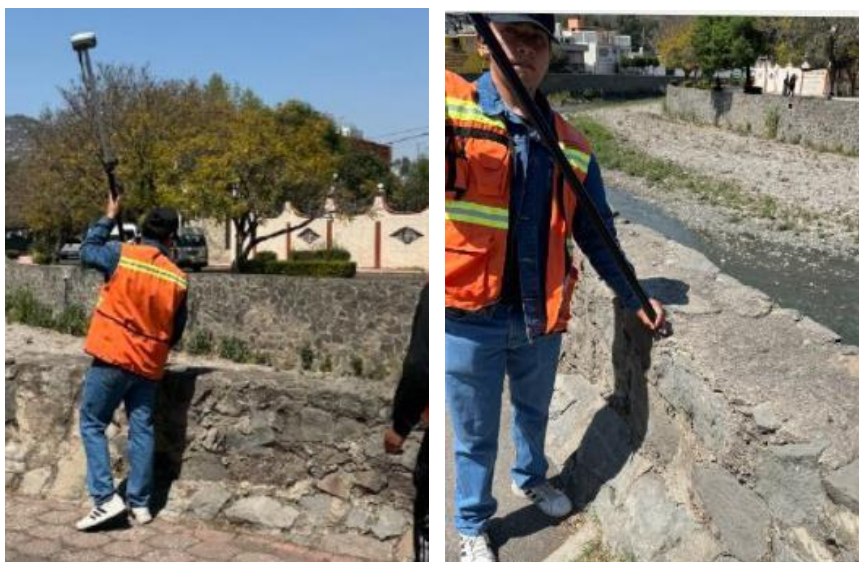


Imagen de referencia sobre el muro

Tras obtener nuestra línea en Civil 3D, el software generó una polilínea que refleja con precisión las elevaciones y depresiones reales presentes en el terreno natural. Esta polilínea incorpora la altimetría del área, un elemento crucial para la correcta planificación y diseño del proyecto de ciclovía. Dicha línea sirve como guía principal para estructurar nuestro modelo, garantizando que el diseño respete las condiciones topográficas del sitio.

El siguiente paso fue exportar esta polilínea al software Revit, una decisión basada en las ventajas que ofrece esta herramienta para el modelado tridimensional. Revit se seleccionó por ser intuitivo y eficiente en la creación de proyectos 3D, especialmente aquellos que requieren un alto nivel de detalle y precisión.

Una vez en Revit, la línea importada se convirtió en la base para iniciar el modelado del proyecto. Este proceso asegura que la ciclovía se adapte a las características del terreno y cumpla con las especificaciones geométricas previamente establecidas. Para evitar cualquier pérdida de información durante el proceso, se guardó el proyecto de manera meticulosa en cada etapa, estableciendo un flujo de trabajo ordenado y seguro.

Esta integración entre Civil 3D y Revit permitió consolidar un modelo digital que no solo representa la ruta planificada de la ciclovía, sino que también incorpora las características del terreno natural, facilitando un diseño óptimo y funcional.

El siguiente paso en el proceso de diseño consistió en trasladar los bocetos iniciales de la ciclovía al software Revit, ya que los cálculos y la validación del diseño dependerían de la precisión y detalle de este modelo. Con el objetivo de garantizar que el diseño fuera aceptado por las autoridades competentes y que cumpliera con las normativas necesarias, convertimos nuestros bocetos preliminares en un modelo detallado y funcional dentro de Revit.

Una de las ventajas de utilizar este software es que, al realizar un barrido sobre la ruta definida por la polilínea previamente exportada, pudimos generar la ciclovía a lo largo de la trayectoria deseada. Este barrido permite crear un modelo tridimensional preciso que refleja no solo la alineación y geometría del proyecto, sino también la integración con el terreno y la topografía circundante.

De esta forma, Revit no solo facilitó la creación del modelo, sino que también proporcionó una herramienta poderosa para verificar que la ciclovía estuviera correctamente posicionada y dimensionada, asegurando que los cálculos estructurales y de diseño fueran los correctos. Al contar con esta base sólida, pudimos continuar con la fase de optimización y validación, garantizando que el proyecto cumpliera con los estándares requeridos para su implementación.

En este momento ya contamos con el modelo final, solo del recorrido 3D de la ciclovía deseada, que para nosotros ya es un gran avance ya que el proyecto lleva por nombre "Implementación de la metodología BIM en el diseño geométrico de la ciclovía Tlaxcala-Apizaco primer etapa km 0+000.00 a km 6+100.00", por lo que el modelo está terminado, todo este proceso se enfocó en implementar la metodología, que la metodología no solo es la tecnología sino la implementación de los LODS con satisfacción.

Imagen LOD 350



Nota: Comparativa de los tipos de LOD y la fase final a la que llegará el proyecto imagen tomada de (VirtualBuilding, n.d.)

1.16 Levantamiento topográfico equipo GNSS.

“Un levantamiento GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) es un proceso de medición y definición precisa de la superficie terrestre utilizando señales de satélites para determinar las coordenadas exactas de puntos en la Tierra. Esta técnica es fundamental en campos como la geodesia, la topografía y la ingeniería civil, ya que permite obtener datos de alta precisión para la creación de mapas, planificación de infraestructuras y estudios geoespaciales.” (Monterrey, 2024)

Un levantamiento topográfico es el proceso mediante el cual se recopilan y analizan datos geométricos de una superficie terrestre, necesarios para representar su configuración física, altimetría, planimetría y características específicas. Este proceso resulta esencial en proyectos de infraestructura, ya que proporciona la base técnica para la planificación, el diseño y la ejecución de obras. En nuestro caso, para la realización del proyecto de la ciclovía Tlaxcala-Apizaco, se llevó a cabo un levantamiento topográfico utilizando un equipo GNSS, el cual permitió capturar coordenadas georreferenciadas de alta precisión. Este levantamiento no solo ayudó a definir las características del terreno, sino que también fue fundamental para generar un modelo detallado que respalde el diseño geométrico del proyecto.

En una descripción más amplia, el equipo GNSS (Global Navigation Satellite System) utilizado en este levantamiento es un dispositivo avanzado que se conecta a una constelación de satélites para determinar la posición exacta de puntos en la superficie terrestre. Su funcionamiento se basa en la recepción de señales de múltiples satélites que, mediante métodos como el RTK (Real-Time Kinematic) o el diferencial (DGPS), permiten calcular las coordenadas tridimensionales con gran exactitud y en tiempo real. Este equipo cuenta con características clave

como su alta precisión, capacidad de operar en diversas condiciones geográficas, portabilidad y la posibilidad de integrarse con otras tecnologías avanzadas, como drones con sensores LiDAR.

El proceso realizado en este proyecto incluyó varias etapas. Primero, se planificaron las zonas a levantar, asegurando la cobertura necesaria y la adecuada conexión con los satélites. Posteriormente, se configuró el equipo GNSS para garantizar su correcto funcionamiento y calibración. Una vez en campo, se procedió a capturar los datos de los puntos estratégicos, ajustando las mediciones con correcciones instantáneas mediante RTK. Finalmente, los datos levantados fueron procesados mediante software especializado para generar modelos digitales del terreno (MDT) y planos topográficos, que constituyeron la base para el diseño de la ciclovía.

El uso del GNSS en este levantamiento permitió no solo optimizar tiempos y reducir costos, sino también garantizar la calidad y precisión de los datos obtenidos. Estas cualidades son indispensables para proyectos como el de la ciclovía, donde es crucial que el diseño geométrico y las decisiones constructivas se basen en información confiable, minimizando riesgos y asegurando la viabilidad técnica y funcional del proyecto.

1.17 Levantamiento Topográfico con Dron

“Los drones topográficos generan ortomosaicos de alta resolución y modelos 3D detallados de áreas donde hay datos disponibles de baja calidad, desactualizados o incluso sin datos. De este modo, permiten producir mapas catastrales de alta precisión de forma rápida y sencilla, incluso en entornos complejos o de difícil acceso. Los topógrafos también pueden extraer características de las imágenes, como señales, aceras, marcadores de carreteras, hidrantes y desagües.” “De acuerdo con los datos de wingtra (WINGTRA, s.f.)...”

Un levantamiento topográfico es el proceso mediante el cual se recopilan datos detallados de un terreno para representarlo de manera precisa en planos o modelos digitales. Este tipo de levantamiento es crucial en proyectos de infraestructura, ya que proporciona información esencial para el diseño, la planificación y la ejecución de obras. En el caso del proyecto de la ciclovía Tlaxcala-Apizaco, se llevó a cabo un levantamiento adicional utilizando un dron DJI Mini, complementando el trabajo realizado con el equipo GNSS y generando datos visuales y topográficos con un nivel de detalle excepcional.

El DJI Mini, utilizado en este levantamiento, es un dron compacto y altamente eficiente que cuenta con características como una cámara de alta resolución, capacidad de vuelo estable y sensores avanzados que permiten capturar imágenes y videos con gran nitidez. Aunque es un dron de tamaño reducido, es ideal para levantamientos en áreas específicas, ya que su portabilidad y facilidad de uso permiten acceder a zonas complicadas sin interferir con las actividades circundantes. Una de sus principales ventajas es su capacidad para realizar vuelos autónomos mediante la programación de rutas, lo que garantiza una cobertura uniforme y consistente del área a levantar.

En este proyecto, el levantamiento con dron incluyó varias etapas clave. Primero, se realizó la planificación de las rutas de vuelo mediante software especializado, configurando parámetros como altitud, superposición de imágenes y área de cobertura. Durante el vuelo, el dron capturó imágenes georreferenciadas y videos de alta calidad que fueron posteriormente procesados en software de fotogrametría, como Agisoft Metashape o Pix4D. Este procesamiento permitió generar ortofotos, nubes de puntos, modelos digitales de superficie (MDS) y modelos digitales del terreno (MDT), que complementaron los datos obtenidos con el GNSS.

El levantamiento con dron DJI Mini aporta varias ventajas al proyecto. Su capacidad para capturar datos desde el aire permite obtener una visión global y detallada del terreno, identificando características que podrían pasar desapercibidas en levantamientos terrestres. Además, reduce significativamente el tiempo necesario para cubrir grandes áreas y minimiza riesgos para el personal, ya que no es necesario ingresar físicamente a zonas complicadas o de difícil acceso.

En conjunto, el levantamiento con el dron DJI Mini permitió generar información visual y topográfica de alta calidad que, combinada con los datos del GNSS, proporcionó una base sólida para el diseño geométrico de la ciclovía. Esta integración tecnológica asegura que el proyecto se desarrolle con precisión, eficiencia y un entendimiento claro del entorno, optimizando recursos y minimizando errores.

Otro aspecto relevante del levantamiento topográfico es su capacidad para integrarse con metodologías como BIM. Al vincular los datos levantados con modelos digitales colaborativos, se logra una representación integral del proyecto, lo que facilita la detección de conflictos, la planificación interdisciplinaria y la toma de decisiones basadas en datos precisos. Esto garantiza no solo la exactitud en las etapas iniciales del proyecto, sino también una ejecución eficiente y sostenible.

Aunque la implementación de la metodología BIM puede presentar desafíos como la necesidad de capacitación especializada y la adaptación a nuevas herramientas tecnológicas, sus ventajas superan ampliamente estas limitaciones, especialmente cuando se aplica en proyectos de infraestructura sostenible, como las ciclovías. Precisamente, la planeación y diseño de ciclovías se beneficia significativamente de enfoques estructurados y tecnologías avanzadas. Para entender mejor cómo estas infraestructuras se pueden conceptualizar y desarrollar, es fundamental analizar los diferentes tipos de ciclovías y su aplicación según las necesidades del entorno y los usuarios.

Las ciclovías son estructuras específicas destinadas a garantizar un tránsito seguro y eficiente para los ciclistas, separándolos de manera parcial o total del flujo vehicular y peatonal. Su diseño se basa en principios técnicos, normativos y funcionales que buscan impulsar la movilidad activa, disminuir el impacto ambiental y mejorar la conectividad en áreas urbanas y rurales. Hay distintos tipos de ciclovías que se ajustan a las condiciones del entorno, la cantidad de usuarios y las necesidades locales, ofreciendo alternativas sostenibles y funcionales que promueven el uso de la bicicleta como medio de transporte.

1.18 Representación de modelos 3D

Un modelo 3D en la construcción es una representación digital tridimensional de un proyecto de construcción que integra información visual y técnica para mostrar todos los aspectos desde el inicio hasta el final de obra; Este modelo es generado mediante software especializado y permite a los profesionales de la construcción, como arquitectos, ingenieros y contratistas, visualizar el proyecto en un formato tridimensional, lo que facilita la planificación, diseño, coordinación y ejecución de la obra.

“Un modelo 3D construible es la visualización más realista de un edificio antes de que comience la construcción, incluso resaltando inconsistencias de diseño” (TEKLA, s.f.)

En el contexto de la construcción, el modelo 3D no solo refleja la apariencia física del proyecto, sino que también puede incluir detalles cruciales como materiales, dimensiones, estructuras, instalaciones, sistemas eléctricos y mecánicos. Además, al ser interactivo, permite explorar el diseño desde diferentes ángulos y realizar análisis en tiempo real, como la detección de posibles interferencias entre sistemas, lo que ayuda a identificar y resolver problemas antes de que ocurran en el sitio de construcción.

Este tipo de modelado es fundamental para la implementación de metodologías como BIM (Building Information Modeling), que integra la gestión de la información del ciclo de vida del edificio o infraestructura. Al utilizar un modelo 3D, los equipos de trabajo pueden mejorar la comunicación, reducir errores y optimizar recursos, contribuyendo a la eficiencia y reducción de costos en los proyectos de construcción.

Los modelos 3D también desempeñan un papel crucial en la planificación y simulación de la construcción. Gracias a la capacidad de crear representaciones detalladas del proyecto, los

equipos pueden simular distintas fases de la obra, evaluar la secuencia de actividades y optimizar el uso de recursos. Esto es especialmente útil en proyectos complejos, donde la secuenciación y el tiempo son factores críticos. Mediante simulaciones de tiempo y espacio, los responsables del proyecto pueden prever posibles obstáculos y ajustar el plan de trabajo para garantizar un flujo eficiente de trabajo, reduciendo el riesgo de retrasos y maximizando la productividad. “Estos también forman la base del análisis y diseño estructural y pueden proporcionar modelos de entrada bien idealizados para el cálculo. Por lo tanto, el modelo en 3D para el análisis y diseño estructural ya está incluido en el caso ideal y puede ahorrar tiempo.” “De acuerdo con los datos de (DUBAL, 2020)...”

Otra ventaja clave de los modelos 3D en la construcción es la capacitación y comunicación efectiva que ofrecen. Estos modelos permiten presentar el proyecto de manera visual a las partes interesadas, desde clientes hasta trabajadores en el sitio de obra. Al utilizar representaciones tridimensionales, los involucrados pueden comprender mejor el diseño, lo que facilita la toma de decisiones y asegura que todos los actores del proyecto compartan una visión común. Además, los modelos 3D pueden utilizarse para entrenar al personal en la operación y mantenimiento de las instalaciones, proporcionando una herramienta valiosa para garantizar que los procedimientos de construcción y operación se lleven a cabo de manera eficiente y conforme a los estándares establecidos.

1.19 Softwares de implantación para realización de modelos 3D

“Con la adopción de tecnología, las constructoras pueden monitorear sus obras con drones, visualizar datos con modelado 3D y utilizar robots para las tareas cotidianas y repetitivas. Dentro del espectro tecnológico disponible, el rol del software en la transformación de la construcción es muy relevante. Dado que está cambiando la forma de trabajar y pensar en la industria de la construcción” (cosmosengineering, 2023)

En el ámbito de la ingeniería, los avances tecnológicos han permitido la creación de herramientas digitales que optimizan el diseño, la planificación y la ejecución de proyectos de infraestructura urbana. El uso de software especializado en modelado 3D y BIM (Building Information Modeling) se ha convertido en una práctica común para visualizar, simular y coordinar proyectos complejos con mayor precisión. En el caso de las ciclovías, estos programas ofrecen la posibilidad de diseñar rutas de manera detallada, teniendo en cuenta factores como la topografía, la seguridad vial, la accesibilidad y la integración con otros sistemas de transporte. Al aplicar herramientas como Autodesk Revit, Civil 3D o SketchUp, los ingenieros pueden crear modelos tridimensionales que permiten simular el comportamiento del tráfico, analizar el impacto ambiental y garantizar una mejor coordinación entre las distintas disciplinas involucradas. De esta manera, los softwares aplicados en la ingeniería no solo optimizan los procesos de diseño, sino que también contribuyen a la creación de infraestructuras más eficientes y sostenibles, como las ciclovías, que favorecen una movilidad activa y segura en las ciudades.

Algunos softwares que podemos implementar son:

- Autodesk Revit
- Autodesk Civil 3D
- Blender
- Argis Metashape
- AutoCAD

Dado que el proyecto de diseño de la ciclovía es de gran envergadura y presenta una alta complejidad, el software más adecuado sería Autodesk Civil 3D. Este programa está específicamente diseñado para proyectos de infraestructura civil, ofreciendo herramientas avanzadas para el modelado topográfico, diseño de carreteras y análisis de tráfico, lo que permite gestionar de manera eficiente los aspectos técnicos y geográficos del proyecto. Civil 3D facilita la creación de modelos 3D precisos de terrenos y vías, permitiendo simular el comportamiento del tráfico y optimizar la integración de la ciclovía con otras infraestructuras urbanas. Además, su capacidad para realizar análisis de drenaje y generar documentación detallada lo convierte en la herramienta ideal para garantizar la viabilidad y seguridad del proyecto en todas sus fases.

Por otro lado, Autodesk Revit complementa este enfoque al ser una plataforma BIM que facilita la colaboración entre distintas disciplinas del proyecto. Revit es especialmente útil cuando se requiere integrar el diseño de la ciclovía con otros elementos urbanos, como estaciones de bicicletas, puentes o accesos a edificios, permitiendo visualizar de forma más precisa la relación entre estos elementos y el entorno. Al utilizar Revit, se optimiza el proceso de coordinación y planificación, ya que los modelos 3D generados permiten detectar posibles conflictos antes de la construcción, lo que facilita la toma de decisiones y asegura una ejecución más eficiente y menos propensa a errores. La integración de Civil 3D para el diseño técnico y Revit para la gestión BIM proporciona una solución integral para un proyecto de tal envergadura y complejidad.

CAPÍTULO II:

DESARROLLO

2.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo describe el proceso de implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el diseño geométrico de la ciclovía correspondiente al corredor Tlaxcala–Apizaco. A diferencia del capítulo anterior, en el que se abordaron los fundamentos teóricos y conceptuales de BIM, aquí se expone de manera práctica cómo se aplicaron dichos conocimientos en un contexto real, tomando como base la elaboración y ejecución del Plan .

La implementación de la metodología BIM representó una nueva forma de concebir y organizar el desarrollo del proyecto, permitiendo una mejor integración de los datos, mayor eficiencia en la gestión de la información y una coordinación más precisa entre los distintos elementos del diseño geométrico. A través de este enfoque, se buscó mejorar la toma de decisiones, reducir errores en las etapas posteriores y fomentar una mayor colaboración entre los agentes involucrados en la fase de diseño.

Este capítulo detalla cada una de las acciones realizadas durante la primera etapa del proyecto, enfocándose principalmente en la planificación, modelado, análisis y documentación del diseño geométrico de la ciclovía, haciendo uso de herramientas digitales especializadas y estrategias colaborativas definidas en el Plan MIC. Además, se describe cómo se aplicaron diferentes niveles de desarrollo (LOD) en los modelos generados, asegurando el cumplimiento de los objetivos establecidos desde el inicio del proyecto.

2.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO DE LA CICLOVÍA TLAXCALA-APIZACO

La implementación de la metodología BIM representó un eje central en el desarrollo del presente proyecto, que consistió en el diseño de un tramo de ciclovía en el corredor Tlaxcala-Apizaco. Desde sus primeras fases, se estableció que el implementar esta metodología permitiría un control más eficaz del proceso de diseño, una mejor coordinación entre las distintas disciplinas involucradas, y una toma de decisiones más informada a través de modelos digitales precisos y actualizados. Para lograr este objetivo, la primera etapa del proyecto consistió en la elaboración detallada de un Plan de Ejecución BIM (Plan MIC *Anexo No 2*), el cual sirvió como base y guía para todas las actividades posteriores relacionadas con el modelado, coordinación y entrega de información.

El Plan MIC se diseñó con el propósito de establecer los lineamientos, procedimientos y responsabilidades necesarias para una correcta implementación del modelado digital en todas las fases del proyecto. Su contenido se estructuró en diversos apartados que abordaron desde la visión general y misión del plan, hasta aspectos técnicos relacionados con la estructura de los modelos, la infraestructura informática necesaria, los procedimientos de control de calidad, así como los entregables requeridos. Este documento se convirtió en una herramienta esencial para garantizar que la colaboración entre equipos fuera coherente, que se cumpliera con los estándares acordados y que los modelos generados aportaran valor tangible al proyecto.

La elaboración del Plan MIC inició con una definición clara del contexto y los objetivos del proyecto, lo que permitió desarrollar una visión estratégica enfocada en los beneficios que la metodología BIM podría aportar a una obra de infraestructura como lo es una ciclovía. Se trató de un proyecto en el que la precisión geométrica, la coordinación entre disciplinas y la gestión

eficiente de la información técnica eran elementos fundamentales. Por esta razón, desde un inicio se consideró que la metodología BIM no solo debía ser una herramienta de apoyo, sino una guía metodológica que rigiera todo el proceso, desde el levantamiento topográfico hasta la entrega de planos y documentación final.

Figura

Diagrama de flujo del plan MIC

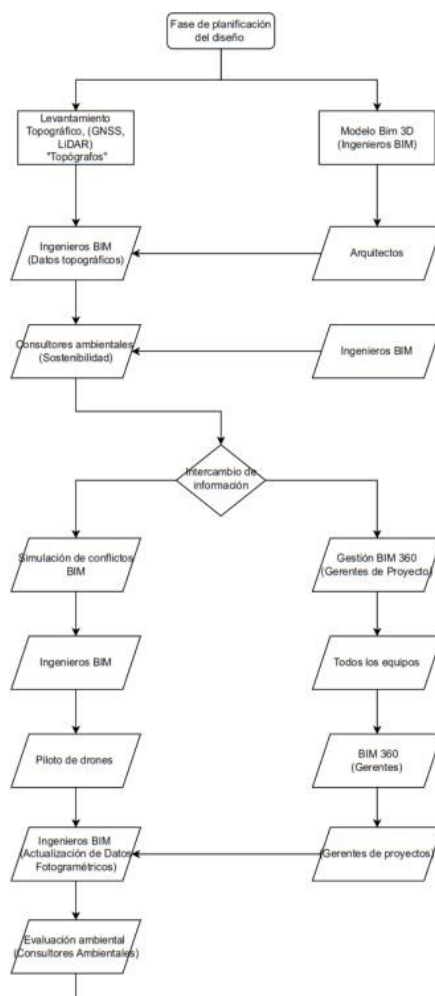


Diagrama de flujo del Plan de Ejecución BIM para el diseño de la ciclovía. Fuente:

Elaboración propia (2025).

Uno de los primeros pasos contemplados en el Plan MIC fue la definición del equipo de trabajo y sus respectivos roles y responsabilidades. Se asignaron perfiles específicos para la gestión del modelo, la dirección técnica del proyecto, la coordinación entre disciplinas y la supervisión de la calidad. Esta estructura organizativa permitió establecer una cadena de mando clara y definir flujos de comunicación efectivos entre los involucrados. Asimismo, se identificaron los recursos tecnológicos disponibles y se determinó qué herramientas serían utilizadas en cada fase del proceso, lo que incluyó software de modelado, plataformas de coordinación y sistemas de almacenamiento y respaldo de datos.

El Plan MIC también incluyó un apartado fundamental en el que se establecieron los usos del modelo BIM a lo largo del proyecto. Entre los más relevantes se encontraron el diseño geométrico, la simulación del comportamiento del modelo, la coordinación interdisciplinaria y la generación de documentación gráfica. Para cada uno de estos usos, se definieron objetivos específicos, metas técnicas y criterios de éxito, lo que permitió evaluar el desempeño del modelo en función de su utilidad práctica. Esta planeación estratégica de los usos del modelo fue crucial para maximizar el valor del BIM, alineando su aplicación con las necesidades reales del proyecto.

Otro elemento clave de la implementación fue la estandarización de los modelos a través de nomenclaturas, estructuras de archivos, sistemas de coordenadas y tipos de formatos para el intercambio de información. Se establecieron normas claras para nombrar archivos, dividir modelos por disciplinas, y utilizar formatos interoperables, lo cual facilitó la integración de información y redujo los errores durante la consolidación del modelo general. Esta estandarización también ayudó a asegurar que los modelos generados pudieran ser reutilizados en futuras etapas del ciclo de vida del proyecto, incluyendo operación y mantenimiento.

Dentro de la realización del Plan MIC, también se desarrollaron estrategias de colaboración que incluyeron la programación de reuniones periódicas de revisión, el uso de entornos comunes de datos para compartir modelos y documentos, y el establecimiento de protocolos para la detección y resolución de interferencias. Estas estrategias permitieron una mejora sustancial en la comunicación entre los actores del proyecto, reduciendo los tiempos de respuesta ante problemas detectados y promoviendo un entorno de trabajo más colaborativo. La colaboración, uno de los principios fundamentales del BIM, se vio reflejada en la fluidez con la que se integraron los aportes de topógrafos, ingenieros, proyectistas, arquitectos y modeladores.

En cuanto a la calidad de los modelos, se diseñaron procedimientos específicos de revisión y validación en diferentes etapas del proyecto. Estos procedimientos contemplaron revisiones técnicas por parte de personal especializado, validaciones cruzadas entre disciplinas, y el uso de software para detección de conflictos. También se establecieron mecanismos de seguimiento para verificar que los modelos cumplieran con los entregables acordados, tanto en contenido como en nivel de desarrollo (LOD), garantizando así que los productos entregados cumplieran con los estándares de calidad definidos en el Plan MIC.

La infraestructura informática necesaria para soportar la implementación también fue definida en el Plan MIC. Se evaluaron las capacidades técnicas de los equipos de cómputo, se identificaron las herramientas de software requeridas, y se implementaron políticas para el almacenamiento seguro de la información. El uso de plataformas en la nube y sistemas de respaldo automatizados permitió una mayor seguridad y accesibilidad de los modelos, al tiempo que se garantizaba la integridad de los datos a lo largo del proyecto.

Finalmente, el Plan definió con claridad los entregables requeridos, los cuales incluyeron modelos tridimensionales, planos técnicos, informes de avance, y documentación digital. Cada

entregable fue vinculado a un uso específico del modelo, y se definieron tanto sus formatos como sus fechas de entrega. Esta planificación minuciosa contribuyó a que el proyecto se desarrollara de manera ordenada y sistemática, con una trazabilidad clara de cada documento y modelo generado.

El desarrollo del diseño geométrico de la ciclovía no fue una tarea aislada, sino un proceso totalmente coordinado a través de los lineamientos establecidos en el Plan para la Ejecución BIM (Plan MIC). Este documento guio, desde el inicio, el flujo de trabajo colaborativo, integrando a los diferentes actores del proyecto y asignando roles y responsabilidades de manera estructurada. La planificación del modelado, la calendarización de los usos BIM y la gestión de la información fueron elementos fundamentales que permitieron garantizar una correcta implementación metodológica. Desde la etapa de levantamiento topográfico, se establecieron estrategias que buscaban garantizar que los datos recolectados pudieran ser integrados directamente al entorno digital de modelado, con el objetivo de minimizar tiempos de retrabajo y aumentar la fidelidad del modelo con respecto a las condiciones reales del sitio.

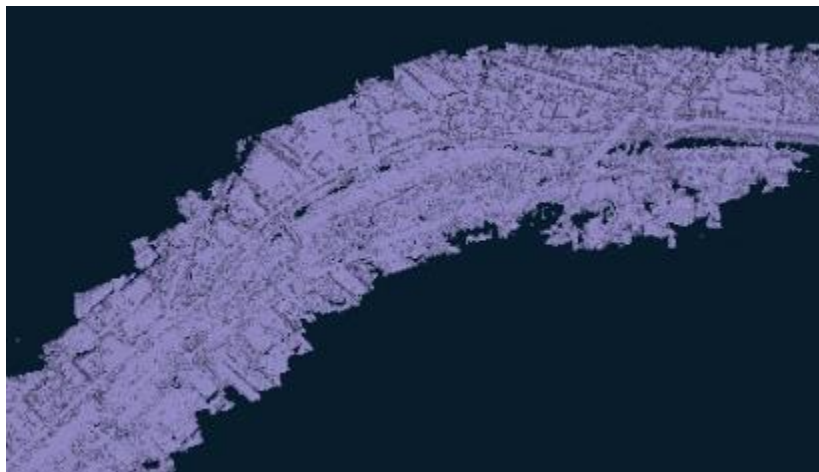
Los modelos digitales, a partir de esta metodología, no fueron simples representaciones gráficas, sino entornos inteligentes que reunían información clave de cada tramo del proyecto. Estos incluían datos topográficos tridimensionales, propiedades de materiales, ubicaciones geoespaciales, secciones típicas del proyecto y características constructivas. La interoperabilidad de los modelos fue otro aspecto fundamental. Se permitió que distintos softwares pudieran trabajar con la misma información sin perder calidad ni contenido, facilitando así una coordinación eficiente entre disciplinas como la topografía, el diseño geométrico, la señalética, el mobiliario urbano y la infraestructura verde.

Uno de los retos más significativos que se abordaron fue el de mantener una trazabilidad completa de la información. El Plan MIC estableció protocolos de revisión, validación y aprobación de los modelos, los cuales fueron aplicados desde la captura de datos en campo hasta la integración del diseño detallado. Las reuniones de coordinación, programadas dentro del cronograma BIM, permitieron resolver inconsistencias en tiempo real, disminuir errores y, sobre todo, facilitar la toma de decisiones fundamentadas por medio de visualizaciones 3D y análisis derivados de los modelos. Esto permitió anticipar conflictos geométricos entre elementos del diseño y características del terreno, lo que hubiera sido mucho más difícil de detectar con métodos tradicionales bidimensionales.

La integración de datos topográficos con herramientas de modelado digital fue esencial para la propuesta geométrica de la ciclovía. A través de nubes de puntos generadas por drones equipados con sensores LiDAR y ortofotos georreferenciadas, se construyó un modelo tridimensional del corredor que permitió identificar zonas críticas, cambios de pendiente, obstáculos existentes y espacios disponibles. Esta información no solo alimentó el modelado geométrico, sino que también fue utilizada para generar análisis de visibilidad, accesibilidad y conectividad. Todas estas evaluaciones fueron posibles gracias al entorno colaborativo habilitado por BIM, que permitía el acceso simultáneo de distintos especialistas a la misma base de datos digital, garantizando consistencia y coherencia en las decisiones técnicas.

FIGURA

NUBE DE PUNTOS DENSA



Nube de puntos densa obtenida mediante fotogrametría con dron en el corredor Tlaxcala–Apizaco. Fuente: Elaboración propia (2025)

A lo largo de las etapas posteriores, el Plan MIC funcionó como una hoja de ruta para determinar cómo se desarrollarían los entregables del proyecto, así como los estándares gráficos, simbologías y formatos que se debían cumplir. La nomenclatura de archivos, la estructura de carpetas digitales y los métodos de respaldo y conservación de versiones fueron definidos desde un inicio en el documento, lo cual permitió que la administración de la información fuera clara y segura. Además, se implementaron mecanismos de control de calidad que incluían revisiones cruzadas, validaciones por parte de expertos y simulaciones en entorno digital antes de emitir cualquier plano constructivo.

Es importante mencionar que la implementación de esta metodología no solo optimizó el diseño, sino que también mejoró la comunicación entre los distintos actores del proyecto. Al contar con modelos digitales centralizados, los equipos de trabajo pudieron identificar puntos críticos y

hacer ajustes sobre la marcha, lo cual redujo considerablemente los márgenes de error y permitió la generación de planos mucho más claros y comprensibles. Incluso en la etapa de diseño preliminar, se utilizaron visualizaciones y animaciones que permitieron presentar el proyecto de manera más atractiva y comprensible ante los usuarios y autoridades involucradas, lo que fortaleció su validación y aceptación.

La implementación del Plan implicó también una transformación en la forma de trabajo del equipo. A lo largo del desarrollo del proyecto, se llevaron a cabo sesiones de capacitación técnica para dominar herramientas como Revit, Civil 3D, Metashape y Cloud4d , así como talleres específicos para el análisis de usos BIM relacionados con diseño geométrico, coordinación multidisciplinaria, detección de interferencias y planificación de obra. Esta profesionalización no solo aportó calidad al modelo, sino que también fortaleció el equipo humano involucrado en la gestión del proyecto.

A partir de esta integración metodológica, la ciclovía del corredor Tlaxcala–Apizaco fue modelada con un enfoque completamente digital, lo que permitió contar con una base sólida para la futura ejecución de obra. Cada elemento del diseño fue pensado y ubicado considerando su viabilidad constructiva, su impacto ambiental y su interacción con el entorno urbano existente. Por ejemplo, los cruces peatonales, las rampas de accesibilidad, las pendientes de la vía, el mobiliario urbano y la señalética vertical y horizontal fueron evaluados en conjunto mediante simulaciones de circulación, garantizando así un diseño funcional, seguro y alineado con las normativas vigentes.

El uso del BIM no se limitó únicamente al diseño geométrico. También se contemplaron usos estratégicos como la visualización del avance, la planificación del cronograma y la gestión documental. La implementación de estos usos permitió construir una plataforma digital robusta

que acompañará el ciclo de vida completo del proyecto, desde su concepción hasta su mantenimiento. Este enfoque integral es lo que diferencia a un proyecto tradicional de uno que adopta completamente la metodología BIM, en donde cada decisión técnica está respaldada por datos, modelos y simulaciones que garantizan su viabilidad y eficiencia.

La integración de la metodología BIM en el diseño de la ciclovía Tlaxcala–Apizaco no solo proporcionó un marco de trabajo estructurado y eficiente, sino que también implicó un cambio de mentalidad en la forma en que se abordaron las distintas fases del proyecto. A lo largo de todo el proceso de diseño, se priorizó la optimización de recursos y la minimización de riesgos, elementos esenciales que pueden hacer la diferencia en proyectos de infraestructura compleja. Con la aplicación de BIM, se crearon entornos virtuales en los que se exploraron distintas soluciones a problemas de diseño, accesibilidad y funcionalidad, permitiendo prever situaciones que, de otro modo, solo habrían sido identificadas durante la construcción.

FIGURA

MODELADO 3D



Modelo 3D en entorno BIM para el corredor Tlaxcala–Apizaco. Fuente: Elaboración propia (2025).

El modelo tridimensional de la ciclovía no solo cumplió con su propósito inicial de representar el trazado geométrico, sino que sirvió también como base para realizar simulaciones y análisis de comportamiento del diseño bajo diversas condiciones. Estos análisis fueron fundamentales para determinar la adecuación de la geometría del trazado con respecto a las características topográficas del terreno, los tipos de suelo, las pendientes y la seguridad de los ciclistas. La visualización en 3D del proyecto permitió simular el flujo de tránsito, tanto de ciclistas como de peatones, evaluando posibles puntos conflictivos que podrían representar un riesgo en el futuro. De esta manera, los posibles ajustes fueron realizados con antelación, evitando modificaciones costosas y retardos durante la construcción.

Uno de los aspectos más destacables de la implementación de la metodología BIM fue la interoperabilidad entre las distintas disciplinas involucradas en el proyecto. El uso de herramientas de modelado como Revit para la parte arquitectónica, Civil 3D para el diseño de carreteras y caminos, y Metashape para la observación de interferencias en el modelo real, permitió que los equipos de trabajo pudieran colaborar de manera efectiva. Cada especialidad desarrolló su parte del modelo en paralelo, sin el riesgo de trabajar con versiones desactualizadas o descoordinadas. Además, el uso de plataformas colaborativas como BIM 360 garantizó que todos los involucrados tuvieran acceso en tiempo real a la información más actualizada, lo que permitió resolver dudas o problemas de forma rápida y eficiente.

FIGURA

CRONOGRAMA

Cronograma

Etapas	Tareas	Duración	Semana
1. Planificación y Definición del Proyecto		3 semanas	Semana 1-3
- Definir los objetivos de diseño y requisitos iniciales del proyecto	Identificar objetivos, necesidades de usuario y limitaciones	1 semana	1
- Recolectar información preliminar y normativa	Obtener planos topográficos, normas de diseño vial, etc.	1 semana	2
- Definir nivel de desarrollo (LOD) y estándares de modelado BIM	Establecer LOD necesario para cada elemento del modelo	1 semana	3
2. Levantamiento de Información y Análisis del Sitio		5 semanas	Semana 4-8
-Realizar levantamiento topográfico con GNSS	-Obtener datos precisos de altimetría y coordenadas	2 semana	4-5
- Realizar levantamiento fotogramétrico con dron	-Generar ortofotos y nube de puntos	1 semanas	Semana 6
- Análisis de datos e integración en el modelo inicial	Procesar datos para establecer la base del modelo	2 semanas	Semana 7-8

Cronograma de actividades para la implementación de la metodología BIM en el diseño de la ciclovía. Fuente: Elaboración propia (2025).

La gestión de la información es otro de los pilares fundamentales de la metodología BIM. En este proyecto, se implementó una estructura jerárquica de archivos que permitió almacenar de manera ordenada tanto los datos gráficos como los documentales. Además de los planos y modelos 3D, se almacenaron especificaciones técnicas, presupuestos, cronogramas y detalles constructivos, todos ellos vinculados directamente al modelo digital. Esto garantizó que, al momento de la construcción, los contratistas y los equipos de trabajo tuvieran acceso directo a la información más precisa y completa, reduciendo la posibilidad de errores en la interpretación de los datos y aumentando la eficiencia del proceso constructivo.

Un desafío adicional que se superó con la implementación del Plan MIC fue la coordinación de la infraestructura existente con el diseño propuesto para la ciclovía. El modelo digital permitió detectar interferencias y problemas de compatibilidad con las instalaciones y elementos urbanos ya presentes en el sitio. Las tuberías de servicios públicos, las líneas eléctricas, las estructuras de drenaje y otros elementos urbanos fueron analizados y coordinados con la nueva infraestructura de la ciclovía, de modo que las modificaciones necesarias se planificaron y ejecutarán en la construcción. Este tipo de análisis es particularmente valioso en proyectos urbanos donde las condiciones del terreno pueden ser complejas, y el trabajo en campo puede verse interrumpido por la necesidad de resolver estos conflictos en el lugar.

Además de la coordinación técnica, la metodología BIM permitió establecer un plan de calidad que fue aplicado durante todo el proceso de diseño. Este plan incluyó revisiones periódicas de los modelos, asegurando que el cumplimiento de los estándares de diseño y construcción establecidos por el cliente, así como por las normativas locales e internacionales, fuera el adecuado. El uso de simulaciones y análisis previos a la construcción no solo permitió validar el diseño, sino que también ayudó a prever y mitigar problemas que podrían haber sido costosos de

solucionar si se hubieran identificado durante la ejecución del proyecto. Se implementarán procedimientos de validación de modelos, en los cuales se llevaron a cabo revisiones detalladas de los archivos y su contenido, garantizando que no se pasara por alto ningún aspecto del diseño.

La planificación y ejecución de los entregables también fue mejorada gracias al uso de BIM. El Plan MIC permitió determinar, desde el inicio del proyecto, cuáles serían los entregables esperados, cómo serían estructurados y cuándo debían ser entregados. Estos entregables no solo incluían los planos finales de la ciclovía, sino también modelos 3D, informes técnicos y otros documentos relacionados con la proyección del proyecto. La claridad en los entregables y su formato permitió que el equipo de trabajo y los interesados en el proyecto tuvieran una visión clara de los avances, lo que también facilitó la gestión de expectativas y la transparencia en el proceso.

Finalmente, uno de los logros más importantes del proyecto fue la formación de un equipo multidisciplinario capaz de aplicar con eficacia la metodología BIM. A lo largo de la ejecución del proyecto, el equipo fue capacitado en el uso de diversas herramientas BIM, lo que permitió que se crearan modelos cada vez más detallados y precisos. Esta capacitación no solo benefició el desarrollo del proyecto en sí, sino que también constituyó un aporte significativo a la profesionalización del equipo, lo que repercute directamente en la calidad del trabajo realizado y en la eficiencia de los futuros proyectos en los que participen.

En el contexto del diseño de la ciclovía Tlaxcala-Apizaco fue la definición de metas y objetivos específicos desde el inicio del proyecto. Estos objetivos fueron fundamentales para guiar el desarrollo del proyecto, garantizando que todas las fases del diseño estuvieran alineadas con los requerimientos del propietario del proyecto y los estándares de calidad necesarios. En este sentido, la metodología BIM permitió establecer una estrategia clara para abordar el diseño, la coordinación de equipos, la asignación de recursos y el control de la calidad a lo largo de todo el proceso.

Además, la aplicación de esta metodología permitió generar una planificación detallada, en la que cada fase del proyecto, desde el levantamiento topográfico hasta la simulación del diseño final, fuera evaluada y supervisada por los diferentes actores involucrados.

La gestión de la información es otro de los beneficios clave que proporciona el uso de BIM. En el proyecto de la ciclovía, toda la información del proyecto se centralizó en un repositorio común, accesible para todos los miembros del equipo. Esto permitió que la información estuviera disponible en tiempo real para todos los involucrados, facilitando la colaboración y la toma de decisiones. La centralización de la información también garantizó que las versiones de los documentos estuvieran siempre actualizadas. Además, los modelos BIM utilizados se integraron con sistemas de gestión de proyectos, lo que facilitó la gestión de tiempos, costos y recursos, asegurando que el proyecto se mantuviera dentro de los plazos establecidos.

En cuanto a la gestión de la calidad, se implementaron procedimientos de control en cada fase del proyecto, asegurando que el diseño cumpliera con los estándares de calidad preestablecidos. Los modelos BIM, que se fueron refinando a medida que avanzaba el diseño, fueron evaluados y validados en revisiones periódicas realizadas por todo el equipo de trabajo. Estas revisiones sirvieron no solo para asegurar la precisión del modelo, sino también para detectar posibles inconsistencias o errores en el diseño antes de su construcción. Los modelos BIM también fueron utilizados para realizar simulaciones de calidad, en las que se analizaron aspectos como la seguridad de los ciclistas, la accesibilidad y la interacción con otros modos de transporte. La capacidad de realizar estos análisis antes de la construcción permitió realizar ajustes en el diseño que de otra forma solo se habrían identificado durante la fase de ejecución.

La implementación de estrategias de comunicación efectivas también jugó un papel crucial en la aplicación de BIM en el proyecto. A través de plataformas colaborativas, como BIM 360, se

facilitó la comunicación constante entre los equipos de trabajo, permitiendo la actualización continua de los modelos y la discusión en tiempo real de posibles soluciones. Las reuniones periódicas de coordinación fueron fundamentales para resolver problemas y tomar decisiones informadas, asegurando que todos los miembros del equipo estuvieran alineados en cuanto a los objetivos y los plazos del proyecto. La gestión de la información también incluyó la generación de copias de seguridad de todos los modelos y documentos relevantes, lo que garantizó que el proyecto pudiera continuar sin interrupciones en caso de fallos técnicos.

Otro aspecto importante en la implementación de BIM fue la gestión de los entregables del proyecto. A lo largo de todo el proceso de diseño, se definieron claramente los entregables, tanto los modelos 3D como los planos y documentos técnicos, que fueron organizados y estructurados en un sistema de archivo que permitió su fácil acceso y actualización. La correcta gestión de los entregables aseguró que el proyecto avanzara de acuerdo con lo planeado y que todos los interesados pudieran consultar la información relevante en cualquier momento. Además, la gestión de los entregables permitió que el equipo de trabajo pudiera realizar un seguimiento constante de los avances, identificar posibles retrasos o problemas y tomar decisiones informadas para evitar contratiempos durante el proyecto.

La coordinación del proyecto fue otra de las áreas en las que BIM jugó un papel crucial. El uso de modelos 3D permitió que los constructores pudieran visualizar el proyecto en su totalidad antes de iniciar la obra. Esto facilitó la planificación de la construcción y la gestión de recursos, ya que los equipos de construcción pudieron identificar las tareas y actividades a realizar en cada fase del proyecto. La visualización previa también permitió prever posibles interferencias con otras infraestructuras o servicios existentes, lo que permitió tomar decisiones anticipadas para resolver

cualquier conflicto y asegurar que la construcción se llevara a cabo de manera fluida y sin contratiempos.

Además de los aspectos ya mencionados, uno de los beneficios clave de la implementación de la metodología BIM en el proyecto de la ciclovía fue la reducción de riesgos y errores en la fase de diseño. La integración de la tecnología BIM permitió realizar un análisis preventivo de posibles conflictos entre los diferentes elementos del diseño. Al contar con un modelo digital tridimensional, los ingenieros y arquitectos pudieron detectar posibles interferencias en las instalaciones y elementos de la infraestructura, como la alineación de la ciclovía con otras redes de transporte, la ubicación de servicios públicos, o el cruce con áreas protegidas o de alto valor ambiental. Este tipo de análisis, que en proyectos tradicionales se realiza en fases posteriores del diseño o incluso durante la construcción, se llevó a cabo de manera anticipada gracias a la visualización del modelo en 3D. De este modo, se logró optimizar el proceso de toma de decisiones y reducir significativamente la probabilidad de errores costosos o retrabajos.

En el marco del Plan MIC, se establecieron lineamientos claros sobre los procesos de revisión y validación del modelo. Estos procesos fueron fundamentales para garantizar que el modelo final de la ciclovía cumpliera con los estándares establecidos por los encargados y las normativas locales e internacionales de diseño vial. Las revisiones periódicas, realizadas a través de sesiones de coordinación con el equipo multidisciplinario, permitieron identificar áreas de mejora en los modelos 3D y hacer ajustes en tiempo real, incluso antes de la construcción. Este enfoque también promovió la participación activa de todos los involucrados en el proyecto, lo que a su vez incrementó la calidad del diseño final.

Otra de las características destacadas del proyecto fue la gestión de los recursos humanos involucrados en el diseño de la ciclovía. En este contexto, el Plan MIC también detalló la

distribución de roles y responsabilidades para cada miembro del equipo, lo que permitió una gestión más eficiente de las tareas. Gracias a la metodología BIM, fue posible asignar tareas específicas a cada disciplina (arquitectura, ingeniería civil, movilidad, entre otras) y asegurarse de que todas las fases del proyecto estuvieran claramente definidas. Además, la utilización de plataformas colaborativas permitió que todos los miembros del equipo tuvieran acceso inmediato a la información actualizada, lo que facilitó la coordinación entre las diferentes áreas y promovió la resolución rápida de problemas.

El uso de simulaciones y análisis predictivos también jugó un papel esencial en la fase de diseño. Utilizando herramientas avanzadas dentro de la plataforma BIM, como el análisis de flujos de tráfico y las simulaciones de la interacción entre los ciclistas y otros usuarios de la vía, se optimizó el diseño de la ciclovía para garantizar que fuera funcional, segura y eficiente. Los análisis de tráfico permitieron predecir cómo los ciclistas utilizarían la ciclovía en diferentes condiciones de tráfico y en diferentes horarios del día, lo que permitió ajustar el diseño para maximizar la fluidez del tráfico ciclista y minimizar los puntos de conflicto con otros modos de transporte, como los vehículos y los peatones.

El modelo 3D de la ciclovía se utilizó también para comunicar de manera efectiva el diseño a los involucrados y a la comunidad en general. A través de herramientas de visualización, como renders y recorridos virtuales, el equipo del proyecto pudo presentar el diseño de la ciclovía a los diferentes interesados, incluidos los funcionarios públicos. Estas presentaciones visuales facilitaron la comprensión del proyecto, permitiendo evaluar de manera clara los beneficios de la ciclovía y contribuir con sus comentarios y sugerencias, lo que en última instancia contribuyó a mejorar el diseño.

Una vez que se definieron los objetivos y las metas, y tras las revisiones iniciales del modelo, el siguiente paso fue el análisis de riesgos y la identificación de posibles problemas en la fase de proyección. En este sentido, BIM jugó un papel esencial en la predicción de posibles conflictos de interferencia entre los diferentes sistemas de la infraestructura, como las instalaciones subterráneas de agua, electricidad y telecomunicaciones, o el cruce de la ciclovía con otras vías de tránsito. Mediante el uso de BIM, se pudieron realizar análisis de interferencias que permitieron al equipo de diseño hacer modificaciones anticipadas al trazado de la ciclovía para evitar futuros conflictos, lo que resultó en una reducción significativa de los posibles costos y tiempos de que podrían darse durante la ejecución durante la fase de construcción.

Por último, la entrega final del modelo y los entregables de BIM fue un aspecto crucial para la documentación y la operación posterior del proyecto. Tras la construcción de la ciclovía, el modelo BIM se entregó a las autoridades locales, para que pudiera ser utilizado como una herramienta de seguimiento a largo plazo. El modelo no solo contenía información sobre el diseño y la construcción de la ciclovía, las especificaciones técnicas, los puntos de mantenimiento y las rutas de relevancia. Esta información será de gran utilidad para el momento de la ejecución de la obra.

2.3 Planificación del Proyecto y Elaboración del Plan MIC

La implementación de la metodología BIM en el proyecto comenzó con la elaboración del Plan MIC *Anexo No 2*, el cual fungió como el documento rector que definió los lineamientos, procesos y objetivos de la aplicación de esta metodología durante el desarrollo del diseño geométrico de la ciclovía. Esta etapa fue fundamental para establecer una base estructurada y ordenada que permitiera una correcta gestión de la información a lo largo del proyecto.

El Plan MIC contempló diversos apartados clave, entre los que destacan: la visión general del proyecto, la identificación del personal clave y sus respectivos roles, los requerimientos de modelado y colaboración (MIC), la definición de usos BIM, el cronograma de actividades, los estándares de nomenclatura, los niveles de desarrollo (LOD) requeridos para cada fase, así como la estructura de modelos y entregables digitales.

Desde un inicio se estableció que la metodología BIM no solo sería una herramienta de modelado tridimensional, sino un proceso integral de gestión de información. Para ello, se definieron con claridad los usos BIM que serían aplicados en la etapa de diseño, entre los cuales destacan el modelado del diseño geométrico, la coordinación interdisciplinaria, la verificación de interferencias, la visualización del proyecto y la generación de entregables digitales.

Asimismo, se delimitaron los niveles de participación y responsabilidad de cada uno de los actores involucrados, incluyendo diseñadores, modeladores, coordinadores BIM y revisores. Se asignaron plataformas específicas de trabajo colaborativo y software especializado como Autodesk Civil 3D para el diseño geométrico y Revit para elementos complementarios, garantizando así la interoperabilidad entre modelos y disciplinas.

La elaboración del Plan MIC permitió también definir el **cronograma de modelado**, estableciendo fechas clave para la entrega de modelos con determinados niveles de desarrollo, la revisión colaborativa mediante plataformas en la nube, y la generación de reportes de seguimiento.

La siguiente tabla muestra un resumen de los principales componentes del Plan MIC:

Tabla 2

ELEMENTOS DEL PLAN MIC

Elemento del Plan MIC	Descripción
Objetivos BIM	Implementar modelado 3D, coordinación, visualización y generación de entregables
Software principal	Autodesk Civil 3D, Revit, Navisworks, BIM 360
Usos BIM	Diseño geométrico, coordinación, detección de interferencias, documentación
Roles definidos	Modelador, Coordinador BIM, Supervisor, Revisor
Niveles de Desarrollo (LOD)	LOD 200 para diseño preliminar, LOD 300 para diseño ejecutivo
Entregables	Entregables

2.4 Formulación del Diseño Geométrico Integrado en Entornos BIM

Una vez establecido el Plan MIC, se dio inicio al modelado del diseño geométrico de la ciclovía, el cual fue desarrollado dentro de un entorno digital colaborativo que integró diversas herramientas especializadas. Esta fase se enfocó en representar de forma precisa los elementos que conforman el trazo de la ciclovía, considerando tanto sus componentes geométricos como sus condiciones topográficas reales.

Para la generación del modelo geométrico se empleó principalmente Autodesk Civil 3D, software que permitió construir un modelo digital del terreno a partir de datos obtenidos mediante levantamientos topográficos y fotogrametría con dron. Esta base sirvió para desarrollar el alineamiento horizontal, vertical y las secciones transversales, asegurando un diseño adaptado al contexto físico del sitio.

El proceso inició con la importación del modelo del terreno (Superficie TIFF), generado a partir de nubes de puntos. Posteriormente se diseñaron los alineamientos horizontales, definiendo el trazo de la ciclovía con base en los criterios de diseño vial establecidos por la normatividad vigente. A esto le siguió el desarrollo del perfil longitudinal, el cual consideró pendientes máximas, visibilidad, puntos críticos de cruce y conexión con infraestructura existente.

La sección transversal típica fue modelada con elementos paramétricos, integrando la superficie de rodamiento para bicicletas, guarniciones, zonas de amortiguamiento, señalización horizontal, y otros componentes necesarios para su correcta operación y seguridad. La posibilidad de visualizar en 3D el comportamiento del trazo a lo largo de su desarrollo permitió una mejor evaluación del diseño y una toma de decisiones más precisa.

Asimismo, se realizaron análisis de interferencias entre el trazo propuesto y los elementos existentes del entorno, como banquetas, camellones, pasos peatonales y mobiliario urbano. Estas evaluaciones fueron clave para garantizar la viabilidad del diseño y anticipar ajustes antes de la generación de planos ejecutivos.

En esta etapa, el modelo no solo sirvió como una representación tridimensional, sino también como una fuente centralizada de información, donde cada elemento contenía datos útiles como dimensiones, materiales, ubicación geoespacial y fases de ejecución. Esta integración de geometría y datos permitió optimizar el flujo de trabajo y facilitar la colaboración entre los involucrados.

2.5 Aplicación de Niveles de Desarrollo (LOD) en el Modelado Digital

Durante el desarrollo del diseño geométrico de la ciclovía, se establecieron distintos niveles de desarrollo (LOD, por sus siglas en inglés) como parte fundamental de la metodología BIM implementada. Estos niveles permitieron organizar de manera progresiva la información contenida en los modelos, asegurando que cada fase del proyecto contara con el grado de detalle necesario para su objetivo específico. Cabe mencionar que la explicación detallada de los LOD se encuentra en el marco teórico, por lo que en esta sección únicamente se abordará su aplicación práctica dentro del proyecto.

En una primera etapa, correspondiente al diseño preliminar, se trabajó con un LOD 200. Este nivel permitió representar los elementos principales de la ciclovía de forma general, con dimensiones aproximadas y una ubicación referencial. A partir de este modelo preliminar fue posible analizar la viabilidad del trazo, realizar revisiones de compatibilidad con el entorno y generar visualizaciones que facilitaron la validación del proyecto por parte del equipo técnico y las partes interesadas.

Posteriormente, a medida que se fueron incorporando mayores detalles constructivos y especificaciones técnicas, el modelo evolucionó hacia un LOD 300. En esta fase, se incorporaron elementos como capas estructurales del pavimento, señalética horizontal y vertical, mobiliario urbano, así como aspectos específicos del entorno inmediato, tales como accesos peatonales, rampas, luminarias y cruces viales. Esta transición permitió generar documentación ejecutiva con base en el modelo digital, garantizando la consistencia entre planos, cortes, secciones y vistas, todos vinculados directamente a los elementos parametrizados del modelo BIM.

La utilización de niveles de desarrollo dentro del proceso permitió controlar la madurez de la información en función del avance del proyecto, y representó una herramienta clave para la gestión del modelo durante la fase de diseño. Este enfoque también fue fundamental para establecer hitos de entrega y revisión, asegurando que el modelo evolucionara de manera ordenada y con los grados de definición necesarios para su uso posterior en procesos constructivos o de mantenimiento.

2.6 Gestión de la Coordinación Multidisciplinaria en Entornos BIM.

Uno de los principales beneficios que ofreció la implementación de la metodología BIM en el diseño de la ciclovía fue la posibilidad de establecer un entorno colaborativo y coordinado entre los diferentes actores del proyecto. A través de plataformas digitales y herramientas especializadas, se logró centralizar la información del modelo y facilitar la comunicación entre diseñadores, revisores y coordinadores, asegurando así una toma de decisiones más ágil y precisa.

Desde el inicio del proceso se definieron flujos de trabajo que permitieron una correcta interacción entre las distintas disciplinas involucradas, tales como el diseño geométrico, la infraestructura peatonal, el mobiliario urbano y la señalización. Cada una de estas áreas aportó su parte al modelo, trabajando de forma federada para que los elementos pudieran visualizarse y evaluarse de manera integral. Para lograrlo, se establecieron protocolos de colaboración que incluyeron normas de nomenclatura, estructuras de carpetas compartidas, métodos de revisión y control de versiones.

Durante el desarrollo del diseño, se utilizaron plataformas como BIM y MIRO para la gestión de archivos. Estas herramientas permitieron identificar de forma temprana conflictos espaciales entre elementos del proyecto, tales como el cruce de mobiliario con líneas de flujo peatonal o la proximidad entre señalización y equipamiento urbano. Gracias a estos procesos de coordinación, se realizaron ajustes a tiempo que evitaron errores durante la elaboración de los entregables ejecutivos.

La colaboración no solo se limitó al aspecto técnico, sino que también se extendió a las decisiones de diseño urbano y criterios de accesibilidad. A través de sesiones de revisión virtual, se logró integrar observaciones de especialistas, lo que enriqueció la calidad del proyecto y

fortaleció su enfoque multidisciplinario. Esta dinámica de trabajo colaborativo permitió mantener una comunicación constante y fluida, optimizando el uso del tiempo y recursos disponibles.

En suma, la coordinación interdisciplinaria basada en BIM representó una mejora significativa frente a los métodos tradicionales, no solo en términos de precisión técnica, sino también en la capacidad de integrar a todos los participantes en un entorno común de trabajo, donde la información se encontraba actualizada y accesible en tiempo real.

Esta integración de disciplinas dentro del entorno BIM también favoreció una mayor trazabilidad de las decisiones de diseño. Cada modificación o comentario realizado durante las sesiones de revisión quedó registrado dentro del sistema, lo cual permitió llevar un control detallado de los cambios aplicados en el modelo. De esta forma, se tuvo claridad sobre qué ajustes se hicieron, quién los propuso, en qué fecha se implementaron y cómo afectaron al diseño general, lo cual resultó fundamental para mantener la coherencia entre lo proyectado y los requerimientos del proyecto.

Además, la metodología facilitó la creación de una cultura de trabajo más colaborativa y proactiva entre los participantes. Los modeladores y coordinadores BIM no solo se encargaron de representar la información, sino que también asumieron un rol activo en la resolución de problemas y en la propuesta de soluciones técnicas. Esta dinámica favoreció el intercambio constante de ideas, lo que permitió detectar oportunidades de mejora que en un proceso convencional podrían haber pasado desapercibidas. En consecuencia, el modelo no fue únicamente un producto final, sino una herramienta de trabajo vivo que evolucionó gracias a las contribuciones conjuntas del equipo multidisciplinario.

2.7 Producción de Entregables Digitales y Documentación Técnica del Modelo BIM

Uno de los aspectos más destacados de la implementación de la metodología BIM fue la capacidad de generar entregables de alta calidad y precisión, basados en el modelo digital desarrollado. La generación de estos entregables se realizó a partir de los modelos 3D, los cuales fueron utilizados para crear planos constructivos, informes técnicos, y otras documentaciones necesarias para la fase de ejecución de la obra. A través de herramientas especializadas como Revit y Metashape, se extrajeron los diferentes documentos de forma automatizada, lo que redujo considerablemente el tiempo de trabajo y minimizó los posibles errores asociados a la transcripción manual.

La utilización de los modelos BIM permitió que los entregables estuvieran completamente alineados con la información contenida en el modelo digital. Esto se tradujo en la generación de planos detallados con cortes, secciones, vistas y detalles constructivos directamente vinculados a los elementos del modelo, garantizando que las representaciones gráficas estuvieran actualizadas en todo momento. Los reportes se extrajeron automáticamente del modelo, lo que permitió obtener datos más precisos y consistentes, ayudando a reducir el margen de error y proporcionando una base confiable para la toma de decisiones en las etapas para la futura ejecución del del proyecto.

2.8 Evaluación Técnica y Análisis de Resultados del Modelo BIM

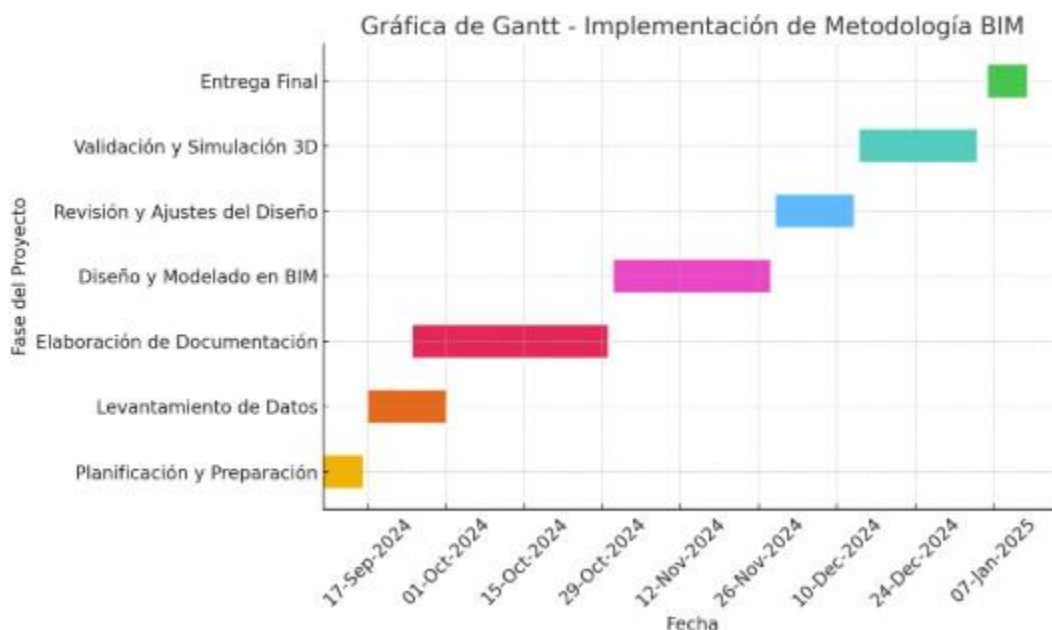
La fase de evaluación y análisis de resultados es crucial para validar la efectividad de la implementación de la metodología BIM en el diseño de la ciclovía. Una vez que el modelo estuvo completo y los entregables generados, se llevó a cabo un exhaustivo análisis para determinar si los objetivos establecidos en el Plan MIC se habían cumplido de manera satisfactoria. Este análisis consideró tanto los aspectos técnicos como los operativos del proceso, evaluando la precisión de los modelos, la coordinación entre disciplinas, el cumplimiento de plazos, y la calidad de los entregables. Uno de los aspectos más importantes evaluados fue la calidad de la información contenida en el modelo. Se verificó que todos los elementos del diseño, como el trazado, las secciones transversales, los componentes de la infraestructura y los elementos urbanos, estuvieran correctamente modelados y parametrizados. Además, se revisó si las interferencias entre los diferentes sistemas fueron identificadas y resueltas a tiempo, lo que garantizó que el diseño fuera ejecutable sin contratiempos. También se realizó un análisis comparativo entre el modelo BIM y los entregables tradicionales, como planos y memorias de cálculo, para evaluar la eficiencia en la generación de documentación y la reducción de errores.

A nivel operativo, se evaluó la interacción de los equipos de trabajo, la eficiencia en el flujo de información y la efectividad de la colaboración interdisciplinaria. En este sentido, se observó una mejora significativa en comparación con métodos tradicionales, ya que las revisiones y modificaciones fueron mucho más ágiles y se lograron resolver en tiempo real. También se analizó la reducción de retrabajos y la mejora en la coordinación entre los diseñadores, lo que permitió detectar posibles conflictos antes de que se convirtieran en problemas costosos durante la futura construcción de la obra. Este análisis demostró que la metodología BIM no solo mejoró la calidad del diseño, sino también optimizó los tiempos y recursos del proyecto.

Tabla de fases de desarrollo

Fase del Proyecto	Actividades principales	Fecha de Inicio	Fecha de Fin	Duración
Fase 1: Planificación y Preparación	- Definición de objetivos específicos- Identificación de recursos y equipos tecnológicos- Revisión del alcance- Selección de equipos (drones, GNSS, LiDAR)	9/9/2024	16/09/2024	1 semana
Fase 2: Levantamiento de Datos	- Levantamiento topográfico con GNSS- Fotogrametría con drones- Escaneo LiDAR- Análisis preliminar de datos	17/09/2024	24/09/2024	2 semanas
Fase 3: Elaboración de Documentación	- Dibujo y extracción de datos topográficos- Generación de planos- Revisión de áreas de ejecución- Corrección de información	25/09/2024	30/10/2024	5 semanas
Fase 4: Diseño y Modelado en BIM	- Desarrollo de diseño preliminar- Modelado en BIM- Coordinación interdisciplinaria- Integración de datos topográficos y fotogramétricos	31/10/2024	28/11/2024	4 semanas
Fase 5: Revisión y Ajustes del Diseño	- Revisión del modelo BIM- Evaluación técnica (seguridad, accesibilidad, medio ambiente)- Resolución de conflictos	29/11/2024	13/12/2024	2 semanas
Fase 6: Validación y Simulación 3D	- Identificación de fallas en modelos 3D- Simulación de ejecución- Renderización del modelo	14/12/2024	4/1/2025	3 semanas
Fase 7: Entrega Final	- Revisión final con el equipo- Entrega del modelo BIM- Documentación y cierre de proyecto	6/1/2025	13/01/2025	1 semana

Nota: tabla de relación en la efectividad de actividades realizada por el autor



Nota: La tabla y la gráfica fueron elaboradas por el autor.

2.9 Conclusiones sobre la Implementación de la Metodología BIM

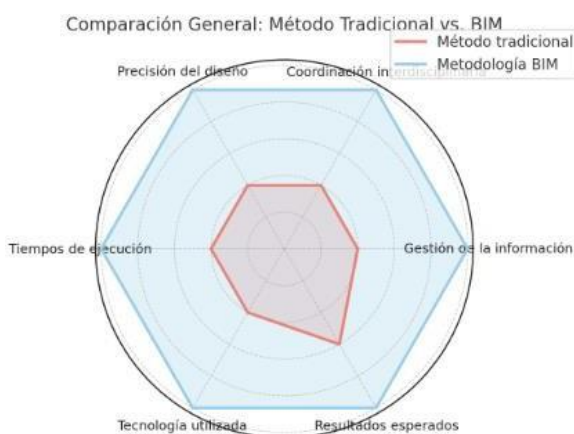
La implementación de la metodología BIM en el diseño de la ciclovía ha demostrado ser un factor clave para optimizar la calidad, eficiencia y precisión del proyecto. A lo largo de todo el proceso, la capacidad de contar con un modelo digital integrado permitió realizar un diseño más detallado y coherente, lo que a su vez facilitó la identificación temprana de posibles conflictos y la resolución de interferencias entre disciplinas. Esta herramienta no solo mejoró el flujo de trabajo, sino que también permitió un enfoque más colaborativo y coordinado entre los distintos actores del proyecto.

El uso de BIM también ha permitido una considerable reducción de errores y retrabajos, lo que se traduce en un ahorro de tiempo y recursos. La posibilidad de generar entregables automáticos directamente del modelo, como planos y reportes de cantidades, ha simplificado y agilizado la documentación necesaria para la ejecución del proyecto. Asimismo, la adopción de los niveles de desarrollo (LOD) ha brindado una estructura clara y organizada al proceso,

facilitando la transición entre las diferentes etapas del diseño y asegurando que la información proporcionada fuera adecuada para cada fase del proyecto.

En conclusión, la implementación de BIM en el diseño de la ciclovía no solo ha mejorado la calidad del proyecto, sino que ha permitido un enfoque más integral y eficiente en la coordinación y colaboración entre las diferentes disciplinas. Los resultados obtenidos respaldan la efectividad de la metodología, demostrando que su uso tiene un impacto directo y positivo en la gestión de proyectos de infraestructura vial. La experiencia obtenida a lo largo de este proceso abre nuevas oportunidades para seguir aplicando BIM en proyectos futuros, con el objetivo de seguir optimizando los recursos y mejorando la calidad de las obras.

Aspecto	Método tradicional	Metodología BIM
Gestión de la información	Archivos dispersos, riesgo de duplicación	Centralización digital, acceso compartido
Coordinación de disciplinas	Comunicación por correos o planos físicos	Coordinación en tiempo real a través de modelos colaborativos
Precisión del diseño	Alta posibilidad de errores de interpretación	Modelado 3D con detección temprana de conflictos
Tiempos de ejecución	Proceso lento y propenso a retrabajos	Optimización de procesos y reducción de tiempos
Herramientas	AutoCAD 2D, documentos físicos	BIM (Revit, Civil 3D, Navisworks, etc.)
Resultados esperados	Planos finales para obra	Modelo digital con simulación y validación



CAPÍTULO III

3.1 RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología BIM en el desarrollo del proyecto ejecutivo de una ciclovía. Como se describió en el capítulo anterior, la implementación del Plan MIC permitió una gestión integral del diseño, incorporando herramientas tecnológicas como el escaneo LiDAR, la fotogrametría aérea con dron y el uso de GNSS para levantamientos topográficos de alta precisión.

A lo largo de este capítulo se describen los productos generados, el nivel de desarrollo alcanzado en los modelos, las ventajas detectadas en cuanto a eficiencia, colaboración y precisión, así como el impacto de las tecnologías digitales en el proceso de diseño y toma de decisiones. Se destacan tanto los resultados visuales como los cuantitativos, que evidencian el valor agregado de utilizar BIM en proyectos de infraestructura ciclista.

3.2 Resultados Generales del Proyecto

Como resultado de la implementación de la metodología BIM y el uso de tecnologías complementarias como la fotogrametría aérea, se logró el desarrollo del proyecto ejecutivo para los dos primeros tramos de la ciclovía. Este proceso integró tanto el levantamiento del terreno como el diseño geométrico, permitiendo una representación detallada y precisa del entorno y del trazo propuesto.

El trabajo se dividió en dos grandes bloques de entregables: los planos generados a partir del diseño geométrico y topográfico, y los productos derivados del procesamiento de datos

fotogramétricos mediante el software Metashape. De manera subsecuente, se describen los principales productos obtenidos:

Los entregables finales del proyecto incluyeron:

3.3 Planos del Proyecto

Plano topográfico georeferenciado: Representación del terreno levantado mediante dron y GNSS, ajustado a un sistema de coordenadas preciso.

Plano de curvas de nivel: Representación altimétrica del terreno con equidistancia definida, derivada del modelo digital de elevación.

Plano de diseño geométrico: Trazado propuesto para la ciclovía, incluyendo alineamientos horizontales y características del recorrido.

Plano de perfil longitudinal: Representación longitudinal de la ciclovía, mostrando pendientes y elevaciones a lo largo del eje.

Plano de secciones transversales: Cortes típicos y específicos que muestran el diseño estructural y los elementos urbanos.

Plano de señalamiento vial: Ubicación y diseño de la señalética horizontal y vertical, de acuerdo con normativa aplicable.

3.4 Resultados del Procesamiento Fotogramétrico en Metashape

Nube de paso: Primer procesamiento del conjunto de imágenes para generar una nube de puntos preliminar.

Modelo 3D: Reconstrucción tridimensional de alta densidad del terreno y estructuras existentes.

Modelo teselado: Representación superficial detallada del entorno, útil para visualización y simulaciones.

Nube de puntos densa: Conjunto de millones de puntos georreferenciados que representan con precisión el relieve.

Nube de clases: Clasificación automática del modelo según objetos (suelo, vegetación, construcciones, etc.).

Nubes de elevación: Representación codificada por colores que refleja las variaciones altimétricas del terreno.

Curvas de nivel: Extraídas directamente del modelo digital de elevación, con mayor precisión que métodos tradicionales.

Modelo Digital de Elevación (MDE): Superficie digital que representa la topografía del terreno natural.

Ortofoto: Imagen aérea ortorrectificada que conserva dimensiones reales y sirve de base para diseño y verificación.

Estos entregables no solo facilitaron el diseño técnico del proyecto, sino que también sirvieron como base para análisis, coordinación interdisciplinaria y presentación visual ante los interesados.

La combinación de modelado BIM con fotogrametría permitió una integración total de datos espaciales e informativos, elevando el nivel de precisión y eficiencia del proyecto.

3.5 Resultados del Modelado BIM

La implementación de la metodología BIM en este proyecto permitió alcanzar una integración profunda entre los datos topográficos obtenidos en campo y el desarrollo del diseño geométrico, lo cual generó un modelo digital altamente informativo que sirvió como base para la elaboración de la documentación técnica, la toma de decisiones y la validación del trazo propuesto de la ciclovía. Desde las primeras etapas, se integraron productos generados mediante fotogrametría con drones, como la nube de puntos, la ortofoto, el modelo digital de elevación y las curvas de nivel, lo que garantizó que el modelado tridimensional tuviera una referencia fiel del contexto real, tanto en términos geométricos como en su ubicación geográfica. Esta integración resultó fundamental, ya que permitió ajustar con precisión el diseño al terreno natural y verificar que el trazo cumpliera con los criterios normativos de pendiente, visibilidad y accesibilidad.

En cuanto al modelado del trazo, este se desarrolló con base en un alineamiento horizontal y un perfil longitudinal generados a partir del levantamiento topográfico. A través de estas herramientas, fue posible definir con exactitud la geometría de la ciclovía, incluyendo los anchos de calzada, sobrehanchos en zonas curvas, secciones transversales y pendientes longitudinales. El modelo tridimensional permitió una visualización precisa del recorrido propuesto sobre el terreno real, lo cual facilitó la detección temprana de zonas críticas, como aquellas con pendientes elevadas o con obstáculos físicos que podrían interferir con la ejecución del proyecto. Además, la plataforma

BIM permitió realizar ajustes iterativos al trazo en tiempo real, lo cual garantizó una mayor eficiencia en la toma de decisiones durante el proceso de diseño.

Otro aspecto relevante fue la posibilidad de visualizar en tres dimensiones la relación entre el proyecto y su entorno inmediato. Esto facilitó la identificación de posibles interferencias con infraestructura existente, elementos urbanos o naturales como árboles, postes o taludes, permitiendo hacer ajustes antes de llegar a la etapa constructiva. A diferencia del enfoque tradicional, donde los conflictos suelen detectarse en obra, en este caso fue posible anticiparlos desde la etapa de diseño gracias al modelado digital, lo que representa una mejora sustancial en términos de control de calidad y reducción de costos asociados a imprevistos.

Por otro lado, el modelo BIM también funcionó como fuente principal para la generación de todos los planos del proyecto. La extracción de planos topográficos, de curvas de nivel, diseño geométrico, perfiles y secciones transversales se realizó directamente desde el modelo, lo que garantizó una total coherencia entre los documentos gráficos y los datos originales. Esta automatización permitió reducir considerablemente los errores de transcripción y duplicación de información, además de acelerar el proceso de producción de planos, ya que cualquier modificación en el modelo se reflejaba automáticamente en la documentación asociada. Del mismo modo, el plano de señalamiento se elaboró tomando en cuenta tanto la geometría como las condiciones reales del entorno, lo cual contribuyó a una mejor distribución de señales verticales y horizontales a lo largo del recorrido.

Adicionalmente, el entorno de modelado facilitó la cuantificación precisa de los elementos del proyecto. A partir del modelo, se obtuvieron cantidades de obra como áreas de pavimento ciclista, volúmenes de corte y relleno, longitudes de trazo, y elementos relacionados con señalización. Estas métricas fueron esenciales para la elaboración de presupuestos preliminares,

ya que permitieron conocer con exactitud el alcance físico del proyecto y prever necesidades de materiales y recursos. La precisión de estas cuantificaciones, al estar basadas en geometría real, eliminó muchas de las incertidumbres asociadas a los métodos de estimación tradicionales, los cuales dependen en gran medida de cálculos aproximados o referencias normativas generalizadas.

Por último, el modelo BIM sirvió como una poderosa herramienta de visualización y comunicación del proyecto. A través de recorridos virtuales generados desde el modelo, fue posible mostrar de manera clara y didáctica el comportamiento del trazo sobre el terreno, lo cual facilitó su revisión por parte de asesores técnicos y posibles interesados no especializados. Estas visualizaciones también fueron útiles para validar aspectos estéticos, de integración urbana y de percepción del usuario final. Gracias al entorno colaborativo en el que se gestionó el modelo, se logró mantener una estructura ordenada de archivos, con control de versiones y trazabilidad, lo que permitió que el flujo de trabajo entre disciplinas fuera más eficiente y menos propenso a errores.

En conjunto, todos estos resultados evidencian cómo la metodología BIM no solo optimizó la calidad técnica del proyecto, sino que también permitió un mayor control durante todo el proceso de diseño. La existencia de un modelo centralizado, tridimensional e inteligente facilitó la coordinación entre actores, la automatización de procesos, la validación del trazo y la generación de entregables con un alto nivel de precisión. Esta forma de trabajar, basada en datos confiables y actualizables, representa una evolución significativa respecto a los métodos tradicionales y establece un precedente valioso para futuros proyectos de infraestructura ciclista.

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto permitió comprobar que la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el diseño geométrico de la ciclovía Tlaxcala–Apizaco representa un avance importante en la gestión, precisión y eficiencia de los procesos de ingeniería civil. Se demostró que la integración de tecnologías como la fotogrametría con dron, los levantamientos topográficos con equipos GNSS y el uso de nubes de puntos derivadas de escaneos LiDAR posibilita la generación de modelos digitales del terreno con alta resolución y exactitud, lo que permitió definir con mayor precisión el trazo de la ciclovía y su correcta adaptación a las condiciones reales del entorno. El entorno BIM facilitó la coordinación entre disciplinas, la detección temprana de interferencias y la reducción de errores durante el proceso de diseño, evidenciando su potencial para optimizar tiempos, minimizar retrabajos y mejorar la calidad de los entregables técnicos. Asimismo, la aplicación de los Niveles de Desarrollo (LOD) y la estructuración del Plan MIC fortalecieron la trazabilidad del proyecto y garantizaron un flujo de información ordenado y confiable entre los participantes. Los resultados reflejan que la metodología BIM no solo aporta beneficios técnicos y económicos, sino que también contribuye al cumplimiento de objetivos de sostenibilidad y seguridad vial, al permitir diseñar una infraestructura más segura, funcional y adaptada a las necesidades de los usuarios. La experiencia obtenida confirmó que la integración entre tecnologías de captura y procesos digitales ofrece una nueva forma de concebir y gestionar obras públicas, especialmente aquellas orientadas a la movilidad activa y sustentable. Finalmente, este trabajo demuestra que la metodología BIM es aplicable a proyectos de infraestructura en el contexto estatal y regional, sirviendo como referencia para futuras intervenciones que busquen modernizar la gestión de la información, optimizar recursos y promover un desarrollo urbano más inteligente y comprometido con el bienestar social.

El proyecto se pensaba poder presentar todo en un modelo 3D abarcando lo 6+100.00 km, pero no se contó con la capacidad de la computadora, ya que la información recolectada, el diseño 3D, curvas de nivel y otros aspectos importantes, no se consideraron, lo que generó que el proyecto no se pudiera presentar de esta manera, pero lo que se pensó fue generar modelos 3D de las zonas más importantes, o pudiendo ser 2 zonas, que son el tramo 1 y el tramo 2, así generando 2 renders para su visualización, también se realizaron videos cortos del proceso de la implementación, que son la recolección de datos, puntos de control de campo de la topografía, fotogrametría, nube de puntos, malla del modelo, Modelo de Elevación, y finalmente modelo 3D, para poder demostrar de una manera más clara el proceso y como llegamos al punto final, esto mediante LiDar, y por parte de civil, el modelo 3D del recorrido, con curvas, cotas y cortes, al igual que secciones, contando con los modelos de Blender y modelos de Revit.

Teniendo la información son los especialistas los encargados de determinar si es apta su construcción, de resultar unánime, en un futuro se considerará agregar, cálculos estructurales de la ciclovía, análisis de datos de la información e impacto ambiental, para poder finalizar el proyecto

Como recomendación considero asignar más tiempo a la recolección y realización de datos, porque siempre se generan contratiempos impensables y los tiempos estimados deben recorrerse en mi experiencia con el del dron al momento de realizar el mapeo, más de una vez llegaba la policía, nos hacía parar el vuelo pues generaba desconfianza y esto nos obligó a recorrer el tiempo estimado de culminación en la recolección de la instrumentación

Otro aspecto a considerar es no realizar una sola toma, ya que el dron suele tomar algunas fotos decadentes, ya sea por el viento, porque perdió los satélites, poca luz, falta de visión, y todo esto desestabiliza la referencia de la foto y al momento de procesarla es deficiente o tiene errores por

lo que se tiene que repetir el vuelo junto con el mapeo obligando a tomar más tiempo de lo estimado y generando un retraso en la entrega, también para la lectura de los datos lo importante es tener un buen equipo de cómputo para poder facilitar el procesamiento de las imágenes, datos y la topografía, también para los recorridos y la lectura de datos.

Si bien el planteamiento inicial del proyecto consideraba la presentación integral del corredor ciclista en un solo modelo tridimensional abarcando los 6+100.00 km de longitud, las limitaciones en la capacidad de procesamiento del equipo de cómputo impidieron consolidar toda la información recolectada en un único entorno digital. Factores como el volumen de datos derivados del escaneo, el modelado 3D, las curvas de nivel y otros insumos técnicos no fueron considerados adecuadamente en la fase de planeación digital, lo que obligó a replantear la estrategia de visualización del proyecto.

Como alternativa, se optó por generar modelos tridimensionales correspondientes a las zonas más representativas del trazado, específicamente el Tramo 1 y el Tramo 2. A partir de estos modelos, se desarrollaron renders de alta calidad y videos cortos que documentan el proceso completo de implementación. Dicho contenido incluye desde la recolección de datos, el levantamiento topográfico y la generación de nubes de puntos, hasta la construcción de mallas, modelos de elevación y visualizaciones tridimensionales, utilizando herramientas como LiDAR, Blender, Revit y Civil 3D.

Una vez generada y sistematizada la información, corresponde a los especialistas en ingeniería y planificación validar la viabilidad constructiva del proyecto. En caso de recibir una evaluación favorable, se contempla como siguiente fase la incorporación de cálculos estructurales, análisis detallado de datos geoespaciales y estudios de impacto ambiental, lo que permitiría consolidar el proyecto como una propuesta ejecutiva completa.

A modo de recomendación, se destaca la necesidad de asignar un mayor margen de tiempo a la recolección y tratamiento de datos. Durante la fase de fotogrametría con dron, se presentaron múltiples interrupciones imprevistas —como la intervención de autoridades— que afectaron el tiempo estimado para el mapeo, generando retrasos significativos.

Asimismo, se sugiere evitar la realización de vuelos únicos, ya que diversas variables externas —como condiciones climáticas adversas, pérdida de señal satelital, escasa iluminación o interferencias visuales— pueden comprometer la calidad de las imágenes obtenidas. Estos factores pueden traducirse en errores de procesamiento y la necesidad de repetir vuelos, impactando directamente en la planificación del cronograma.

Recomendaciones

1.- Uso de equipo de cómputo especializado.

Se recomienda trabajar con una estación de trabajo (PC de escritorio) equipada con componentes de alto rendimiento (procesador de múltiples núcleos, memoria RAM superior a 32 GB y tarjeta gráfica dedicada), ya que el manejo de grandes volúmenes de datos —como nubes de puntos, modelos 3D y archivos fotogramétricos— requiere una capacidad significativa de procesamiento. En este proyecto, el uso de un equipo portátil con buenas especificaciones no fue suficiente, presentando fallos recurrentes como cierres inesperados del software y pérdida de información no guardada.

2.-Respaldo sistemático de la información

Es fundamental implementar una estrategia de respaldo diario de archivos, asignando nombres con fechas de modificación para identificar fácilmente las versiones más recientes. Esta práctica contribuye a una mejor trazabilidad de los avances, permite comparar modificaciones y garantiza la recuperación de datos ante posibles fallos del sistema.

3.-Capacitación técnica del personal.

Se recomienda fortalecer la formación del equipo en el manejo de tecnologías BIM, software de procesamiento de datos geoespaciales (como ReCap, Civil 3D, Revit) y herramientas de levantamiento (LiDAR, GNSS, drones). Esto optimiza la eficiencia operativa, reduce los errores durante la captura y procesamiento de datos, y favorece la toma de decisiones técnicas fundamentadas.

4.-Estrategia de digitalización estructurada.

Es aconsejable establecer protocolos de digitalización desde el inicio del proyecto, definiendo criterios para la clasificación, nomenclatura y almacenamiento de archivos. Esta estructura facilita la colaboración interdisciplinaria, el seguimiento de versiones y la integración fluida de información en el entorno BIM.

5.-Atención a la normativa vigente.

Se recomienda considerar, desde etapas tempranas, la normativa aplicable en materia de movilidad, infraestructura ciclista y modelado BIM. Esto incluye la **NOM-004-SEDATU-2023**, la **Guía BIM para Infraestructura** emitida por la SICT, y la norma **ISO 19650**, a fin de garantizar la alineación del proyecto con estándares técnicos, de seguridad y sostenibilidad.

Referencias

- Barbieri. (2024). *¿Qué es y cómo funciona BIM?* <https://www.adbarbieri.com/blog/que-es-como-funciona-bim>
- Centro, C. (2022, agosto 22). *Facultad de Arquitectura: Ventajas del BIM*. Blog de Arquitectura y Diseño. <https://fa.ort.edu.uy/blog/ventajas-del-bim>
- COORDINACIÓN DE VINCULACIÓN Y PROYECTOS ESPECIALES. (s.f.). *Estrategia de movilidad en bicicleta*. Secretaría del Medio Ambiente CDMX. <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sedema/images/archivos/movilidad-sustentable/movilidad-en-bicicleta/emb/estrategia-movilidad.pdf>
- Cosmos Engineering. (2023, septiembre 4). *El rol del software en la transformación de la construcción*. <https://cosmosengineering.es/blog/el-rol-del-software-en-la-transformacion-de-la-construccion>
- Diario Oficial de la Federación. (2024, abril 12). *NOM-004-SEDATU-2023: Estructura y diseño para vías urbanas. Especificaciones y aplicación*. <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/nom-004-sedatu-2023-estructura-y-diseno-para-vias-urbanas-especificaciones-y-aplicacion>
- Dlubal. (2020, agosto 31). *¿Por qué utilizar modelos 3D en el diseño de estructuras?* <https://www.dlubal.com/es/soporte-y-formacion/soporte/base-de-conocimientos/001680>
- Drew. (2022, abril 7). *Metodología BIM: Ventajas y desventajas*. <https://blog.wearedrew.co/industria-de-la-construccion/metodologia-bim-ventajas-y-desventajas>
- Heinrich-Böll-Stiftung Ciudad de México. (2020, septiembre 22). *Por sus beneficios más allá de la movilidad, especialistas recomiendan permanencia de las ciclovías emergentes*. <https://mx.boell.org/es/2020/09/22/porque-sus-beneficios-van-mas-alla-de-la-movilidad-especialistas-recomiendan-permanencia>
- Harmony AT. (s.f.). *LOD 300*. <https://www.harmony-at.com/en/blog/lod-300>
- Kelman. (2020, marzo 25). *Ciclovías en México: ¿Por qué es importante implementarlas?* <https://www.kelman.mx/blog/ciclovias-en-mexico>
- Landín, J. M. (2018, mayo 22). *La importancia del uso de la bicicleta en la Ciudad de México y su metrópolis, 2007–2017*. Nexos. <https://labrujula.nexos.com.mx/la-importancia-del-uso-de-la-bicicleta-en-la-ciudad-de-mexico-y-su-metropolis-2007-2017>

- Ley de Movilidad y Seguridad Vial del Estado de Tlaxcala. (s.f.). *Justia México*. <https://mexico.justia.com/estatales/tlaxcala/leyes/ley-de-movilidad-y-seguridad-vial-del-estado-de-tlaxcala/>
- Monarch Innovation. (s.f.). *Diferentes niveles de desarrollo (LOD) en BIM 100, 200, 300, 350, 400, 500*. <https://www.monarch-innovation.com/bim-level-of-development-lod-300-350-400-500>
- Monterrey, T. d. (2024, julio 17). *¿Qué es un sistema GNSS y cómo funciona?* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=U1Zo6uOIBXo>
- Pamela, H. T., & Bryan, E. A. (2023, abril). *Guía técnica BIM para edificaciones e infraestructura*. Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones. https://www.investinperu.pe/RepositorioAPS/0/0/JER/GUIAS_INVERSION/Guia-tecnica-BIM-para-edificaciones-e-infraestructura.pdf
- Ruvalcaba, E. (2024, diciembre 8). *Ciclistas de Tlaxcala exigen mejoras en la ciclovía*. Agenda Tlaxcala. <https://agendatlaxcala.com/2024/tlaxcala-capital/ciclistas-de-tlaxcala-exigen-mejoras-en-la-ciclovía/ciclistas-de-tlaxcala-exigen-mejoras-en-la-ciclovía>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2024). *NOM-004-SEDATU-2023: Estructura y diseño para vías urbanas. Especificaciones y aplicación*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/982109/NOM-004-SEDATU-2023.pdf>
- ShipProjects. (s.f.). *LOD differences and use cases*. <https://shipprojects.net/lod-differences-usecases/>
- Tekla. (s.f.). *Hablando concretamente: modelos 3D para llenar el vacío de información en proyectos de construcción*. <https://www.tekla.com/la/blog/articulos/modelos-3d-llenar-el-vac%C3%ADo-de-informaci%C3%B3n-en-proyectos-de-construcci%C3%B3n>
- United BIM. (s.f.). *BIM Level of Development (LOD) 100, 200, 300, 350, 400, 500*. <https://www.united-bim.com/bim-level-of-development-lod-100-200-300-350-400-500/>
- Urban. (2023, noviembre 12). *Cifra de vehículos que circulan en Tlaxcala crece 60% en 18 años*. <https://www.urbanopuebla.com.mx/gobierno/cifra-de-vehiculo-con-placas-de-tlaxcala-crece-60-en-18-anos/>
- Virtual Building Studio. (s.f.). *BIM level of development: An overview*. <https://www.virtualbuildingstudio.com/blog/bim-level-of-development-an-overview/>
- Wingtra. (s.f.). *Topografía con un dron*. <https://wingtra.com/es/topografia-sig/>
- Zigurat Institute of Technology. (2023, diciembre 14). *Estrategias para optimizar diseños y costes con BIM*. <https://www.e-zigurat.com/es/blog/bim-en-la-planificacion-de-proyectos/>

Anexos

1.- Permiso para uso del proyecto

En este anexo se anexo un documento en el cual nos permiten el uso de diferentes datos de la ciclovía, se nos aclara que hay restricciones, por lo tanto, se encuentran por escrito

<https://drive.google.com/file/d/1367sJdkJJ84hwvoayIcoUBrM-Km3Vzhk/view?usp=sharing>

2.-Plan MIC

El siguiente anexo se presenta el link de nuestro Plan MIC, este plan es la guía para poder realizar de manera correcta el uso y aplicación de la metodología en la construcción

https://drive.google.com/file/d/19xomMgSJFuLrlZacRj_W3N9nv4zwCOSx/view?usp=sharing

3.-Link carpetas de DRIVE

La carpeta incluye, la información de los programas, y en su respectivo formato para poder abrirla, ya que no puedo agregar toda la información aquí, para su revisión y aplicación el software correspondiente.

<https://drive.google.com/drive/folders/1XMSF5gmoBXuFDeSXxrcUXxHIUIJeNQFr?usp=sharing>

4.-Manual de calles de la ciudad de Mexico.

En este apartado nos encontramos con en manual para la construcción de calles, el cual nos ayuda con el diseño de la ciclovía del cual pudimos tener la idea y observar cuales son las indicaciones adecuadas para poder

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/509173/Manual_de_calles_2019.pdf

5.-Plan del proceso y reporte fotográfico

En este link podemos observar un proceso de planificación MIC, podemos observar imágenes, procesos, renders, pasos de la realización completa de lo que se realiza en la construcción, se realizo para poder verlo de manera visual y sea más fácil la comprensión

https://miro.com/welcomeonboard/d1laZ2doendycXRHUHg4NitnVjFuZSttUTZoaFlqcktiM3Rla0ZWV3h4WHB0SjNCU3M0eUo2TzA1V2p2akdJcWJWVHIKMzM2Ui9HWS9oZnFaWTBDODl3Q2w2WUZucCtSUUxPcGsxSVQ3ZzVOZmtvNnI2dEw3dDNRMEltazl2Q2N0R2lncW1vRmFBVnlLcVJzTmdFdlNRPT0hdjE=?share_link_id=801300443121

6.-Guías BIM

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.investinperu.pe/RepositorioAPS/0/0/JER/GUIAS_INVERSION/Guia-tecnica-BIM-para-edificaciones-e-infraestructura.pdf

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mef.gob.pe/planbimperu/docs/recursos/guia_nacional_BIM.pdf

<https://knowledge.bsigroup.com/products/organization-and-digitization-of-information-about-buildings-and-civil-engineering-works-including-building-information-modelling-bim-information-management-using-building-information-modelling-concepts-and-principles>

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/45cd99f0-06cb-492b-8ab0-15e61aeae033/en-iso-19650-1-2018?srsId=AfmBOorLRWnooDuYFXFS3TmaqQrcqEn3SHnB-95CAryzjlyDrHyGSZ63>

<https://www.iso.org/standard/68078.html>

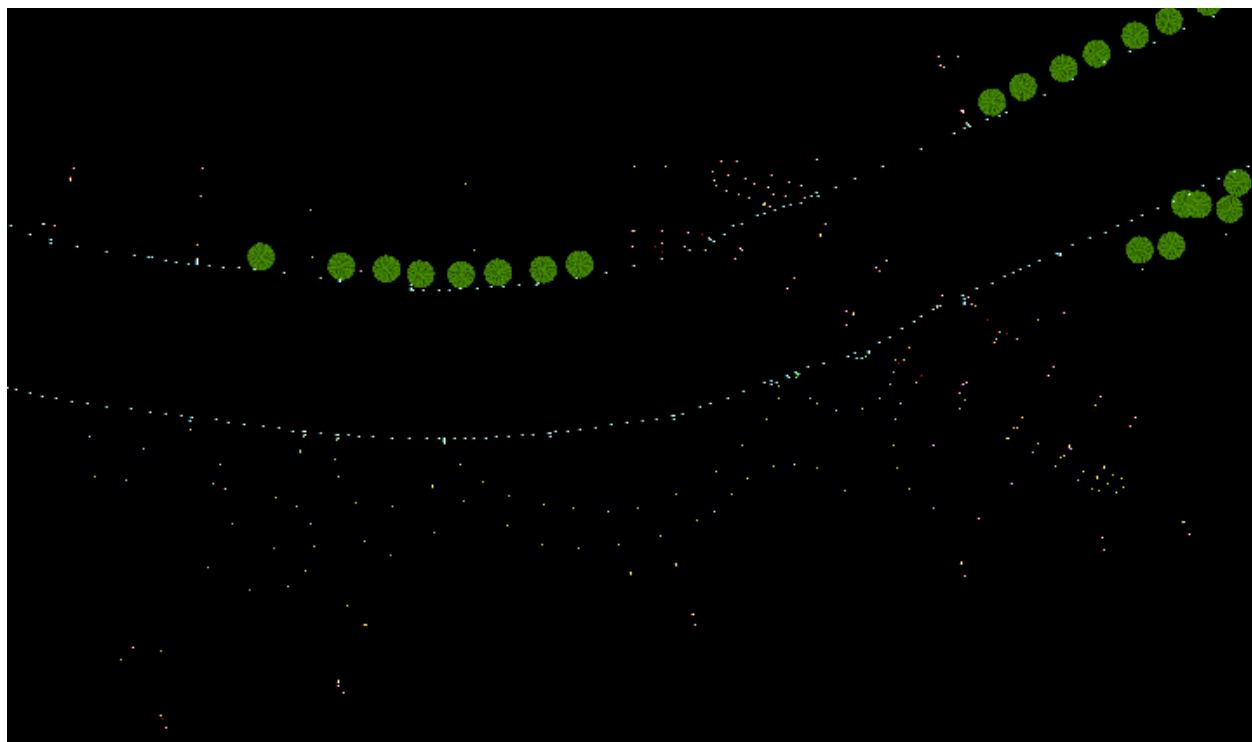
7.- Plano topográfico georreferenciado

El siguiente plano muestra el levantamiento topográfico realizado con un equipo GNSS de alta precisión. En él, se representan diversos elementos urbanos mediante diferentes colores y símbolos. Entre los objetos levantados se encuentran árboles, luminarias, registros sanitarios y eléctricos, semáforos, paradas de transporte, jardineras, entre otros. Sin embargo, el elemento más relevante dentro del levantamiento es el **muro de contención del río**, ya que representa una referencia fundamental para la localización y diseño de la ciclovía.

El levantamiento de estos puntos fue crucial, pues nos permitió establecer las referencias necesarias para geolocalizar correctamente la ciclovía dentro del entorno urbano. Gracias a esta información, fue posible generar perfiles topográficos, identificar elevaciones y evaluar la viabilidad del trazo propuesto.

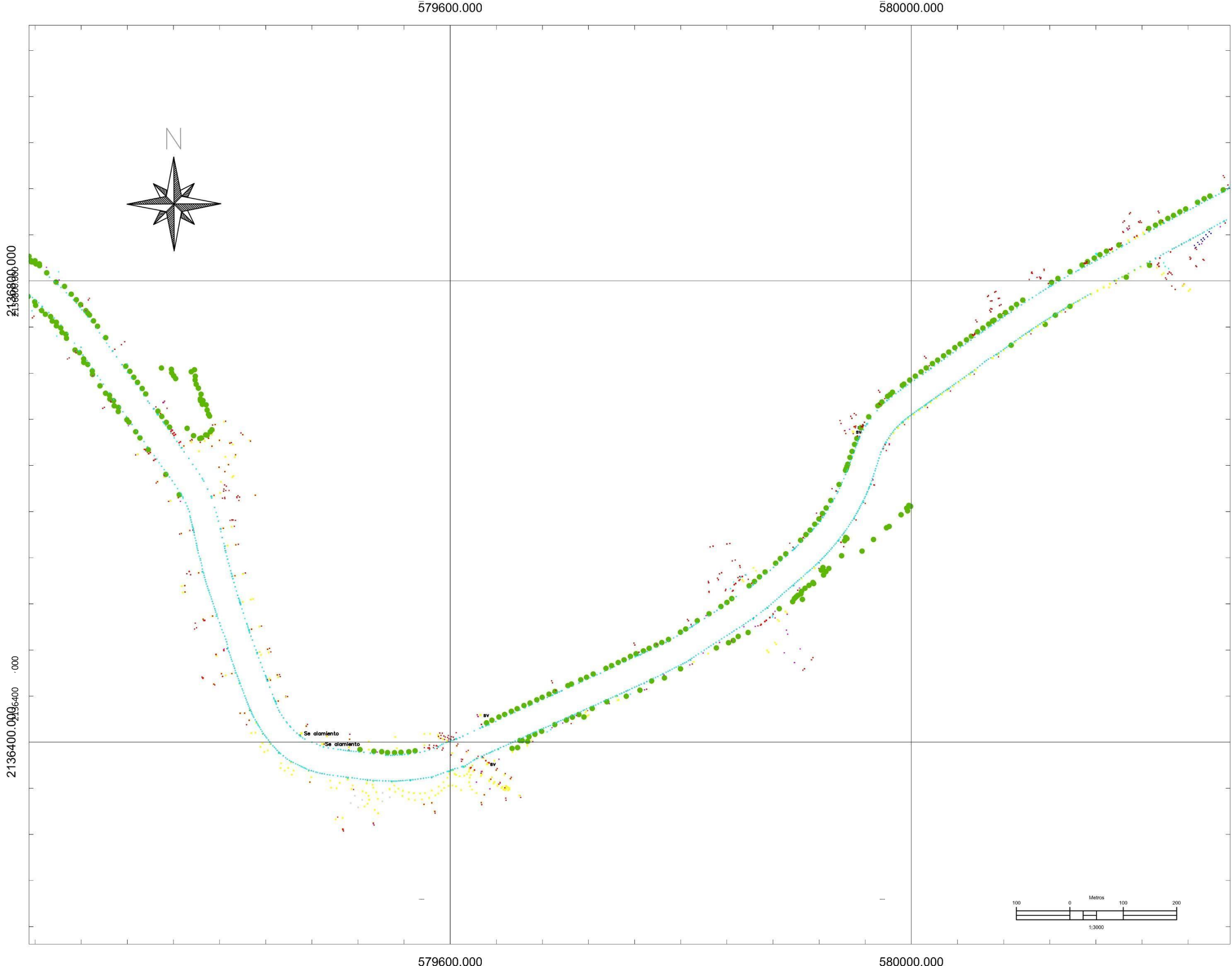
Este plano georreferenciado representa una de las primeras etapas dentro del proceso topográfico. A partir de él, es posible generar curvas de nivel, realizar anotaciones técnicas y, lo más importante, **superponer el trazo preliminar** de la ciclovía propuesto en el **LOD 100**, el cual es de carácter esquemático. La precisión del equipo GNSS nos permitió comprobar que la ruta propuesta se ajusta adecuadamente a las condiciones del terreno.

De manera subsecuente, se presenta el plano completo junto con esquemas que complementan la información levantada en campo.



Nota: captura de pantalla del proyecto, “Plano Topográfico Georreferenciado” con fondo negro

En esta captura de pantalla decidimos dejar el fondo negro para poder resaltar los puntos topográficos y se puedan notar un poco más, ya que suele ser un poco difícil por la cantidad de puntos que se recolectaron en el levantamiento topográfico principal



MACROLOCALIZACIÓN

MICROLOCALIZACIÓN

SIMBOLOGÍA

Estatus	Andador
Muro	Jardín
Puneta	Pavimento
Hombro de río	Banqueta
Poste	Muro
Cun	Registro sanitario
Escaleras	Registro eléctrico
Puente	Luminario
Árbol	Señalética
Boca de tormenta	Fin de escaleras
Isla paradero	Registros
	Semáforo

Construcción de los muros de 3.50 m de altura, utilizando la base de apertura para muros de agua.

Los muros tipo sección 4 de 0.95 x 0.10 m de altura, 22 cm de espesor, en concreto de 250 kg/cm², con 3 varillas tipo barras, colocadas en los apoyos de la línea, armada con malla electrosoldada N-40 - 10/10 y varilla corrugada (1/2") a razón 10.5570 kg x m².

GOBERNADORA CONSTITUCIONAL DEL ESTADO DE TLAXCALA

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA

DIRECTOR DE PROYECTOS Y PRECIOS UNITARIOS

DIRECTOR

UBICACIÓN: La Rosaña, centro (Centro expósito - parque artesanal)

PROYECTO: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CICLOVÍA TLAXCALA-ARZACÓ PRIMERA ETAPA (3.0+000.00 A 3.0+100.00)

PLANO: PLANO GEOREFERENCIADO

PLANO No: 1

CLAVE: PG-01

ESCALA: 1:3000

ACOTACIÓN: METROS(m)

FECHA:

PROYECTISTA:

REPRESENTANTE LEGAL:

SUPERINTENDENTE DE SERVICIO:

DRO:

CORRESPONSABLE EN ESPECIALIDAD:

8.-Plano curvas de nivel

En este plano se emplearon dos métodos complementarios para realizar el levantamiento topográfico: tecnología LiDAR y el uso de un equipo GNSS de alta precisión. La combinación de ambos sistemas permitió una obtención más densa y precisa de puntos, lo cual resultó fundamental para una correcta georreferenciación del terreno y una representación topográfica más detallada.

El enfoque principal de este plano es la generación de curvas de nivel, las cuales son esenciales para el desarrollo del proyecto geométrico de la ciclovía. A través de estas curvas, se puede interpretar de manera clara la morfología del terreno, identificar pendientes, zonas planas, cambios de elevación y posibles áreas críticas.

Al superponer las curvas de nivel sobre los puntos obtenidos en el levantamiento, es posible analizar la densidad de elementos o interferencias presentes, tales como construcciones, vegetación o infraestructura urbana. Esta información es crucial para determinar el grado de complejidad del trazado y cómo estas interferencias pueden afectar directamente la viabilidad y el diseño de la ciclovía.

Asimismo, este análisis topográfico permite anticipar la necesidad de realizar cortes o rellenos, así como identificar los tramos que podrían requerir obras complementarias, como muros de contención o adecuaciones al drenaje. Por lo tanto, este plano no solo proporciona una representación gráfica del terreno, sino que también se convierte en una herramienta clave para la toma de decisiones en la etapa de diseño geométrico.

9.-Plano de diseño geométrico.

El plano de diseño geométrico es una parte fundamental en el desarrollo del proyecto, ya que nos permite visualizar de forma precisa cómo estará conformada la ciclovía una vez construida. En este proceso nos enfocamos en diversos aspectos técnicos, tomando siempre en cuenta la normativa aplicable, lo cual resulta esencial para garantizar que el diseño cumpla con los estándares requeridos y evite posibles fallas en el futuro.

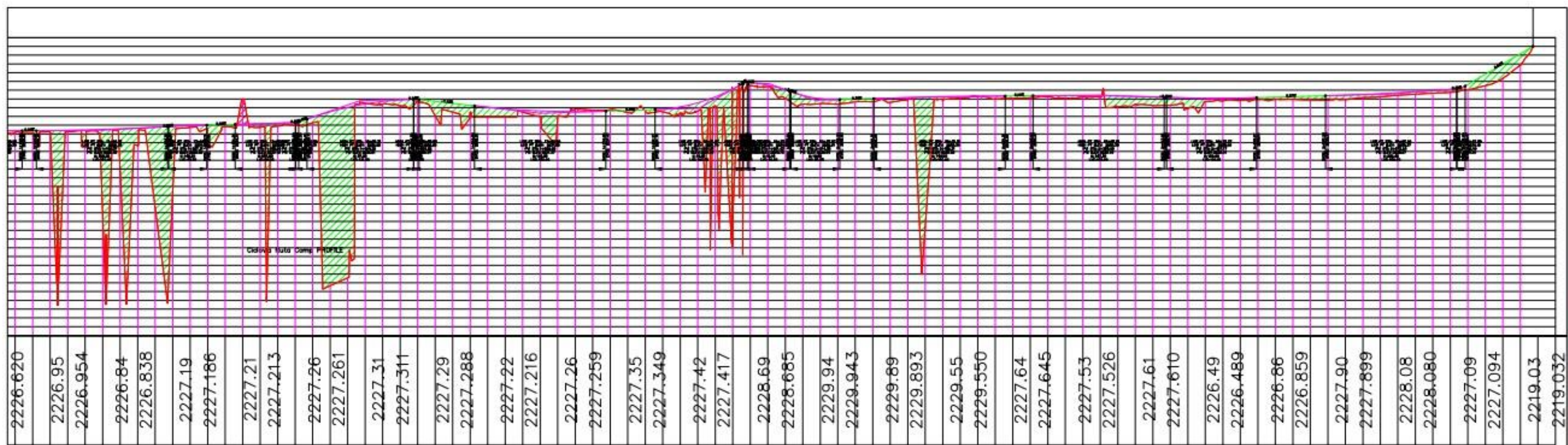
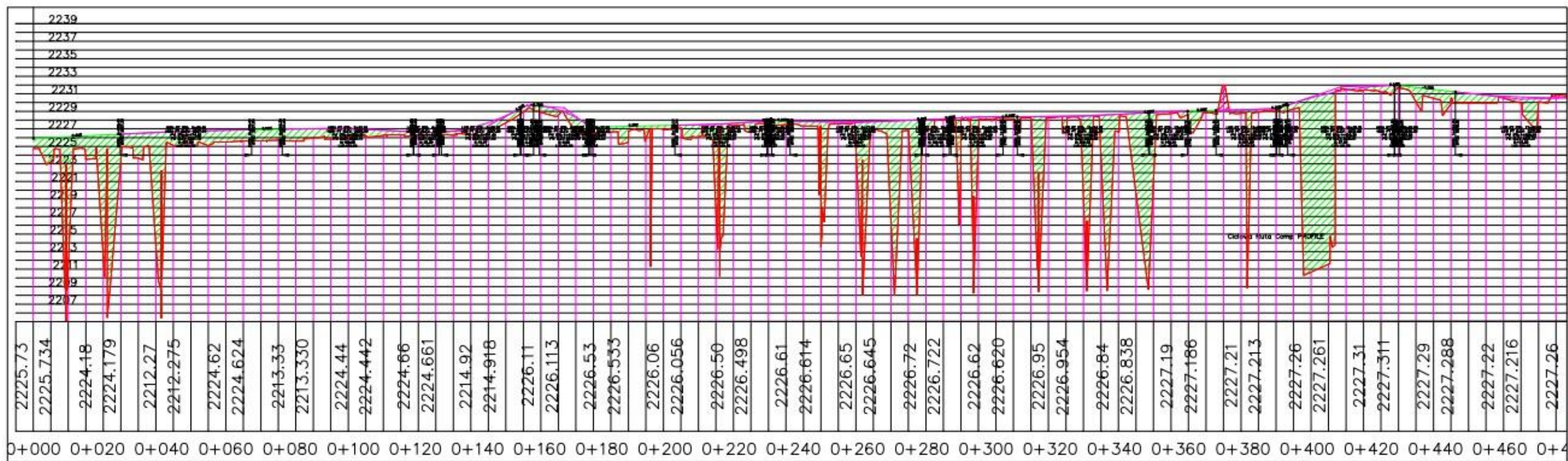
El diseño geométrico no solo representa gráficamente la ruta que seguirá la ciclovía, sino que también nos permite anticipar ventajas y deficiencias en cuanto a la ejecución de la obra. Este plano se elabora una vez que se han completado etapas previas clave, como el levantamiento topográfico del terreno y la generación de planos estructurales monumentados o referenciados topográficamente. Estos antecedentes son necesarios para definir por dónde podrá trazarse la ciclovía de manera más eficiente y segura.

Durante la elaboración del diseño geométrico en el software Autodesk Civil 3D, se obtienen múltiples beneficios. El entorno digital permite trabajar directamente sobre la topografía real del terreno, identificar zonas con pendientes críticas, curvas pronunciadas, posibles obstáculos o interferencias, así como los puntos que requerirán adecuaciones especiales. Además, gracias a las herramientas de modelado 3D que ofrece el software, es posible generar una representación tridimensional del diseño, facilitando su revisión por parte de las diferentes áreas involucradas en el proyecto, como el diseño, la planeación, la construcción y hasta la supervisión.

10.-Plano del perfil longitudinal.

Una vez concluido el diseño geométrico de la ciclovía, el siguiente plano a desarrollar es el plano de perfil longitudinal, el cual representa una vista lateral y continua del terreno a lo largo del eje trazado. Este plano permite observar cómo varía la elevación del terreno natural a lo largo del recorrido de la ciclovía, así como la rasante proyectada, es decir, la línea que define el nivel con el que se finalizara de la ciclovía en relación con el terreno existente. El perfil longitudinal es una herramienta clave para evaluar la factibilidad del trazo propuesto, ya que en él se identifican zonas que requieren cortes, rellenos o adecuaciones especiales para garantizar una circulación cómoda y segura para los ciclistas. En este plano se detallan también las pendientes longitudinales, cuya correcta dosificación es esencial para evitar esfuerzos excesivos en los usuarios y cumplir con la normativa vigente, que recomienda pendientes suaves, especialmente en tramos urbanos.

Para su elaboración se utilizaron los datos topográficos obtenidos durante la etapa inicial del proyecto, así como la alineación definida en el plano de diseño geométrico. Este perfil fue desarrollado mediante el software Autodesk Civil 3D, el cual permite integrar tanto el modelo digital del terreno como la rasante proyectada, facilitando la visualización precisa de los tramos en corte y relleno, y optimizando el proceso de análisis técnico.



- LEYENDA
- Estación
 - Muro
 - Puente
 - Hombro de río
 - Puente
 - Cun
 - Caceres
 - Puente
 - Atol
 - Base de tormenta
 - Isla padero
 - Andador
 - Jardineria
 - Pavimento
 - Banqueta
 - Muro
 - Registro sanitario
 - Registro Electrico
 - Luminario
 - Señalética
 - Fin de exoneración
 - Registro
 - Señalética

GOBIERNO CONSTITUCIONAL DEL ESTADO DE TLAXCALA

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA

DIRECTOR DE PROYECTOS Y PRECIO UNITARIO

DIRECTOR

PROYECTO: Proyecto de Construcción de la Carretera

PLANO: 00

CLAVE: PP-01

ESCALA: 1:5000

ADOTACIÓN: METROS (M)

FECHA:

PROYECTO:

REPRESENTANTE LEGAL:

SUPERVISOR DE OBRAS:

OPC:

CORRESPONSABLE COTIZACIÓN:

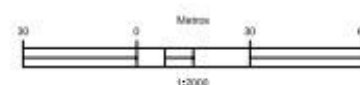
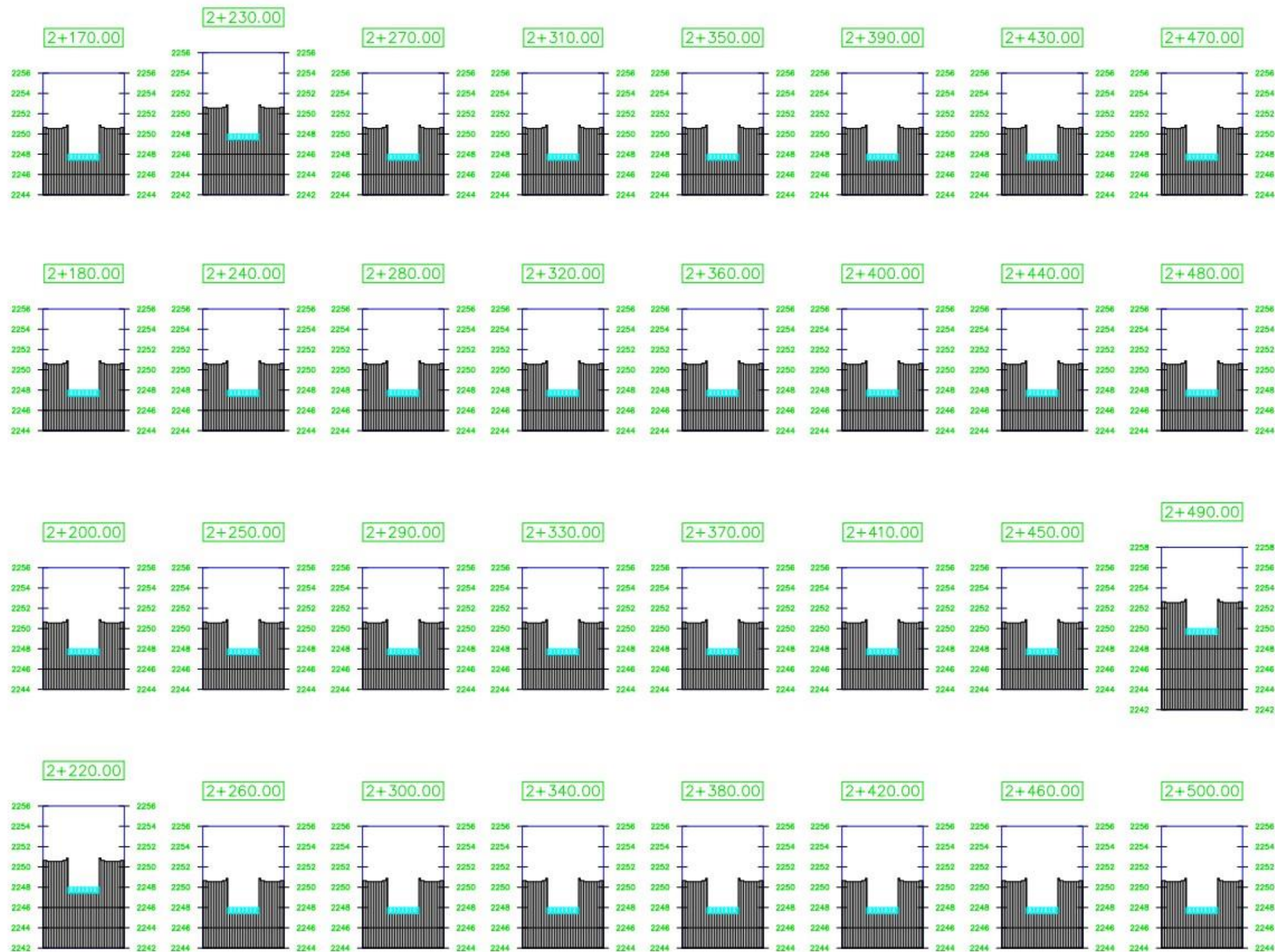
11.-Plano de secciones transversales de la ciclovía

Posteriormente a la elaboración del plano de perfil longitudinal, se desarrollaron los planos de secciones transversales, los cuales son representaciones gráficas que muestran cortes perpendiculares al eje de la ciclovía en intervalos regulares a lo largo de todo el recorrido. Estos planos permiten analizar de forma precisa cómo interactúa el diseño con las condiciones topográficas del terreno natural en puntos específicos.

Cada sección transversal muestra el perfil del terreno existente y la propuesta de rasante proyectada, así como los elementos constructivos que conforman la ciclovía, tales como el ancho del carril, banquetas, guarniciones, taludes, drenajes o cualquier otro componente adicional que varíe según el tramo. Además, permiten identificar con claridad las zonas donde será necesario ejecutar cortes o rellenos, con el fin de alcanzar la geometría establecida en el diseño.

Estos planos se generaron utilizando Autodesk Civil 3D, tomando como base la superficie topográfica obtenida en campo y la alineación horizontal y vertical previamente definida. Secciones fueron colocadas a lo largo del eje a distancias regulares, lo que facilitó el análisis geométrico y permitió realizar estimaciones más precisas de los volúmenes de obra necesarios.

Dentro del proyecto de ciclovía Tlaxcala–Apizaco, el plano de secciones transversales fue de gran utilidad para comprender cómo variaban las condiciones del terreno en distintos tramos, y para tomar decisiones más informadas respecto a la ejecución de obra, garantizando seguridad, comodidad y accesibilidad para los usuarios ciclistas.



LEYENDA	
	Estación
	Muro
	Puente
	Muro de río
	Puente
	Escalera
	Puente
	Arco
	Bocatoma
	Vía pederera
	Arbol
	Jardín
	Pavimento
	Bocatoma
	Muro
	Registro sanitario
	Registro eléctrico
	Luminaria
	Señalética
	Fin de escuela
	Registro
	Señalética

GOBIERNO DEL ESTADO DE TLAXCALA	
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA	
DIRECCIÓN DE PROYECTOS Y PROGRAMAS	
DIRECCIÓN	
DIRECCIÓN	

UBICACIÓN	
PROYECTO: IMPULSACIÓN DE LA VIALIDAD EN EL MUNICIPIO DE TLANCAYANA	
PLANTAS: PLANTAS DE OBRAS	
PLANTAS: 9	CURVA: PS-01
ESCALA: 1:1000	FECHA: 2023/07/10

PROYECTISTA:	
PROYECTISTA LEGAL:	
SUPLENTE DEL PROYECTISTA:	
EFIC:	
COORDINADOR DE SUPERVISIÓN:	

12.-Plano de señalamiento vial para la ciclovía

Una vez definidos los aspectos geométricos y constructivos de la ciclovía, se procedió a la elaboración del plano de señalamiento vial, el cual tiene como objetivo garantizar la seguridad y correcta circulación de los usuarios a lo largo del recorrido. Este plano incluye tanto el señalamiento vertical como el horizontal, en conformidad con la normatividad vigente en materia de movilidad, seguridad vial y diseño urbano.

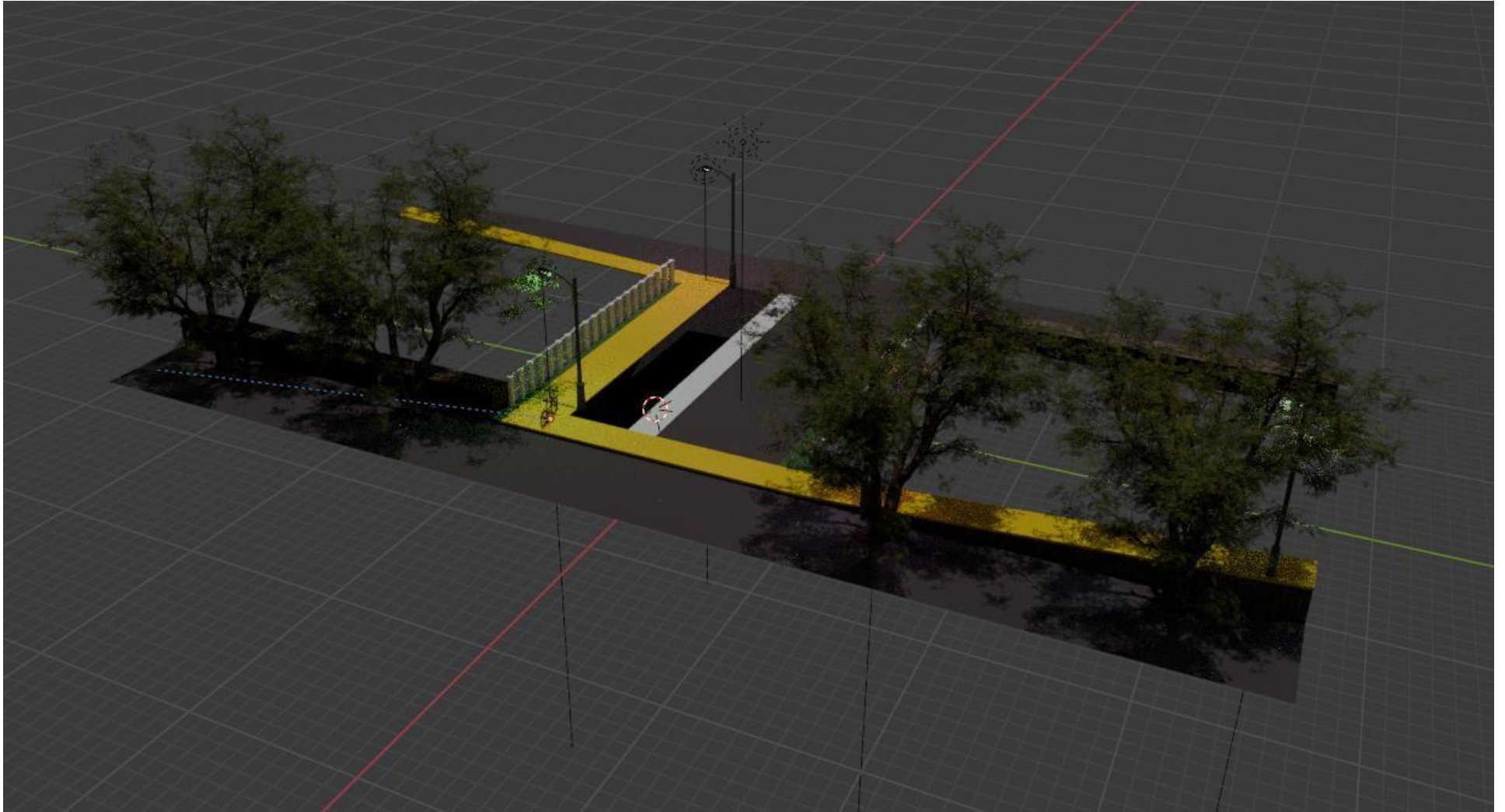
El señalamiento vertical contempla la ubicación estratégica de señales informativas, preventivas y restrictivas, tales como señalización de inicio y fin de ciclovía, advertencias de cruce peatonal, ceda el paso, uso exclusivo de ciclistas, entre otras. Estas señales fueron colocadas tomando en cuenta puntos críticos como intersecciones, entradas y salidas de calles, y zonas compartidas con vehículos o peatones.

Por su parte, el señalamiento horizontal incluye la aplicación de marcas sobre el pavimento como pictogramas de bicicleta, flechas direccionales, líneas de borde, pasos peatonales y franjas de cruce, permitiendo una adecuada guía visual y delimitación del espacio ciclista. Este plano fue elaborado utilizando herramientas de diseño asistido por computadora, integrando la información del diseño geométrico y del entorno urbano. Además, se siguieron los lineamientos establecidos por los Manuales de Dispositivos para el Control del Tránsito y la normativa local de movilidad, con el fin de garantizar la legibilidad, visibilidad y eficacia del señalamiento.

En el contexto del proyecto de la ciclovía Tlaxcala–Apizaco, el plano de señalamiento vial cobra especial relevancia al tratarse de un corredor que interactúa con múltiples entornos urbanos, cruces vehiculares y zonas escolares, por lo cual su correcta implementación contribuirá de manera significativa a la seguridad vial y la funcionalidad del proyec

13.-Blender







14.-Carta de no inconveniencia

DISEÑO Y EDIFICACION SAMAR S.A DE C.V.
R.F.C. SAMO717201N89

Tlaxcala, Tlax., a 22 de Enero de 2025.

ASUNTO: Carta de no inconveniente

Dra. Yesica Imelda Saavedra Benítez

Directora del Instituto Tecnológico de Apizaco

Presente.

Por medio de la presente, quien suscribe, Arq. Oswaldo Sánchez Moreno, en representación de la empresa DISEÑO Y EDIFICACION SAMAR S.A DE C.V., hace constar que no existe inconveniente alguno en que el C. Rogelio Hernández Fernández, estudiante del programa educativo de Ingeniería Civil, con número de control 19370275, utilice la información, experiencias y datos obtenidos durante sus residencias profesionales en el proyecto denominado:

"IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA BIM EN EL DISEÑO GEOMETRICO DE LA CICLOVIA TLAXCALA-APIZACO PRIMER ETAPA KM 0+000.00 A KM 6+100.00"

Con fines exclusivamente académicos, específicamente para la integración de su reporte técnico y el proceso correspondiente a su titulación profesional ante el Instituto Tecnológico de Apizaco.

Asimismo, manifiesto que la información empleada no compromete ningún aspecto de confidencialidad institucional y que su uso está autorizado bajo los principios de ética o responsabilidad profesional.

Sin otro particular, quedo a su disposición para cualquier duda o aclaración relacionada con el presente documento.

ATENTAMENTE


ARQ. OSWALDO SÁNCHEZ MORENO

