



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

APLICACIÓN DE MODELO BIM PARA PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA VIAL

AUTOR:

FRANCISCO XAVIER ACUÑA CORREA

QUITO, DICIEMBRE 2016

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad y al grupo de educadores de la facultad de Ingeniería; especialmente al Ing. Juan Pablo Solórzano por su orientación en este trabajo en su rol de director.

Gracias

Xavier Acuña

DEDICATORIA

A Dios, por ser el guía de mi vida.

A mis padres Celia y Marco, que con amor me han conducido y apoyado incondicionalmente en la realización de mis sueños.

A mi esposa María José, a quien amo profundamente.

A mi hijo José Ignacio, la luz mi vida.

Xavier Acuña

Tabla de Contenidos

Capítulo 1 - Generalidades.....	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Actualidad: Diseño y representación de proyectos viales	7
1.2.1 Problemática	7
1.2.2 Diseño y representación tradicional	9
1.3 BIM: Origen y Concepto	14
1.3.1 Origen.....	14
1.3.2 Concepto	15
1.3.3 Etapas de un Proyecto BIM.....	17
1.3.4 BIM en el Diseño de Infraestructura vial	20
Capítulo 2 – BIM.....	23
2.1 Herramientas BIM.....	23
2.2 Diseño Conceptual: Autodesk Infracworks 360.....	23
2.3 Diseño de detalle: AutoCAD Civil 3D.....	25
2.4 BIM en AutoCAD Civil 3D.	27
2.5 Requisitos para elaboración de proyectos mediante metodología BIM	28
2.5.1 Definición de Alcance de Proyecto:	28
2.5.2 Programación de fases de proyecto:	29
2.5.3 Equipo de trabajo:.....	30
2.5.4 Escala de tiempo para ejecución:	31
Capítulo 3. – Diseño Conceptual en modelos BIM para proyectos de Infraestructura Vial. .	32
3.1 Diseño Conceptual – Introducción a Infracworks 360.....	32
3.1.1 Inicio en Autodesk Infracworks 360	35
3.1.2 Integración de información en Autodesk Infracworks 360	38

3.1.3	Creación de geometría para propuesta	38
3.1.4	Análisis de Mejor alternativa	39
Capítulo 4.	– Diseño de Detalle en modelos BIM para proyectos de Infraestructura Vial.	40
4.1	Inicio en AutoCAD Civil 3D	41
4.1.1	Configuración de espacio de trabajo	42
4.2	Inserción y procesamiento de Topografía	48
4.2.1	Características Generales de Levantamiento Topográfico	49
4.2.2	Importación de datos topográficos.....	50
4.2.3	Procesamiento de Topografía.....	52
4.3	Conformación de Superficie.....	53
4.3.1	Superficies TIN (Triangulated Irregular Network).....	53
4.3.2	Conformación de Superficie o Modelo digital de Terreno (MDT)	54
4.3.3	Análisis de Geometría TIN.....	55
4.4	Diseño Vial – Planimetría y Rasante.....	57
4.4.1	Flujo BIM para diseño Vial - Planimetría.....	59
4.4.2	Flujo BIM para diseño Vial Vertical	72
4.5	Diseño Vial – Composición de Objetos Tridimensionales.....	77
4.5.1	Flujo BIM para diseño Vial – Composición de Modelo Tridimensional	77
Capítulo 5.	- Extracción y consumo de información	84
5.1	Resultados de un modelo BIM	84
5.2	Definición de Materiales	85
5.2.1	Líneas de Muestreo.....	85
5.2.2	Caracterización geométrica	85
5.3	Extracción de Datos	87
5.4	Conformación de planos.....	92
5.5	Gestión y Planificación	96

5.6	Visualización Avanzada	98
5.6.1	Exportación de modelo técnico a Herramienta de Visualización	98
5.6.2	Generación de Contenido Multimedia	100
Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones.....		101
6.1	Conclusiones	101
6.2	Recomendaciones	102
Bibliografía		103

Capítulo 1 - Generalidades

1.1 Introducción

El presente trabajo de grado presenta la aplicación de metodología BIM (Building Information Modeling) para diseño y documentación de proyectos de infraestructura vial, entendiéndose que las vías de comunicación forman parte indispensable del desarrollo de una región y la necesidad de mejorar los procesos que permitan su construcción.

Las vías terrestres son parte de la infraestructura de transporte de mayor importancia en la movilización de personas así como de bienes y mercaderías, por lo tanto es necesario que la construcción de infraestructura vial terrestre se ejecute de la mejor manera posible, aplicando las herramientas tecnológicas en obra y en la elaboración de la ingeniería de detalle con el objetivo de obtener productos seguros, funcionales y económicos, optimizando el tiempo de diseño y construcción apoyados en nuevos procedimientos desarrollados a partir de tecnología informática existente.

En el presente trabajo de grado se plantea el uso de herramientas BIM, que guiados por una metodología, permita obtener mejores resultados tanto en la ingeniería aplicada al diseño y construcción de proyectos viales así como en la documentación, cuantificación y gestión del proyecto.

1.2 Actualidad: Diseño y representación de proyectos viales

1.2.1 Problemática

La metodología tradicional para proyectos viales se ha visto desafiada en mejorar de manera general debido a la constante necesidad de mejorar la infraestructura existente, el

incremento demográfico no controlado que demanda más y mejores vías de comunicación, la necesidad de soluciones a problemáticas de tránsito cada día más complejas y la premura con la que estos proyectos deben ejecutarse, por ello es necesario implementar mejoras en la manera de llevar a cabo los proyectos de ingeniería en general.

Actualmente en nuestro medio se aplican flujos de trabajo abiertos o no controlados, es decir que por lo general excluyen etapas importantes de un proyecto de ingeniería y sobre todo no están sustentados en una metodología que permita acompañar su gestión a lo largo del mismo y que, efecto de su aplicación reduzca los costes del todo el proyecto en todas sus etapas.

Un proyecto de ingeniería civil, generalmente padece de los siguientes problemas por no aplicar una metodología de gestión a lo largo de todas sus etapas:

- Desvinculación de áreas involucradas.
- Cambios no controlados.
- Duplicación de trabajo.
- Interferencia espacial y cronológica.
- Inconsistencia entre diseño y dibujo, etc.

Claramente las consecuencias de estos antecedentes, redundan en pérdidas de tiempo y recursos económicos, afectando a administradores, consultores y ejecutores en sus respectivas etapas.

Con el propósito de minimizar y eliminar los procesos y actividades desconectadas unas de otras, se plantea a nivel mundial el uso de estándares y metodologías que permitan reducir los problemas en la ejecución de todo un proyecto de ingeniería, y es así como durante la última década la metodología BIM ha sido incorporada de forma progresiva en diferentes países como parte de la normativa obligatoria para la ejecución de proyectos de ingeniería, en el Ecuador aun no es mandatorio el uso de estos estándares.

Países como Reino Unido, a partir del año 2016 exigen que todo proyecto de público debe ser realizado mediante metodología BIM (Cabinet Office and Infrastructure and Projects Authority, 2016). Así mismo Estados Unidos, Australia, y algunos países europeos han

impuesto el uso de BIM de manera normada, provocando que las empresas se vean obligadas a mejorar en su gestión de proyectos y adoptar los procedimientos de uso de tecnología BIM.

En el Ecuador la metodología BIM se ha implementado parcialmente en un grupo reducido de empresas que usan herramientas BIM, que con el uso continuo y adiestramiento de sus profesionales en el manejo de las herramientas han visto la necesidad de introducir o desarrollar metodologías de trabajo compatibles con esta tecnología en varios de sus flujos de trabajo; empresas afines a la construcción de infraestructura para transporte como la constructora española Acciona (Acciona Construcción, 2016) y la empresa de consultora de ingeniería de detalle Vera Quintana Asociados (Autodesk Inc., 2014) han publicado sus trabajos donde han desarrollado proyectos con herramientas BIM.

1.2.2 Diseño y representación tradicional

A pesar que en empresas dedicadas al diseño y construcción de proyectos de infraestructura vial ha utilizan software BIM como herramientas de trabajo, mitigando así algunos de los problemas de la ingeniería previamente mencionados, la aplicación de la tecnología BIM aislada de una metodología definida, reduce y limita el beneficio que estas herramientas pudieran brindar dentro de un flujo de trabajo BIM.

El uso de herramientas BIM aislada de una metodología o flujo de procesos reduce los beneficios que esta tecnología ofrece mediante la conservación de la información técnica que contienen sus modelos, ya que si se ve interrumpido el proceso BIM, los modelos se convertirán en dibujos CAD (computer-aided design) los cuales solamente mantendrán sus características geométricas vectoriales, impidiendo así el aprovechamiento del trabajo de ingeniería del modelo BIM, en etapas posteriores del proyecto.

Determinar el flujo de trabajo en el diseño de una obra vial es siempre variable y dependerá de las condiciones de contratación y particularidades técnicas propias del proyecto, no obstante en acuerdo a los procedimientos, estudios y flujos sugeridos para el diseño de un

proyecto vial planteados en el Manual de Diseño de Carreteras MOP 2003, (Ministerio de Obras Públicas, 2003), es posible establecer un flujo que tradicionalmente es usado para proyectos de infraestructura vial, el cual puede sintetizarse de la siguiente manera:

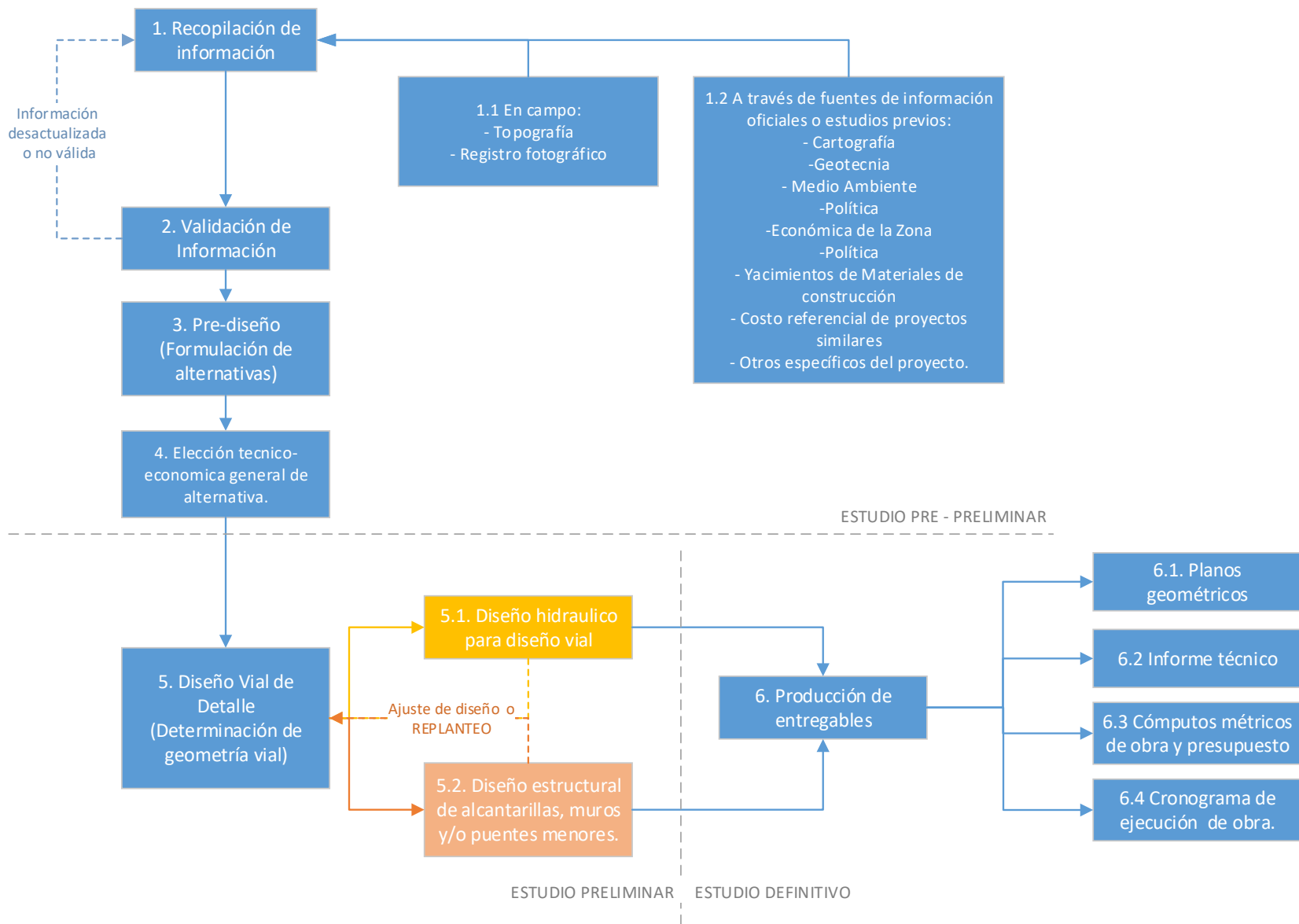


Ilustración 1. Flujo de trabajo para proyectos viales estándar. Fuente: MOP 2003 - Adecuado por Acuña Xavier

El flujo de trabajo propuesto como tradicional, es un ejemplo generalizado de cómo las empresas consultoras de ingeniería elaboran el diseño de una vialidad, que a pesar de la experiencia profesional y destreza en este tipo de proyectos, se ha encontrado que el mayor problema es re-trabajo inducido por los recurrentes cambios en alguno de los elementos de diseño, provocando así que el trabajo elaborado no pueda ser reutilizado o que los planos o representaciones, deban realizarse nuevamente al igual que la cuantificación de obra y los demás entregables que son consecuencia del diseño del proyecto.

En un contexto global, países como Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Alemania, Canadá y Corea, donde la investigación de procesos y metodologías para la gestión de la construcción ha tenido mayor desarrollo, se puede distinguir los beneficios que ha representado la aplicación de procesos BIM en varias empresas constructoras, siendo un aporte en la mejora de sus procesos, tal como se muestra en el estudio realizado por McGraw Hill Construction (McGraw Hill Construction, 2013). Ver ilustración 2.

Contractors Citing BIM Benefit as Among Top Three for Their Company

Source: McGraw Hill Construction, 2013

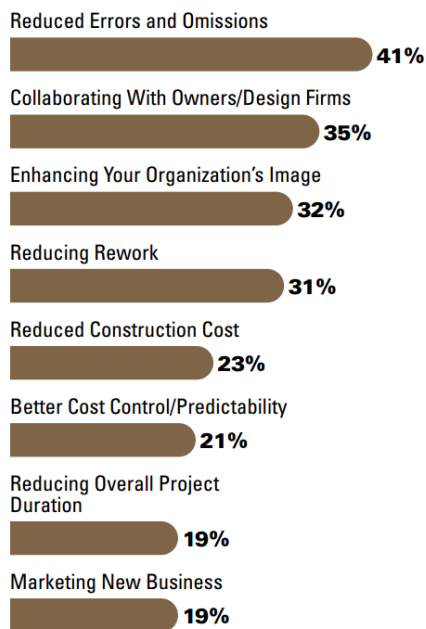


Ilustración 2. Beneficios citados por contratistas de la construcción que han implementado procesos BIM. Fuente: McGraw Hill Construction

De acuerdo con Patrick MacLeamy (MacLeamy, 2004), se puede explicar estos beneficios provocados por la implementación de un flujo de procesos BIM en proyectos de ingeniería con la gráfica comparativa mostrada en la ilustración 3.

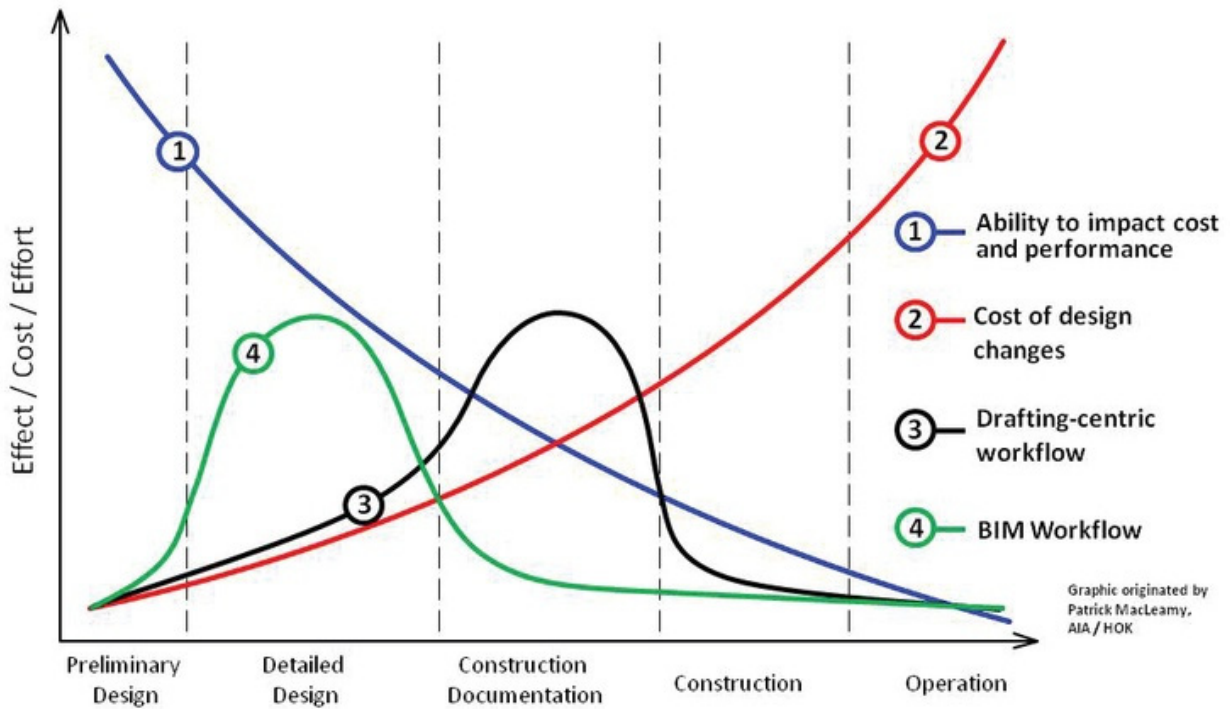


Ilustración 3. Distribución del esfuerzo de tiempo en las fases de un proyecto de ingeniería basado metodología BIM y metodologías tradicionales. Fuente: Adaptado Macleamy (2004)

En la ilustración; la línea azul con el número uno indica la capacidad de influir en costos y cambios a medida que avanza el proyecto, siendo las etapas de diseño preliminar y diseño de detalle las de mayor capacidad de producir efecto sobre el costo y esfuerzo en el proyecto.

La línea número dos de color rojo, muestra el comportamiento del costo de los cambios producidos en un proyecto de acuerdo a su avance.

En color negro, la línea número tres representa la distribución del esfuerzo aplicando metodologías tradicionales, concentrando su mayor esfuerzo en la etapa constructiva.

La línea número cuatro de color verde, representa la distribución del esfuerzo de un proyecto implementando procesos BIM, esto produce un sesgo de los esfuerzos en las etapas tempranas del

proyecto, diseño conceptual y diseño de detalle, esto se traduce a que el costo de hacer cambios a los diseños es menor aplicando procesos BIM, ya que no implica construcción de adicionales ni demoliciones.

1.3 BIM: Origen y Concepto

1.3.1 Origen

El concepto BIM (Building Information Modeling) o modelado de información para la edificación se genera en la década de los setenta y es atribuido a varios investigadores, entre los más destacados figura el investigador estadounidense Phillip Bernstein quien introduce el concepto de maquetas virtuales enriquecidas de información. (B.A., Yale University, 2016)

Para mediados de la misma década, Charles M. Eastman, profesor de Georgia Tech Institute of Technology sintetiza la teoría de modelos BIM y comienza la difusión del término BIM asociado a la elaboración de modelos de información para la construcción.

En 1987, la empresa húngara desarrolladora de software Graphisoft implementa el concepto BIM en uno de sus primeros aplicativos llamándolo Virtual Building (Edificación Virtual) como una extensión adherida en su ya conocido programa ArchiCAD. Esto revolucionaría la manera en cómo se realizaba la fase de diseño y planificación de un proyecto de infraestructura, ya que era posible dibujar en dos y tres dimensiones.

A partir de 1990 empresas desarrolladoras de software como Autodesk, Bentley entre otras empiezan a mejorar sus herramientas o motores CAD, basada en geometría explícita para vincular el concepto BIM como modelado de construcción paramétrico dándole mayor importancia a las herramientas de diseño más que a las herramientas de dibujo.

Actualmente BIM, es un concepto adoptado por muchos fabricantes de software y su desarrollo no conoce límites hasta el presente, sin embargo estas herramientas BIM siempre deberán estar alineadas a una metodología que permita desarrollar una ingeniería coordinada y consistente, esto ha provocado que se desarrollen programas educativos, diplomados o post-gradados referentes a “BIM Management” o gestión

de plataformas BIM cuyo objetivo es preparar a los profesionales capaces de implementar y gestionar procesos constructivos de manera eficaz.

1.3.2 Concepto

Modelo de información de la construcción (BIM) es la representación digital de las características físicas como funcionales de una infraestructura. BIM es un recurso compartido de información acerca de una edificación que constituye una base fiable para la toma de decisiones durante su ciclo de vida, desde la concepción del proyecto hasta su demolición.

** ["Frequently Asked Questions about the National BIM Standard-United States - National BIM Standard - United States". \[Preguntas Frecuentes sobre Normas Nacionales BIM\], Nationalbimstandard.org. Obtenido en Octubre 17 de 2014.](#)*

BIM se presenta como una solución en diseño, documentación y administración en proyectos de ingeniería, arquitectura y otros campos cuya necesidad sea comunicar conceptos o procesos de tal manera que la idea a transmitir no sea basada en la interpretación geométrica de un dibujo, lo que se logra con BIM es comunicar información de las propiedades o simulación espacial de una geometría, objeto o proceso. Es decir, si un dibujo de varios vectores formaban una geometría similar a lo que en vista de planta representa un mobiliario, dependerá de la calidad de dibujo, la familiaridad del consumidor del dibujo para identificarlo, y la interpretación que le pueda dar el consumidor a esa entidad gráfica. Cuando con la metodología BIM, aquel mobiliario será un modelo tridimensional con propiedades informativas y parametrizables, del cual pueden obtenerse varias "vistas" pero además es posible extraer información tabulada o realizar cálculos haciendo uso de a sus campos informativos o parámetros, tales como área, volumen, material, reflectividad, propiedades mecánicas del material, ubicación espacial, etc.

Estos datos informativos hacen que el proceso de dibujar líneas (vectores) que representen objetos sea innecesario, ya que podemos modelar objetos donde todas sus propiedades están inmersas y como resultado de haber aplicado la metodología se pueden obtener todas las maneras de visualizar el objeto y documentarlo para su consumo: extracción de planos, fachadas, cortes, listado de materiales, etc.

Parte de la metodología BIM es aplicar los modelos BIM a lo largo de todas las etapas del desarrollo de un proyecto de ingeniería, aportando con la información que se requiere para el cumplimiento de una etapa y enriqueciéndose de mayor información para la siguiente.

A continuación se muestra gráficamente el ciclo de un proyecto y la aplicación de BIM en un proyecto de ingeniería:

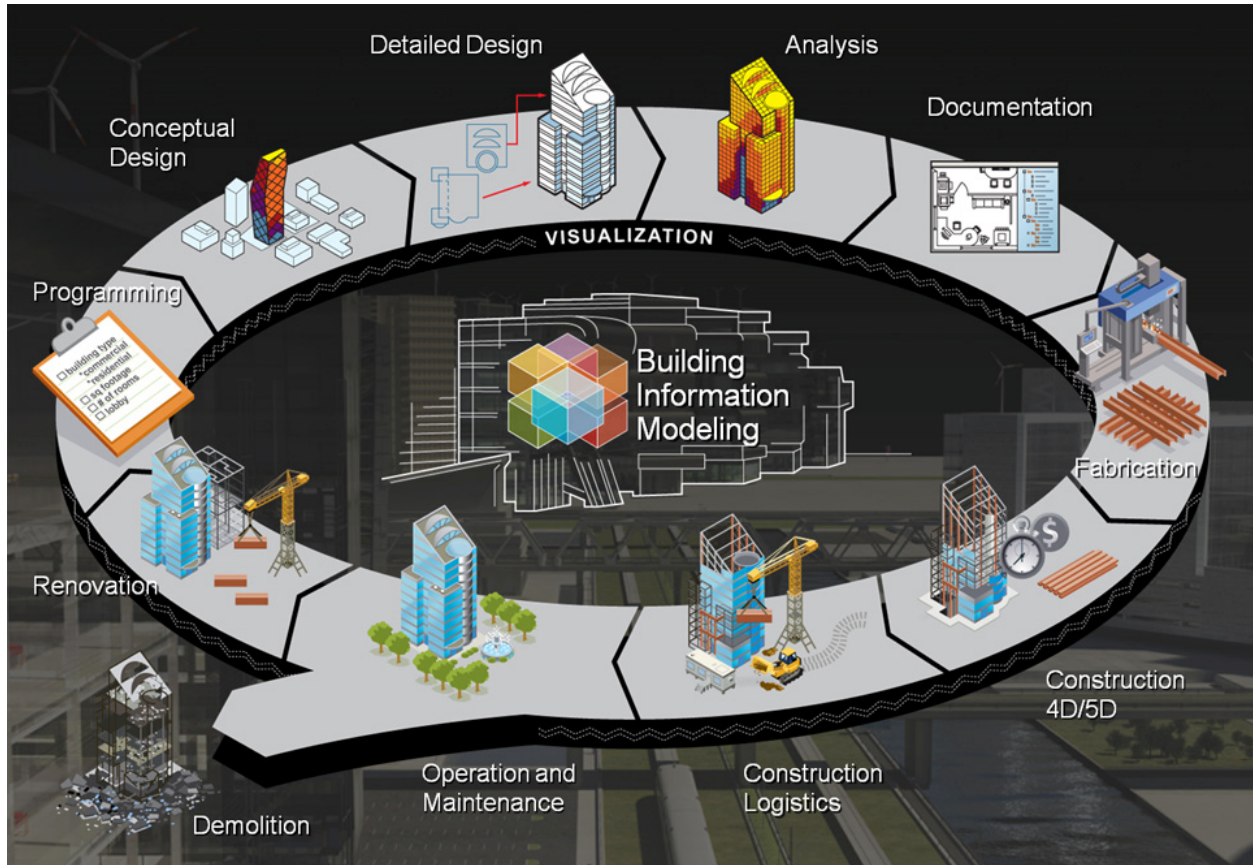


Ilustración 4. Flujo de trabajo BIM propuesto por Autodesk para proyectos de Ingeniería en general. Fuente: Autodesk Inc.

El ciclo de un proyecto de ingeniería, “generalmente” cumple con los procesos descritos por el gráfico, sin embargo no todos tienen el mismo alcance o no atraviesan por algunas de las etapas descritas debido a su naturaleza o existencia de utilitarios compatibles con sus particularidades.

1.3.3 Etapas de un Proyecto BIM

1.3.3.1 Programación:

Etapa técnica inicial de un proyecto, esta etapa se caracteriza por el planteamiento del alcance del proyecto, sus objetivos y se establecen sus principales características técnicas y lineamientos, así como de la recopilación de información de factores influyentes tales como:

- 1.1. Locación
- 1.2. Extensión
- 1.3. Limitantes normativos, técnicos y presupuestarios.
- 1.4. Situación contextual
- 1.5. Intención de diseño

En esta etapa se programa o configura el equipo o herramientas digitales necesarias para poder desarrollar el proyecto.

1.3.3.2 Diseño Conceptual:

Etapa que es consecuencia de haber reunido y analizado toda la información que delimita el proyecto, derivando como resultado las primeras ideas de diseño. Es en esta etapa donde se plantean las distintas alternativas posibles para lograr el propósito del proyecto. Se realizan varios escenarios, con diseños conceptuales para el análisis y posterior elección de la idea o el diseño que represente mayores beneficios que converja con el objetivo del proyecto.

Para esta etapa es necesario el uso de una herramienta de diseño BIM, que permita obtener información de juicio de las alternativas planteadas de manera que sea parte del sustento de la elección de la mejor alternativa.

Ejemplos: Cantidad de suelo a remover, distancias, características mecánicas del suelo, etc.

1.3.3.3 Diseño de detalle:

Seleccionada la mejor alternativa entre los diseños conceptuales, empieza el detallamiento del diseño así como de los estudios específicos de las estructuras y componentes del proyecto.

Además, comprende la aplicación de normativa técnica y ajuste técnicamente sustentado sobre el diseño conceptual para obtener un diseño final.

Es recomendable que la herramienta BIM en la que se realizó el diseño conceptual sea compatible con la herramienta BIM de diseño definitivo para el aprovechamiento de la mayor cantidad de características geométricas e informativas bosquejadas en el diseño conceptual. La continuidad y consistencia de datos es parte fundamental de la metodología BIM.

1.3.3.4 Análisis:

El diseño detallado de la infraestructura debe ser probado de manera digital, existen varios análisis que son posibles de realizar digitalmente o mediante procesos computacionales. La etapa de análisis es donde se somete el modelo del diseño detallado a ciertos ensayos o condiciones que puedan avalar o no el diseño. Estos análisis deben ser cuidadosamente programados para que los resultados obtenidos sean semejantes a la realidad. Ejemplos: Análisis de resistividad a esfuerzos en elementos estructurales, análisis de iluminación y energía, comprobación de geometría basada en normativa técnica, etc.

Existen herramientas BIM capaces de realizar análisis dentro de la misma plataforma de diseño, de igual manera existen utilitarios exclusivos de análisis. Sin embargo la condición necesaria para cumplir el ciclo BIM en esta etapa es que los resultados puedan ser consumidos y usados para ajustes del modelo de tal manera que el diseñador tenga datos de juicio para perfeccionar el modelo.

1.3.3.5 Documentación:

Cuando el modelo ha sido ajustado y todos sus elementos de diseño han sido completados, se extrae o diagrama los documentos producto del diseño. Planos, cubicación o cómputos métricos, imágenes, detalles, planillas, leyendas, etc. Son los productos a obtener del modelo BIM.

1.3.3.6 Fabricación:

Cuando el proyecto ha concluido la etapa de diseño, empieza su ejecución física u obra. En muchos proyectos las características son muy específicas que requieren de la fabricación particular de sus elementos. Con uso de maquinaria compatible es posible que los elementos puedan ser cortados, impresos, moldeados o fabricados a partir de un proceso digital a través de un dispositivo periférico.

Es decir que a través de la metodología BIM es posible que los elementos u objetos diseñados pueden ser creados de manera automatizada.

1.3.3.7 Construcción/Presupuestario (4D y 5D):

Esta etapa requiere la aplicación de una administración, gerenciamiento o gestión de proyecto, ya que es aquí cuando se vincula un cronograma de ejecución (4D), este puede incluir valoraciones de manera tal que se pueda estimar los costos del proyecto en sus etapas de ejecución (5D).

Para este fin es necesario que la herramienta BIM permita extraer información de cuantificación y caracterización de materiales para los elementos modelados.

1.3.3.8 Logística y Construcción:

Es en esta etapa donde la fuerza laboral ejecuta de manera tangible la construcción del proyecto. La metodología BIM interviene en el seguimiento y control logístico basado en la programación de obra. También se pueden verificar previamente problemas de interferencias entre disciplinas, acercando a los profesionales a realizar ajustes en el proyecto antes de su ejecución.

1.3.3.9 Operación y Mantenimiento:

Cuando la construcción ha sido concluida y el proyecto de infraestructura empieza a prestar los servicios para la cual fue construida, se dice que ha comenzado su etapa de operación, dicha etapa se caracteriza por el consumo de los recursos que contiene el modelo BIM para el correcto funcionamiento de la infraestructura, más el ajuste y actualización que se pueda dar a la infraestructura en el tiempo por causa de su uso o mantenimiento.

1.3.3.10 Demolición:

Etapa de destrucción de la infraestructura, esta etapa concluye el ciclo de una estructura. Un modelo BIM servirá en este proceso para identificar qué tipo de material, tipo de estructura o brindar información que permita determinar el mejor mecanismo y procedimiento para su demolición.

1.3.3.11 Renovación:

Ampliación o renovación es la etapa en la cual se ha decidido ajustar la infraestructura original para aumentar su tamaño o adjuntar una nueva estructura. El modelo BIM permite conocer a detalle la infraestructura original y a partir de esa información adjuntar la nueva estructura complementaria.

1.3.4 BIM en el Diseño de Infraestructura vial

La metodología BIM es versátil y aplicable en varios campos de la ingeniería civil y a pesar que el campo de mayor desarrollo en tecnología BIM se ha dado en las edificaciones o edificios para personas, el concepto se aplica de igual manera a través de diferentes utilitarios, estos utilitarios podrán variar de acuerdo a la estructura a diseñar. Para proyectos de infraestructura vial se deberá usar el utilitario cuyas herramientas faciliten la creación de elementos viales. Como por ejemplo AutoCAD Civil 3D.

Para el diseño y ejecución de un proyecto de ingeniería podrán ser aplicados todos los procesos de la metodología BIM, sin embargo no todo proyecto de ingeniería vial podría no atravesar todas las etapas.

Varios de los procesos BIM que intervienen en el desarrollo integral de un proyecto de ingeniería vial pudieran ser excluidos dependiendo de la especialidad y particularidad de los elementos a diseñarse, ya que no todo paquete de software permite el aprovechamiento de información de los elementos modelados como se requiere en un flujo BIM, o no tienen la capacidad necesaria para modelar aquellos elementos de mayor complejidad. Por lo antes mencionado, se establece de manera general un flujo de procesos para implementación de metodología BIM en el desarrollo de un proyecto específicamente de infraestructura vial, que cumple las etapas mostrada en la ilustración 3. Dependiendo de los alcances del proyecto y el objeto de contratación, pudiera incluirse o no las etapas de fabricación, operación y mantenimiento y renovación señaladas en color amarillas.

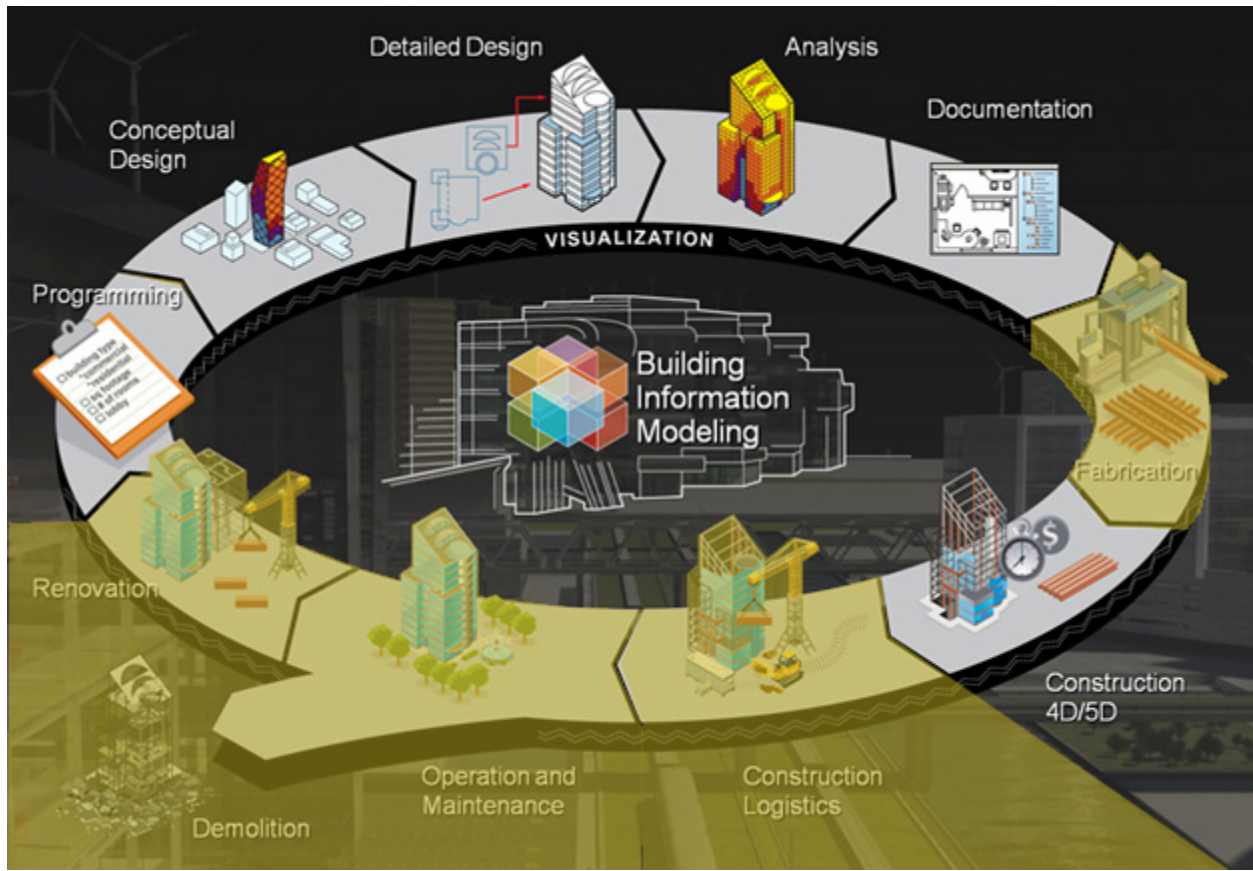


Ilustración 5. Ciclo de Proyecto de Infraestructura vial BIM estándar en Ecuador. Fuente: Autodesk Inc. – Adecuado por Acuña Xavier

La ilustración sugiere que el ciclo de un proyecto BIM para infraestructura vial cumple siguientes etapas caracterizadas por:

1.3.4.1 Programación BIM Vial

- a. Planteamiento de alcance y Objetivos: Lugares a comunicar, lineamientos técnicos, presupuesto referencial, intensidad de diseño, etc.
- b. Recopilación y análisis información: Estudios TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual), topografía referencial, imágenes satelitales, información de posibles expropiaciones, análisis de zonas de riesgos, identificación de hidrografía y caracterización preliminar de suelos, etc.
- c. Planteamiento de flujo de trabajo y elección de herramientas BIM, ejemplo: Autodesk InRoads 360 y AutoCAD Civil 3D.

1.3.4.2 *Diseño Conceptual BIM Vial*

- Basado en información digitalizada como por ejemplo cartografía digitalizada, aerofotogrametría, etc.:
 - d. Planteamiento de alternativas a nivel conceptual
 - e. Análisis o evaluación técnica, geométrica, presupuestaria de alternativas de diseño.
Basados en una interface BIM que brinde elementos de juicio: cantidades de obra.

1.3.4.3 *Diseño de detalle BIM Vial*

- A partir de estudios y recolección de información en campo y levantamiento topográfico terrestre:
 - f. Selección de mejor alternativa
 - g. Aplicación de normativa y diseño geométrico técnico en utilitario BIM para vialidades.
 - h. Aplicación dinámica de materiales al modelo BIM

1.3.4.4 *Análisis BIM Vial*

- En base a información taquimétrica obtenida después de replantar el diseño definitivo:
 - i. Comprobación sistematizada de normativa técnica, análisis gráfico y recorrido de modelo vial, análisis espacial de interferencias entre estructuras y cómputo de cantidades de obra.
 - j. Elaboración de diagrama de masas.
 - k. Análisis hidráulico de sistema de drenaje superficial, en caso de existir.

1.3.4.5 *Documentación BIM Vial*

- l. Extracción de reportes de diseño geométrico.
- m. Elaboración de plantilla de plano y extracción de planos de planta y perfil.
- n. Extracción de reportes de cuantificación de obra

1.3.4.6 *Construcción/Presupuestario (4D y 5D) BIM Vial*

- o. Elaboración y vinculación del plan o cronograma de ejecución del proyecto.
- p. Simulación cronológica de la construcción del proyecto
- q. Identificación de posibles conflictos con otras disciplinas que intervengan en el proyecto, ejemplo: Edificaciones adyacentes.

Capítulo 2 – BIM

2.1 Herramientas BIM

Se conoce como herramienta o utilitario BIM a los programas o soluciones informáticas que mantienen durante sus flujos de trabajo la información y parámetros de los objetos modelados.

Una herramienta BIM se complementa según su disciplina o campo de acción con otras aplicaciones que permitan al proyecto cumplir todas sus fases o etapas de tal manera que el contenido de información pueda ser aprovechado y así evitar los reprocesos o trabajos duplicados.

Existen varias empresas fabricantes y desarrolladores de software BIM entre las cuales se destacan: Autodesk, Archibus, Bentley Systems, Data Design System, Tekla, VectorWorks, Nemetschek, GRAITEC entre otras empresas con desarrollo local sin fines comerciales.

La compañía estadounidense Autodesk, fundada en 1982 lidera la industria del software de diseño y tecnología informática aplicada a la ingeniería y es el fabricante con mayores usuarios en el Ecuador de sus soluciones CAD (Computer Aided Design) y BIM.

Para objeto del presente trabajo de disertación se presenta Autodesk AutoCAD Civil 3D versión 2015, Autodesk Infracore 360, aplicados en un proyecto de infraestructura vial usando metodología BIM.

2.2 Diseño Conceptual: Autodesk Infracore 360

El diseño conceptual o preliminar es necesario para plantear alternativas que permitan determinar la mejor solución de proyecto. Estas alternativas cotejadas permitirán tomar mejores decisiones a los diseñadores siempre que contengan mayores herramientas de juicio, es decir mientras más información sea introducida y analizada.

El diseño conceptual también se caracteriza por tomar en cuenta factores macro del proyecto a diseñar, es decir: Ubicación, irregularidad topográfica, clasificación de suelo, longitud de trayectoria, etc.

Autodesk Inroadworks 360 es un utilitario BIM que permite contrastar información cartográfica disponible en sistemas GIS (Geographical Information System) que consideran infraestructura existente de manera geométrica e informativa versus los planteamientos preliminares de distintos escenarios que un profesional pueda bosquejar en un entorno donde dispondrá de información en estado bruto pero con campos informativos de juicio, como: nombre de las vías, trayectoria geométrica, altura de edificaciones, caudal de un cauce, topografía, etc.

Adicionalmente cumple una función de integración, ya que se puede también usar modelos digitales en dos y tres dimensiones, superficies digitales, imágenes satelitales entre otros recursos informáticos generados por software.

Para el pre-diseño de uno o varios escenarios de manera conceptual, se requieren conocer el alcance del proyecto, sus objetivos específicos y características principales, para que las métricas de diseño a plantearse permitan cumplir con dichos objetivos. Esta etapa introduce al proyecto los lineamientos principales para buscar la alternativa más favorable dependiendo de varios factores tales como, factibilidad de ejecución, costo, tiempo, dificultad constructiva, etc.

Es necesario disponer de información base que alimente los modelos preliminares y así permita empezar los “trazos” de diseño geométrico; BIM plantea un esquema de información entrante (inputs) que al atravesar el proceso de ingeniería conceptual, permita obtener resultados (outputs) con un nivel básico de elementos de juicio que permitan el análisis para una final elección de alternativa, la cual será la base para el diseño de detalle.

Aplicado a un proyecto de infraestructura vial, se plantea el esquema mostrado en la ilustración 4.

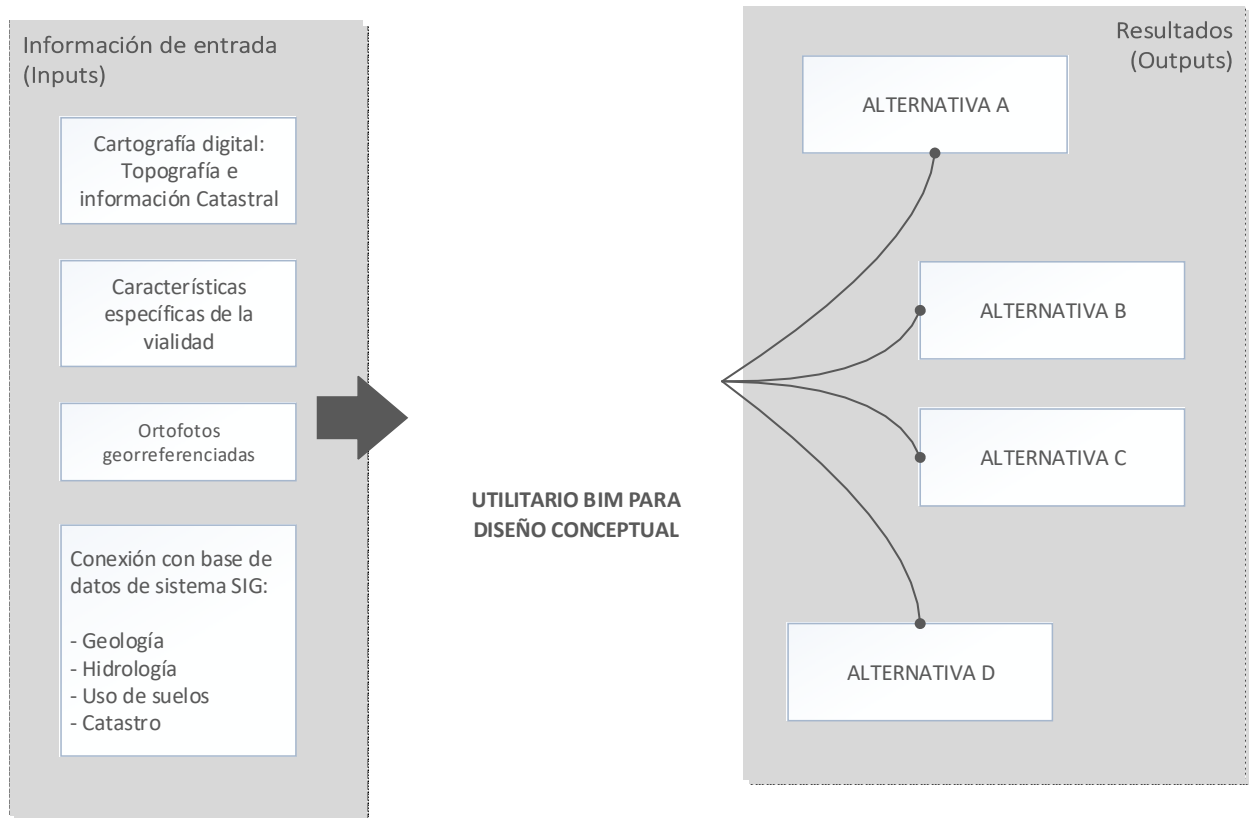


Ilustración 6. Esquema de Información en Diseño conceptual aplicando BIM. Fuente: Acuña Xavier

2.3 Diseño de detalle: AutoCAD Civil 3D

El diseño de detalle es aquella etapa dentro del flujo BIM donde se introduce información específica del proyecto como estudios del terreno donde se desarrollará el proyecto, estudios de la zona por la cual atravesara la vialidad, etc.; con la finalidad de ajustar o perfeccionar lo que el diseño conceptual planteo de manera inicial acercándolo a un diseño aplicable a la realidad.

La principal característica de esta etapa del proyecto es la determinación de geometría horizontal y vertical bajo normativa técnica, esto con la finalidad de que la vía preste los niveles de servicio y seguridad necesarios para su uso. La normativa se puede aplicar de manera asistida en el utilitario BIM o bajo criterio del profesional de diseño.

Es importante que el utilitario o herramienta BIM a usarse en esta etapa brinde las herramientas necesarias para optimizar los diseño conceptuales, esto quiere decir que sea compatible con el utilitario de diseño conceptual y pueda reconocer los datos de dicho pre-diseño con la finalidad de aprovechar toda la información procesada previamente.

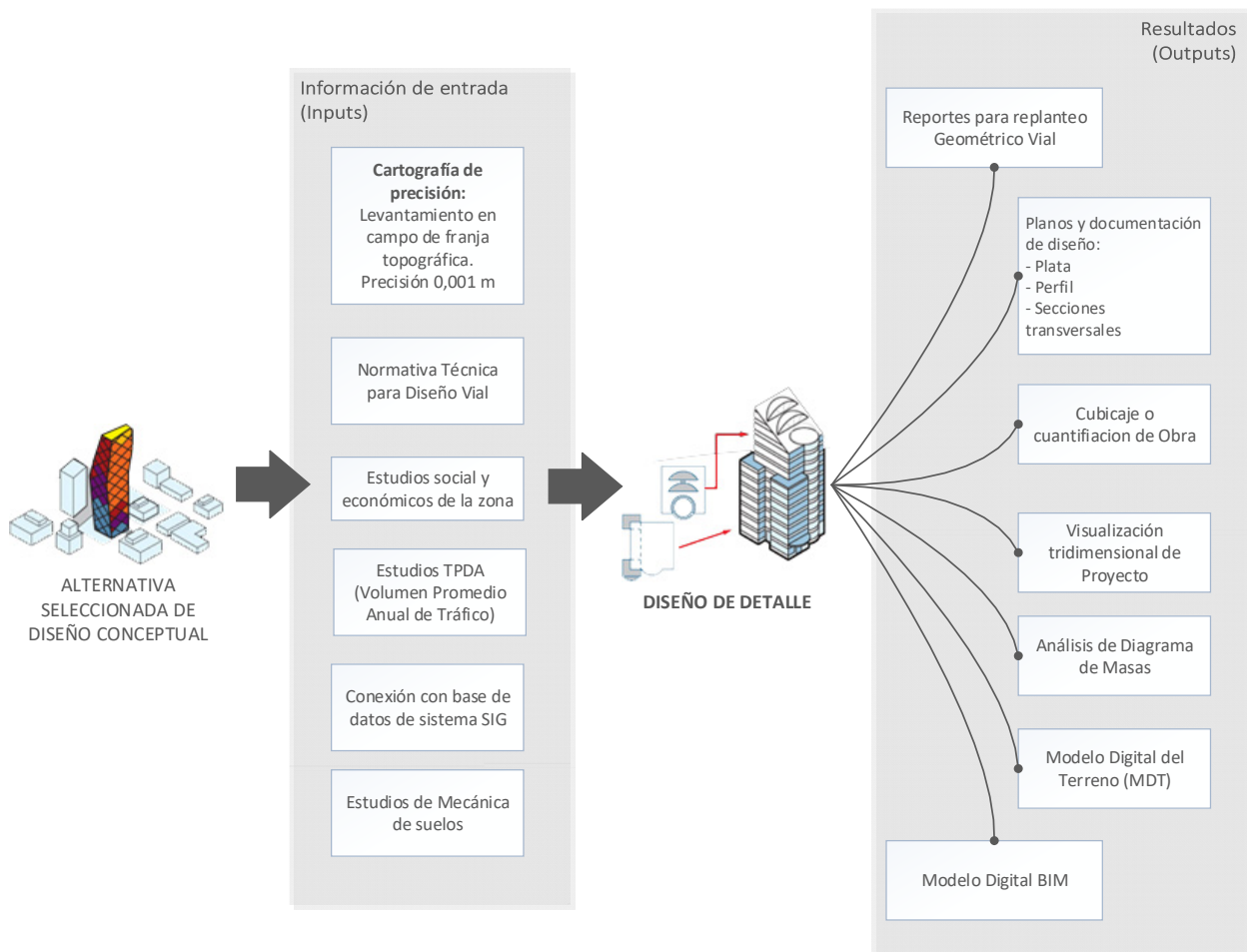


Ilustración 7. Esquema de Información en Diseño de Detalle aplicando BIM. Fuente: Acuña Xavier

AutoCAD Civil 3D, es la herramienta que actualmente lidera el mercado del software de ingeniería que se puede aplicar al diseño vial debido a su alto potencial de herramientas especializadas, funcionalidad y su capacidad de integración con los diferentes utilitarios que se aplican en las distintas etapas de la modelación BIM.

Este utilitario de especialización está basado en el muy conocido software CAD (*computer-aided design*), AutoCAD desarrollado por la firma estadounidense Autodesk. Es decir está fundamentado en el mismo lenguaje de programación (Autolisp) y cuenta con una interface similar a AutoCAD, esto con la intención de familiarizar a los usuarios y provocar la fácil adopción de AutoCAD Civil 3D que a diferencia de AutoCAD cuenta con potentes herramientas de diseño, análisis y documentación para proyectos de ingeniería civil.

AutoCAD Civil 3D es compatible con el concepto BIM, el cual se resume en construir modelos enriquecidos con información influyente que permitan crear modelos digitales parametrizados, a los cuales se puede someter a revisiones con normativas de diseño, análisis de cálculo, pre-visualización y extracción de documentación, etc. Además que estos parámetros permitan variar el proyecto de manera dinámica permitiendo optimizar tiempo y acelerar procesos de diseño y dibujo.

2.4 BIM en AutoCAD Civil 3D.

El diseño de un proyecto de infraestructura vial abarca varias disciplinas y áreas de la ingeniería que deben ser consideradas para la obtención de un diseño completo y consistente, en el cual, es necesario simular las características reales del entorno o área de influencia donde se realizara el proyecto.

Para este fin la herramienta BIM debe cumplir con las siguientes características:

1. Compatibilidad de unidades: Las unidades de dibujo deben ser reales, 1:1, es decir que exista consistencia entre unidades de medida en el prototipo virtual y diseño real.
2. Georreferenciación: Ubicación espacial y contextualizada del proyecto, con referencia a un sistema de coordenadas vigente.
3. Base de datos, o almacenamiento de información relacionado entre campos y visualización.
4. Tener un motor de procesamiento que permita realizar análisis, ejecutar rutinas y cálculos alfanúmericos como gráficos que puedan ser representados y consumidos por profesional que lo use.

AutoCAD Civil 3D, herramienta desarrollada por la empresa norteamericana Autodesk es el software BIM de infraestructura de mayor aceptación a nivel mundial. Esto se debe a sus múltiples funcionalidades, propiedades colaborativas, documentación y fácil manejo.

Esta herramienta puede acompañar al profesional en varias etapas del ciclo BIM de un proyecto de infraestructura vial. Empezando en el diseño conceptual, diseño de detalle y definitivo, análisis, documentación y en la operación y mantenimiento de un proyecto.

En los próximos capítulos de este trabajo se describirá como el software interviene en cada una de las fases mencionadas.

2.5 Requisitos para elaboración de proyectos mediante metodología BIM

Para llevar a cabo un proyecto estructurado en metodología BIM es indispensable cumplir con varios parámetros técnicos y de gerenciamiento de proyecto; tomando en cuenta que el éxito de un proyecto sustentado en metodología BIM depende en su gran mayoría de la cantidad y calidad de información disponible.

2.5.1 Definición de Alcance de Proyecto:

Consiste en determinar las tareas, actividades o trabajos serán necesarias ejecutar para el cumplimiento de los objetivos planteados para el proyecto, dichos objetivos deben ser medibles o cuantificables. El alcance del proyecto se elabora a partir de la necesidad planteada por la contratación o solicitud de trabajo, más específicamente sobre el documento de contrato donde se especifica los productos a entregarse dentro del proyecto. El planteamiento de un alcance requiere de un análisis de riesgos, eventos supuestos y restricciones existentes y posibles que se vean involucrados en el cumplimiento o éxito del proyecto.

Es importante considerar las restricciones y limitantes de proyecto, las cuales serán variables de acuerdo con las particularidades del proyecto, sin embargo para proyectos de ingeniería vial los mayores elementos restrictivos son los costes y el tiempo que pueden comprometer el éxito del proyecto.

Es importante determinar, dentro del alcance, cuales son los criterios de aceptación de los trabajos del proyecto, porque sobre esta definición se basará cuan profundo puede ser el alcance del proyecto.

2.5.2 Programación de fases de proyecto:

Analizar el alcance para determinar las distintas fases o etapas en las que se llevara a cabo el proyecto e identificar cronológicamente el tiempo en que deberán cumplirse cada una de estas etapas.

La metodología BIM no es un recurso metodológico rígido cuyas etapas estén estrictamente reglamentadas para todos los proyectos de ingeniería, sin embargo y de acuerdo con la particularidad de cada proyecto se puede aplicar las etapas sugeridas por los fabricantes de las herramientas BIM o implementar parcialmente varias de ellas, dependiendo también del alcance propuesto. Encontramos las distintas etapas de un flujo de trabajo BIM en la ilustración 6.

El resultado de la aplicación de metodología BIM, arroja siempre un entregable en cada fase, por ejemplo:

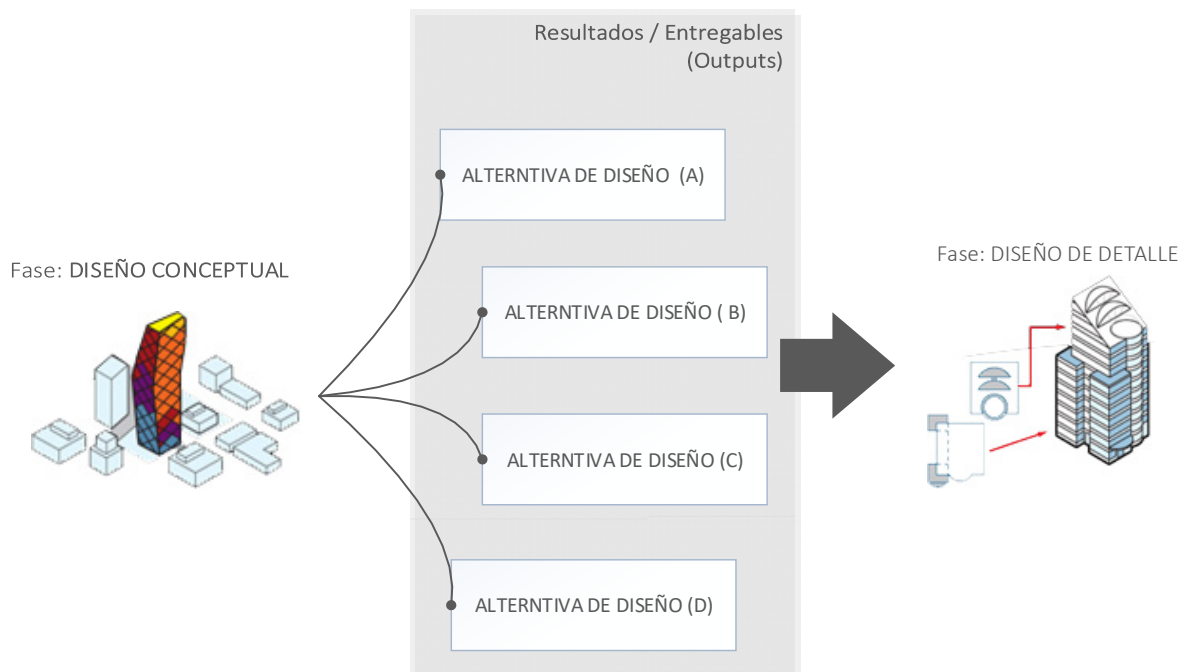


Ilustración 8. Flujo de transición de Diseño conceptual a Diseño de detalle. Fuente: Acuña Xavier

2.5.3 Equipo de trabajo:

Es indispensable contar con personal calificado en la disciplina del proyecto, ingeniería civil – diseño vial y disciplinas involucradas. Necesariamente el equipo humano involucrado deberá comprender la metodología BIM y manejar los utilitarios BIM a usarse en el desarrollo del proyecto. Así mismo para garantizar los resultados exitosos de la aplicación de la metodología debe existir la correcta coordinación entre los involucrados para el intercambio de información respetando el flujo de trabajo o etapas definidas para el proyecto.

En la metodología BIM se debe definir los roles de los profesionales participantes, con su jerarquía y responsabilidades, para que la distribución de trabajo sea de acuerdo con la especialidad y su función a desempeñar dentro de la gestión del proyecto tenga consecuencias lógicas. En la ilustración 7, se describe la estructura básica para un proyecto donde se aplique BIM.

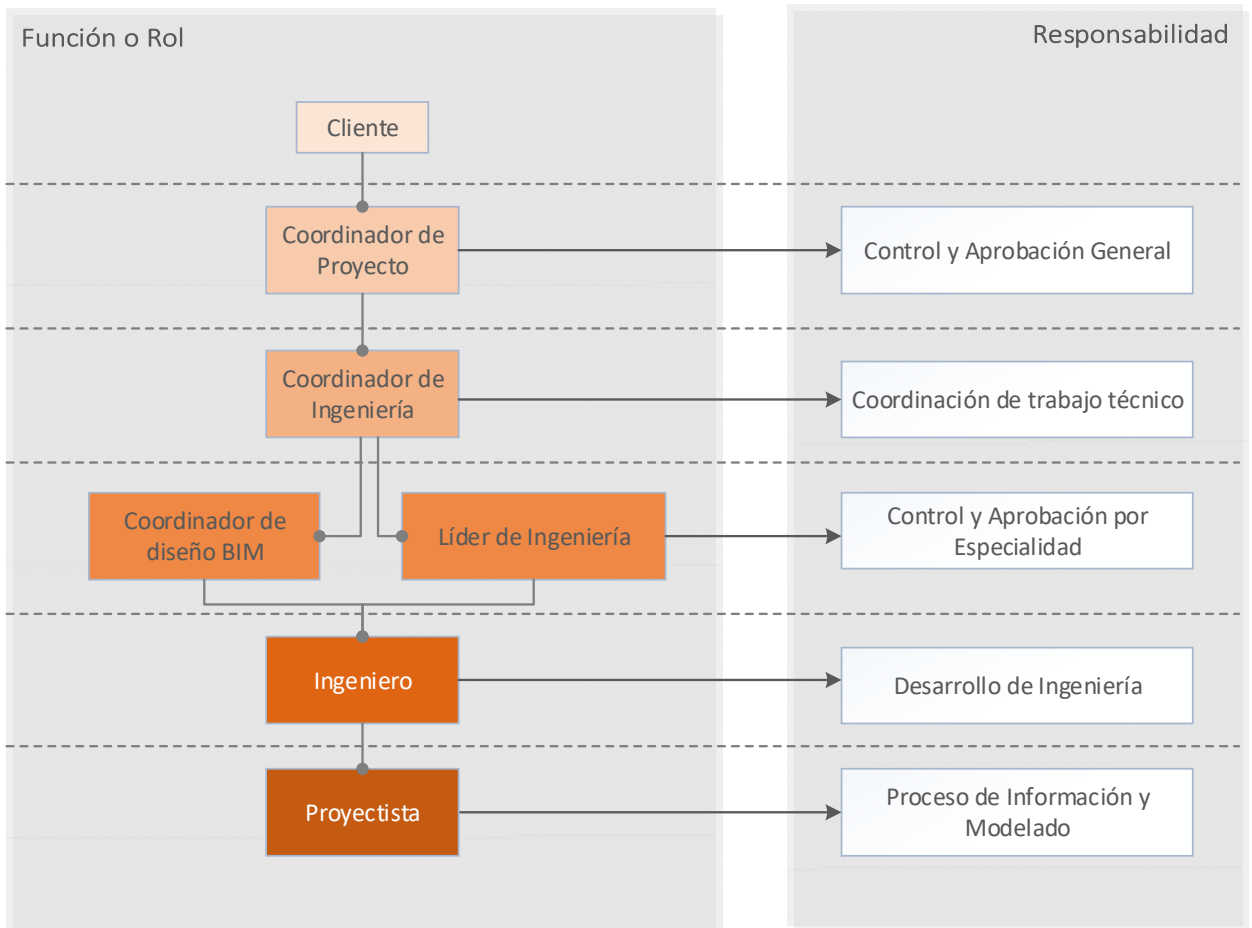


Ilustración 9. Estructura jerárquica de equipo humano en aplicación de metodología BIM. Fuente: Acuña Xavier

2.5.4 Escala de tiempo para ejecución:

El tiempo o plazo de desarrollo del proyecto mediante la aplicación de metodología BIM es considerado como el factor que más se beneficia de esta práctica. La mayor ventaja de la aplicación de BIM a la ingeniería es la optimización de ajustes y eliminar el trabajo redundante que pueda existir mediante el cambio de parámetros, es decir que los posibles ajustes a un diseño podrían significar solamente la actualización de uno de los parámetros del modelo y mediante su cómputo dinámico se pueda obtener resultados actuales en tan solo segundos. A comparación de la metodología tradicional que un ajuste de diseño puede significar re-trabajos como: corrección de dibujo, repetición de cálculos, cambios en documentación, etc.

A pesar de que la metodología BIM acelera los trabajos, es necesaria la programación cronológica de la ejecución de las tareas y actividades considerando supuestos eventos que pudieran retrasar el proyecto, dicho tiempo debe ser calculado y medido para su control.

Cada etapa del ciclo BIM debe estar sujeto a un cronograma de ejecución, sin embargo para control de tiempo las herramientas BIM se complementan de utilitarios para gestión de proyecto como Microsoft Project u Oracle Primavera, cuyos métodos de planeación, medición y control están sustentados a prácticas del PMI (Project Management Institute).

Capítulo 3. – Diseño Conceptual en modelos BIM para proyectos de Infraestructura Vial.

El ciclo BIM mostrado en la ilustración 3 describe distintas etapas comunes en la aplicación de modelos BIM, sin embargo estas etapas están definidas para su aplicación en proyectos de edificaciones como hospitales, edificios residenciales, centros educativos, residencias unifamiliares, etc. A pesar de que no exista una herramienta BIM aplicable en proyectos de infraestructura vial que permita dar continuidad a la metodología BIM en todos sus ciclos, prevalece el concepto de crear un modelo o prototipo virtual único con campos informativos que dinamicen la ingeniería y permitan obtener un diseño consistente, seguro y funcional. Por esta razón la aplicación de la metodología concentra su mayor desarrollo en las etapas de diseño conceptual y de detalle.

3.1 Diseño Conceptual – Introducción a Infraworks 360

Un diseño conceptual es aquel que representa intenciones u opciones de un proyecto en su etapa inicial. Este se caracteriza por ser producto de procesamiento de información preliminar y sin mayor detalle, es decir es la representación de posibles soluciones al proyecto planteado.

Autodesk Infraworks 360 es un utilitario que permite obtener e ingresar información de distintas fuentes y formatos con la intención de proporcionar al profesional de un espacio enriquecido de información que permita plantear varios escenarios y valorarlos para una posterior elección. Esta herramienta ha tenido una gran evolución desde su lanzamiento en 2011 cuando su nombre era “Infrastucture Modeler” donde su mayor aporte era poder conectarse a servidores de servicio GIS (Geographic Information Systems) para usar la información cartográfica disponible, visualizar y navegar en tres dimensiones los proyectos de infraestructura vial de tal manera que es posible percibir su integración con el entorno.

La versión actual del programa, Infraworks 360 R2, es compatible con el flujo de trabajo BIM, es decir permite transmitir un diseño conceptual ha una herramienta de diseño de detalle. Adicionalmente la

herramienta presente más y mejores herramientas, funcionalidades de análisis y acepta la inclusión de una gran variedad archivos de diferentes formatos. Tabla 1.

DATA SOURCE TYPE	SUPPORTED FILE EXTENSIONS	SUPPORTED FILE VERSION	CLOUD IMPORT	LOCAL IMPORT	NOTES
3D Model	.3DS, .DAE, .DXF, .FBX, .OBJ		No	Yes	
DWG 3D Model	.DWG, .DXF	up to AutoCAD 2016	Yes	Yes	
AutoCAD DWG as 2D Overlay	.DWG				
Autodesk AutoCAD Civil 3D DWG Files	.DWG	All versions	Yes	Yes	
Autodesk IMX Files	.IMX	All versions (downward compatibility)	No	Yes	
Autodesk Revit (RVT) Files	.RVT, .RFA	up to Revit 2016	Yes	Yes	
DGN 3D Model	.DGN	v7, v8	Yes	Yes	
CityGML Files	.CITYGML, .GML, .XML	0.3.0, 0.4.0, 1.0.0, 2.0.0	Yes	No	The following items are imported:
					One or more CityGML objects
					Textures
					Terrain surface
					Buildings
					Linear Features
					Volume Features
					Area Features
					City Furniture
					Generic Attributes of the type string, int, double, date and URI.
Schema location					
Building asset mapping					

					Self-intersecting geometry
Industry Foundation Classes (IFC) Files	.IFC	IFC2X_PLATFORM, IFC2X_FINAL, IFC2X2_FINAL, IFC2X3, IFC4	Yes	Yes	Supported Entities
					Faceted BReps
					Extruded area solids
					Geometric sets
					Face-based and surface-based models
					Simple, trimmed, and composite curves
					Simple surfaces
					Simple parametric, arbitrary and derived profiles
					Boolean clipping results and element-level voiding and projection CSG operations
					Basic styled and mapped items
					Property sets, including simple and complex properties
					Unsupported Entities
					Voided BReps
					Bounded half-space solids
					Complex parametric profiles
					BSpline curves
					Curve styles
					Swept surfaces
					Textures and complex lighting

					Loading of server-based IFC models
LandXML Files	.XML,.LANDXML		No	Yes	
Point Cloud Files	.RCS, .RCP		No	Yes	
Raster Files	.ADF,.ASC, .BT,.DDF,.DEM,.DT0,.DT1,.DT2,.GRD,.HGT,.DOQ,.ECW,.IMG, .JP2,.JPG,.JPEG,.PNG, .SID,.TIF, .TIFF,.WMS,.XML,.VRT, .ZIP,.GZ		No	Yes	Note: some Raster files may require the following world file extensions: .IGW,.JDW, .SDW, .TFW
Simple Data Format (SDF) Files	.SDF		No	Yes	
Shape Definition (SHP) Files	.SHP		No	Yes	Note: SHP files may require the following supporting files:.DBF, .SHX, .PRJ
SketchUp Files	.SKP	up to SketchUp 2014	Yes	Yes	
SQLite Files	.SDX,.SQLITE,.DB		No	Yes	

Tabla 1. Formatos digitales compatibles en herramientas BIM. Fuente: Autodesk Inc. 2016

(Autodek Inc., 2016)

3.1.1 Inicio en Autodesk Infraworks 360

Infraworks 360 es un software comercial que requiere autenticación de licencia mediante correo electrónico y contraseña, por lo tanto cuando iniciemos el utilitario se **deberán** colocar los datos requeridos que autentifican la legalidad de la licencia.

El primer proceso en una herramienta BIM es la configuración inicial del espacio de trabajo en donde se integrará la información disponible.

La configuración inicial de la herramienta consiste en colocar los parámetros técnicos necesarios para la compatibilidad y consistencia de datos a importar. Todo utilitario BIM mantiene un sistema de unidades y un sistema de referencia, que para proyectos de infraestructura vial debe ser una georreferencia con

respecto a un sistema de coordenadas, además que la escala del prototipo digital o maqueta BIM es en relación 1:1 con el diseño es decir las dimensiones del modelo virtual son las mismas a las reales planteadas para la construcción del proyecto.

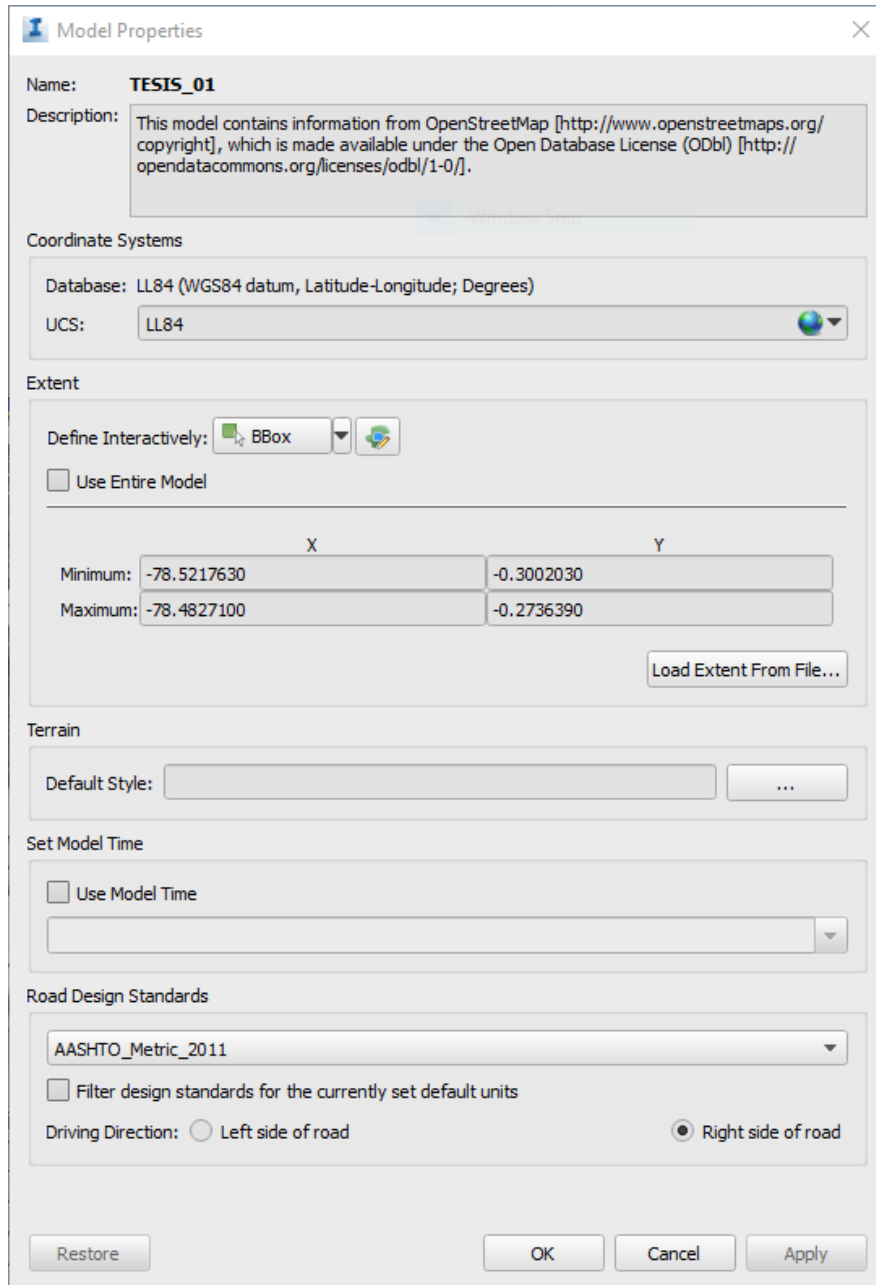


Ilustración 10. Caracterización inicial en diseño conceptual - Aplicación Autodesk InfraWorks. Fuente: Acuña Xavier

Una vez que se configuren las unidades, la georreferencia, la extensión del espacio de trabajo se procede a la importación de las fuentes de información compatibles. La información que puede ser integrada al espacio de trabajo para diseño conceptual o preliminar es:

- Terrenos o superficies digitales
- Imágenes Satelitales
- Geometría CAD 3D (Edificaciones, mobiliario urbano, etc.)
- Geometría GIS (Cartografía digital)
- Nubes de puntos
- Conexión con bases de datos GIS

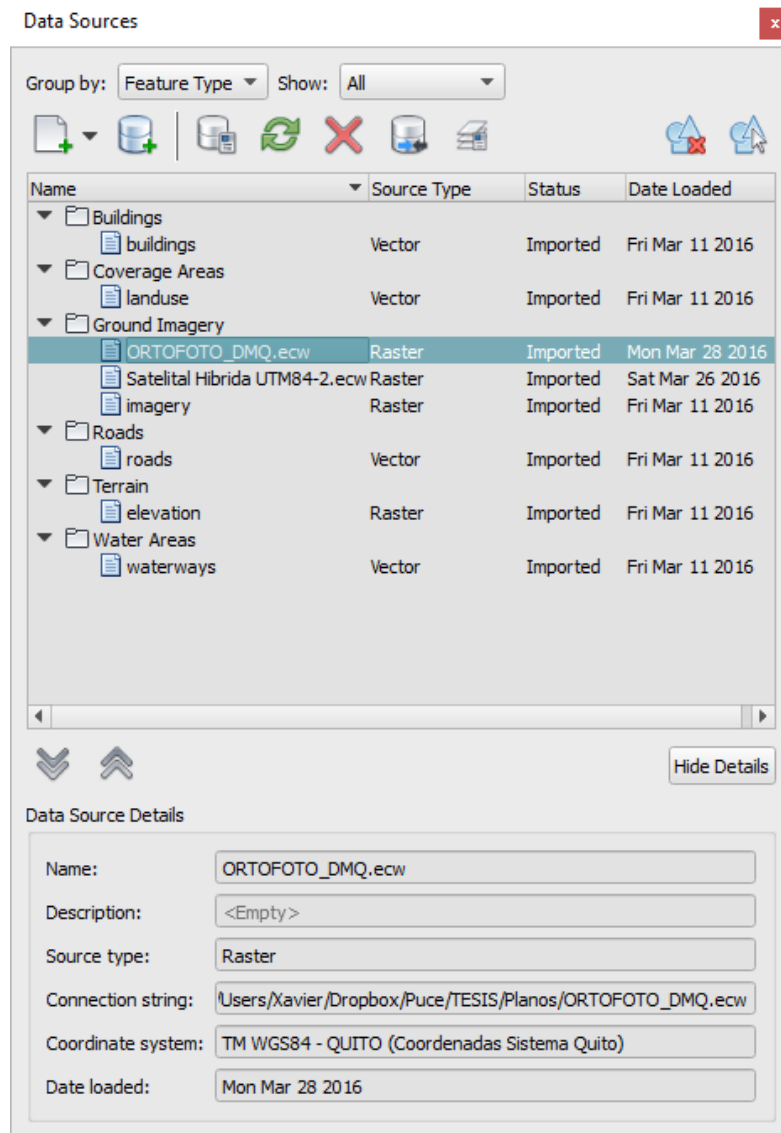


Ilustración 11. Recursos a integrarse en modelo BIM para diseño conceptual. Fuente: Acuña Xavier

3.1.2 Integración de información en Autodesk Infracore 360

La integración de información para diseño conceptual tiene dos etapas:

3.1.2.1 *Creación de Escenario Base:*

En esta etapa insertamos toda la información que permita conocer la condición inicial del proyecto. Este escenario base es llamado también escenario Master, ya que en base a la información procesada en esta etapa es consumida para la creación de nuevos escenarios o alternativas.

Es importante que la información usada represente las condiciones reales y mantenga fuentes de información fiables.

3.1.2.2 *Creación Escenarios o Alternativas:*

Una vez representadas las condiciones iniciales del proyecto en el escenario Base, podemos crear una alternativa. Esta acción agrupa los nuevos recursos importados o creados en la herramienta dentro de un grupo separado que permite modificar el diseño conceptual propuesto sin alterar las condiciones del escenario base. Así mismo permite gestionar y administrar las alternativas creadas.

3.1.3 Creación de geometría para propuesta

Una herramienta BIM de diseño conceptual debe permitir al profesional plantear geometrías de manera libre, sin embargo podría introducirse normativa que limite los componentes a modelarse de manera que la alternativa a plantear requiere el menor ajuste necesario en el diseño a detalle y que la geometría propuesta no este alejada de la normas que regulan los diseños.

Para el caso de geometría vial, la herramienta Infracore 360 permite al profesional “bosquejar” trayectorias tanto horizontales como verticales de manera paramétrica y con una visualización a tiempo real sobre los resultados de la alternativa que sobre la cual se esté diseñando.

La creación de las alternativas consiste en la libre navegación en un entorno tridimensional, enriquecido con información contextual al proyecto, en el cual con el manejo del ratón u otro dispositivo periférico señalamos los puntos por donde planteamos la trayectoria de la vialidad y sobre la línea de recorrido se apicara una sección de vía. Esta sección de vía puede ser modificada, añadiendo o suprimiendo elementos como carriles, parterres, carriles para bicicletas, veredas, espacios de vegetación y hasta elementos ornamentales.



Ilustración 12. Alternativa de proyecto en nivel conceptual bajo metodología BIM. Fuente: Acuña Xavier

3.1.4 Análisis de Mejor alternativa

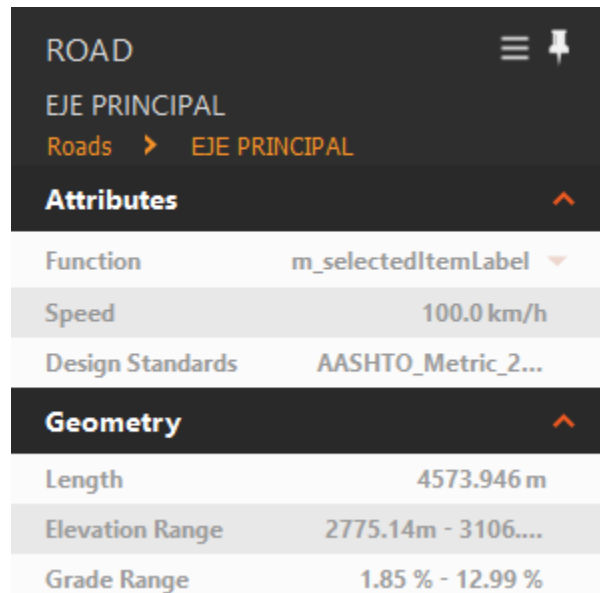
Las alternativas planteadas deben ser evaluadas de manera que sean sometidas a análisis técnicos, sociales y económicos. Este análisis tiene principales restricciones los recursos económicos y el tiempo para el desarrollo y ejecución del proyecto.

El análisis técnico debe considerar la factibilidad técnica de la vialidad planteada, es decir considerar la dificultad de ejecución en su construcción y capacidad técnica existente en el medio que permita realizar los elementos que componen ese diseño. Adicionalmente este análisis debe considerar de manera prioritaria que el proyecto brinde seguridad tanto para su construcción como para su operación y uso.

El aspecto social es un factor importante dentro de la elección de la alternativa del proyecto de infraestructura vial; la trayectoria de la vía tiene directa influencia sobre los sitios a comunicar por ello es importante que se analice los impactos positivos y negativos que este proyecto pudiere causar. Para este fin es necesario comprender la realidad social de los sitios por los cuales atravesara la vialidad.

Para esa etapa de pre diseño también se toma en cuenta un análisis general se las rubros y cantidades de obra y así poder estimar los costos de dicho proyecto. La herramienta BIM para diseño conceptual debe

permitir el aprovechamiento de los datos de materiales aplicados al diseño preliminar con el objetivo de conocer el presupuesto estimado que se requiere para dicho proyecto.



The image shows a software interface for road design. At the top, it displays 'ROAD' with a menu icon and a pushpin icon. Below that, 'EJE PRINCIPAL' is shown, with a breadcrumb trail 'Roads > EJE PRINCIPAL'. A section titled 'Attributes' is expanded, showing a table with the following data:

Function	m_selectedItemLabel
Speed	100.0 km/h
Design Standards	AASHTO_Metric_2...

Below the 'Attributes' section, another section titled 'Geometry' is expanded, showing a table with the following data:

Length	4573.946 m
Elevation Range	2775.14m - 3106...
Grade Range	1.85 % - 12.99 %

Ilustración 13. Diseño conceptual restringido por normativa vial. Fuente: Acuña Xavier

En la ilustración 11 se muestran datos de longitud, rangos de pendiente y rango de elevación de la alternativa propuesta en la etapa de diseño conceptual, partiendo de esta información y relacionando con costos referenciales de obras similares se puede estimar de manera general los costos de la alternativa.

Capítulo 4. – Diseño de Detalle en modelos BIM para proyectos de Infraestructura Vial.

La aplicación de la metodología BIM concentra en el diseño de detalle el punto más importante dentro de todo su ciclo, sin desconocer la importancia de las demás etapas que conforman esta metodología, el diseño de detalle es el punto del proyecto donde se definen los parámetros técnicos propios de la vialidad producto del análisis del diseño conceptual, y a partir de este se replantean las demás etapas del proyecto.

En la aplicación de AutoCAD Civil 3D en la etapa de diseño de detalle intervienen los diferentes actores:

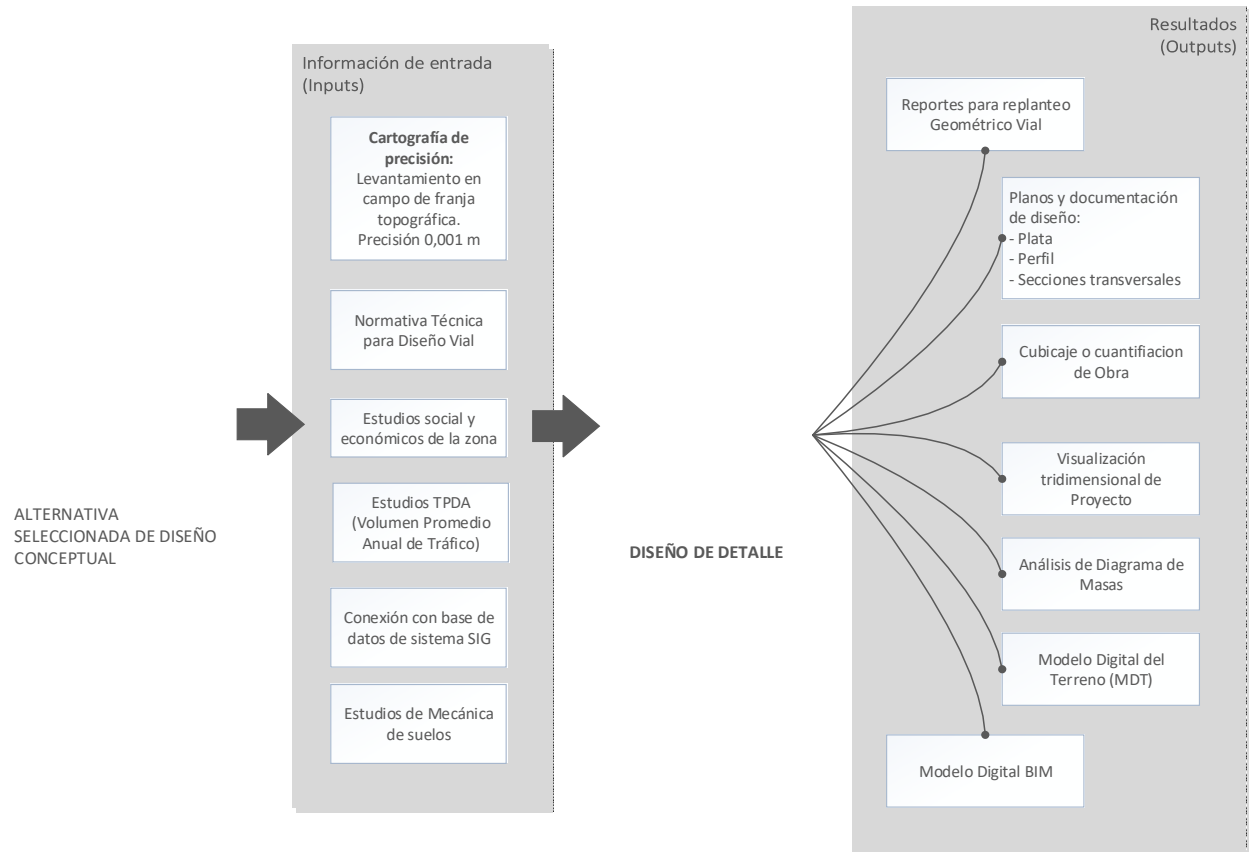


Ilustración 14. Flujo de trabajo para diseño conceptual aplicando metodología BIM. Fuente: Acuña Xavier

4.1 Inicio en AutoCAD Civil 3D

AutoCAD Civil 3D es una herramienta CAD compatible con los flujos de trabajo BIM cuyo potencial permite integrar información a partir de diseños preliminares para su detallamiento técnico y extracción de documentación sustentada en cálculos y procesamiento gráfico. Esta herramienta permite al profesional acelerar los trabajos de diseño y mediante el “corrido” de análisis muestra al diseñador elementos de juicio para ajustar su diseño. (Edwin Fernando Blandín Arévalo, 2014) (Suchocki, 2014) (Government, 2015)

Esta etapa de preparación de plataforma y de las condiciones iniciales del proyecto para el diseño de detalle se describe en el flujo planteado en la figura 13.

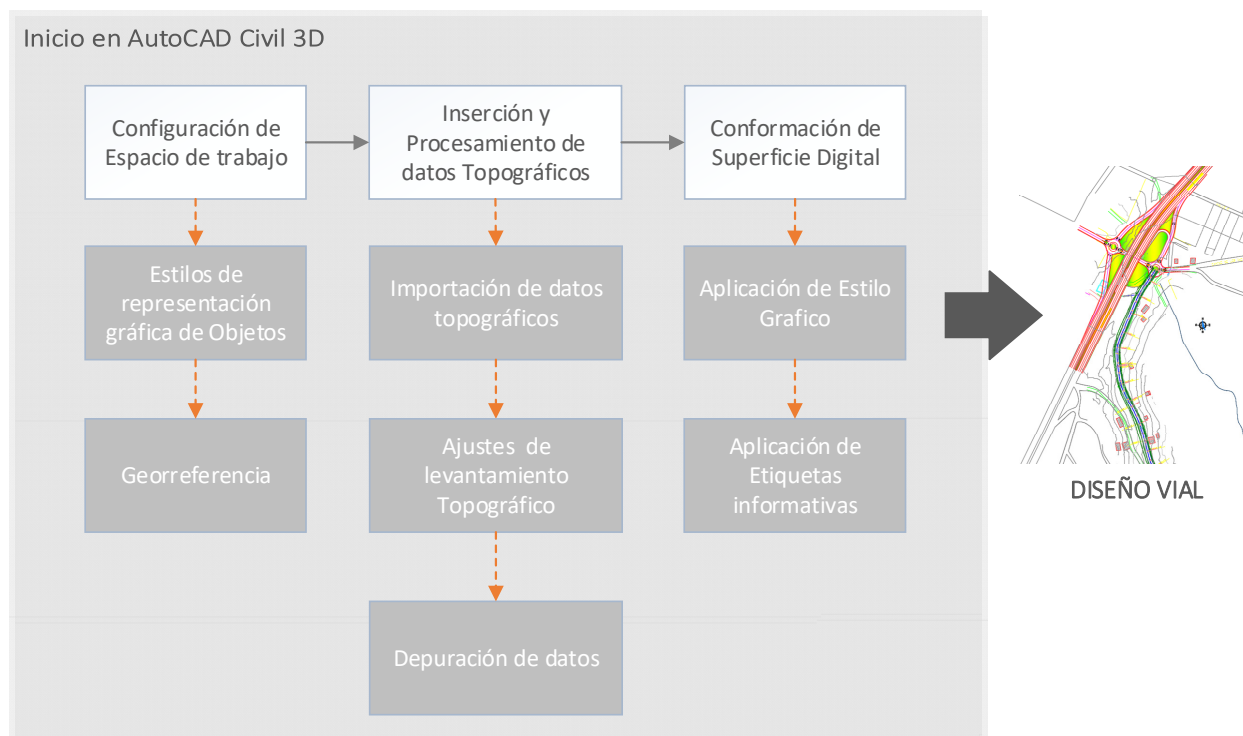


Ilustración 15. Conceptos preliminares de herramienta BIM - AutoCAD Civil 3D. Fuente: Acuña Xavier

4.1.1 Configuración de espacio de trabajo

Para transmitir el diseño conceptual al utilitario BIM de diseño de detalle es indispensable la configuración previa de las condiciones de compatibilidad de manera que se pueda tener el mayor aprovechamiento de información de manera consistente.

Previo a empezar a usar una herramienta BIM, es necesario configurarla de manera tal, que permita al profesional usarla de acuerdo a la necesidad específica o tipología de proyecto, es decir que en el caso de este trabajo de disertación deberemos configurar la herramienta para que pueda ser usada en la creación de geometría de infraestructura vial.

AutoCAD Civil 3D se inicia al igual que la mayoría de programas de computación, accedemos a través de su icono gráfico, con la diferencia que este presenta dos iconos iniciales, AutoCAD Civil 3D 2015 en

unidades métricas y unidades imperiales (Ilustración); o a través de menú de inicio siguiendo la ubicación: inicio > Todos los programas > Autodesk > AutoCAD Civil 3D 2015 > “Civil 3D 2015 Metric” o “Civil 3D 2015 Imperial”.

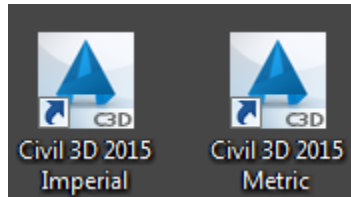


Ilustración 16. Accesos a software BIM - Autocad Civil 3D 2015. Fuente: Acuña Xavier

Para efectos de este trabajo de disertación y en consistencia a nuestro medio local, haremos uso de la versión del programa en unidades Métricas, que no es más que una configuración estandarizada para que todas las unidades y sus derivaciones sean métricas, así como los comandos y datos que sean ingresados serán en unidades métricas.

4.1.1.1 Plantillas

La primera configuración es la elección de una “plantilla” de trabajo, la cual es el archivo base cuya extensión digital es .dwt y esta contiene configuraciones, estilos de representación gráfica de objetos, estilos de representación de etiquetas inteligentes o rótulos dinámicos, estilo gráfico de tablas y la configuración de rutinas para ejecución de comandos personalizadas.

Lo ideal es desarrollar una plantilla que contenga todas las configuraciones de acuerdo con lo que se quisiera representar gráficamente nuestros objetos en el modelo digital, ejemplos:

- Crear una plantilla en la que podamos representar las curvas de nivel de una topografía cada 5m las curvas menores y cada 25 las mayores.

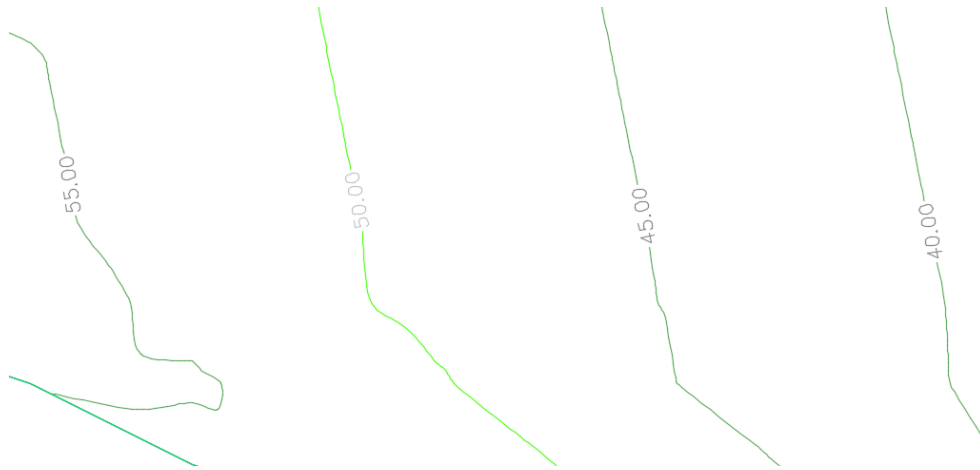


Ilustración 17. Plantilla con estilo grafico para representación de curvas de nivel cada 5m. Fuente: Acuña Xavier

- Crear una plantilla donde una etiqueta dinámica se pueda aplicar a la geometría horizontal (alineamientos) y muestre características de la curva a manera de texto: Numero de curva, Longitud, Radio, Angulo de deflexión, lado de la curva, etc.



Ilustración 18. Plantilla con descripción geométrica en etiquetas. Fuente: Acuña Xavier

- Crear una plantilla cuya rutina de creación documento siempre use el sistema de georreferencia UTM, elipsoide WGS 84, zona 17 Sur.

Las plantillas son parte del concepto BIM, es decir desarrollar una archivo base que pueda ser reutilizado en futuros proyectos de manera tal que el usuario excluya de su flujo de trabajo la edición básica de las representaciones graficas (líneas, colores, capas, etc.) y maximice el aprovechamiento de las herramientas de diseño, mas no de dibujo.

4.1.1.1.1 Estilos de Objetos

Un estilo, es la representación visual de un objeto en el modelo digital. Es decir que tipo de línea, color, grosor y escala serán usados para representar un objeto.

Los estilos varían de acuerdo a la perspectiva donde se muestran, puede tener una configuración visual diferente cuando se visualice el objeto en planta, en elevación o perspectiva tridimensional o vista isométrica.

Ejemplo:

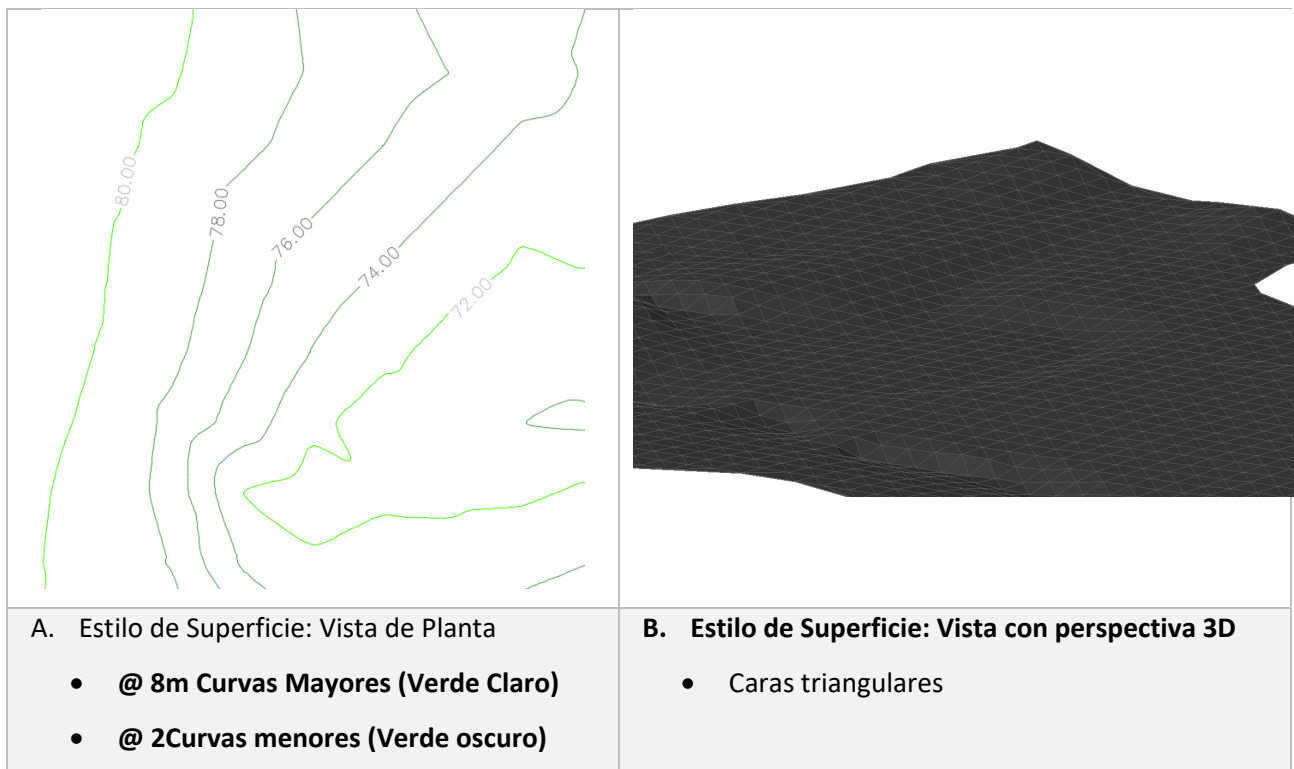


Ilustración 19. Estilo de representación de superficies. Fuente: Acuña Xavier

4.1.1.1.2 Estilos de Etiqueta

Corresponde en la representación gráfica de la información de un objeto, pueden ser datos numéricos, texto, o signos colocados como resultado de la información de a geometría a la cual etiqueta. Estas etiquetas son dinámicas, actualizan su contenido de manera automática si el elemento geométrico al cual está asociado cambia sus especificaciones.

Ejemplo:

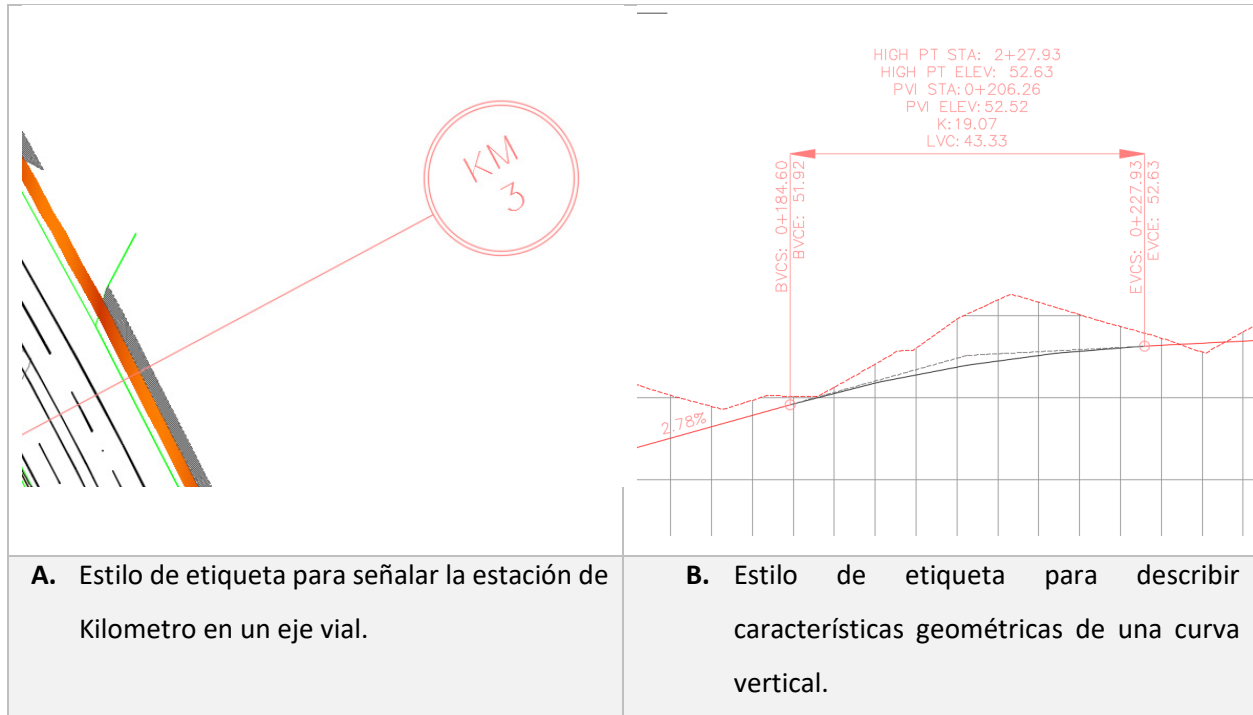


Ilustración 20. Estilo de representación de etiquetas dinámicas. Fuente: Acuña Xavier

4.1.1.2 Georreferenciación.

Todo proyecto de infraestructura al cual se aplique metodología BIM debe estar ubicado espacialmente en coordenadas geográficas o proyectadas, es indispensable conocer el sistema de georreferencia exigido para la región donde se implantará el proyecto para mantenerlo durante las etapas de diseño, levantamiento topográfico en campo y replanteo de proyecto de manera que exista consistencia a lo largo de las diferentes etapas del proyecto.

Cuando hablamos de proyectos multidisciplinarios, como lo es un proyecto de infraestructura vial, necesitamos tener la misma referencia espacial en para todos los profesionales involucrados para que, el

momento de integrar los modelos de diferentes disciplinas podemos identificar la interacción geométrica entre ellos y así detectar posibles interferencias o inconsistencias de manera oportuna.

AutoCAD Civil 3D, tiene una base de datos universal de los sistemas de coordenadas geográficas y proyectadas de mayor uso a nivel global, más existen sistemas locales como el SIRES-DMQ (Sistema de Referencia Espacial Quito), cuyas características son específicas para la región de uso, que deberán ser creados modificando o ajustando los parámetros de los sistemas de proyección cartográfica actuales. (Consejo Metropolitano de Quito, 2007)

El sistema de georreferencia a elegirse dependerá de la zona donde se implante el proyecto, la tecnología a aplicarse para el levantamiento de datos en campo y mayormente de la normativa local y las exigencias de las entidades de control del proyecto quienes exigirán el uso de un sistema universal o compatible para ubicar el proyecto en las bases de datos existentes.

Para aplicar una escala o sistema coordinado en AutoCAD Civil 3D se debe modificar las propiedades del documento: EDITDRAWINGSETTINGS > Units and Zone > Zone

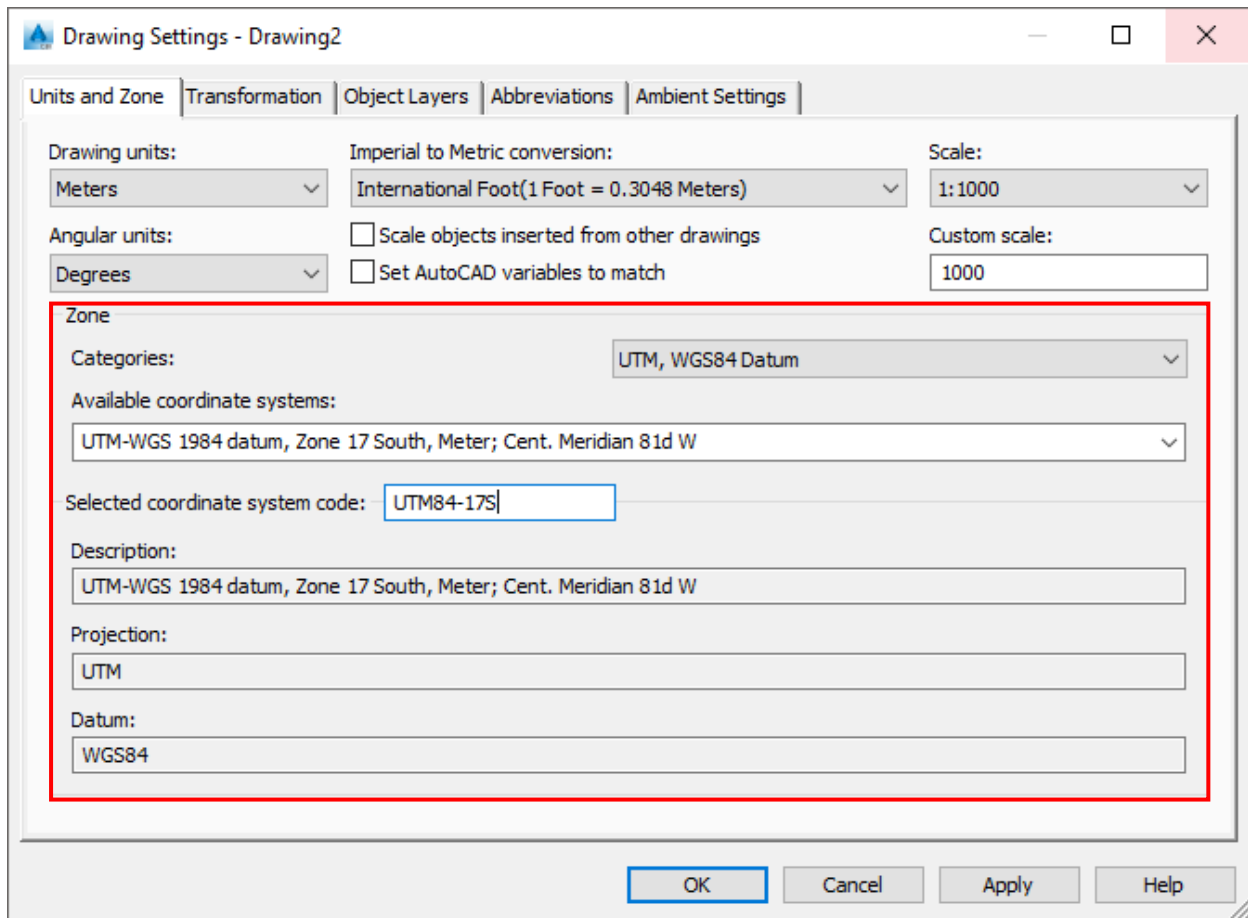


Ilustración 21 Configuración para georreferenciación y unidades. Fuente: Acuña Xavier

4.2 Inserción y procesamiento de Topografía

En cualquier diseño de ingeniería se tiene un punto de partida basado en información existente como la ubicación del proyecto y las características geométricas del espacio donde este tendrá lugar. La topografía, en proyectos de infraestructura vial es el punto de partida para entender los puntos o lugares a conectar con el proyecto vial y es el análisis de esta información la que permite determinar de manera detallada el diseño propuesto que en términos técnicos y económicos represente un mayor beneficio.

Existen diversas maneras de obtener datos topográficos del área a ser estudiada, la más común actualmente es mediante la triangulación con uso de estaciones totales enlazadas a hitos geográficos, más la ayuda de tecnología RTK (Real Time Kinematic) basada en navegación satelital, permitiendo obtener miles de puntos georreferenciados con distintos campos informativos asociados tales como

coordenadas, elevación, descripción, nombre y codificación en pocas horas. Estos puntos son llamados puntos COGO (Coordinate Geometry).

Sin embargo para proyectos extensos es posible usar tecnología LDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging), cuyo principio se basa en calcular la distancia desde un emisor laser a un objeto mediante el disparo de un haz de láser y el reflejo de esta señal, este procedimiento se lo conoce como un escaneo LIDAR y permite obtener billones de puntos por minuto, normalmente el emisor laser es aerotransportado por un UAV (Unmanned aerial vehicle) o vehículo aéreo no tripulado.

También existen recursos web, que proporcionan información topográfica obtenida de manera satelital, esta información es comúnmente usada para efectos de estudios previos al diseño de una vialidad ya que la precisión entregada por un satélite podría no ser la adecuada para detectar variaciones de terreno en espacios menores cinco metros.

4.2.1 Características Generales de Levantamiento Topográfico

Para proyectos de infraestructura vial, la metodología BIM necesita precisar con mayor detalle las condiciones iniciales de proyecto, es decir que es necesario e indispensable que se realice un levantamiento topográfico de la franja de afectación de la vialidad propuesta, es recomendable que esta franja se extienda más de 50 metros desde los bordes externos de la última estructura a sus laterales.



Ilustración 22. Franja de trabajo recomendada para proyectos viales. Fuente: Acuña Xavier

Dicho levantamiento topográfico debe representar la mejor aproximación posible al terreno y sus accidentes orográficos. Actualmente existen varias metodologías e instrumentos que permiten obtener la información de campo muy rápidamente y con alta precisión. Es aconsejable hacer uso de herramientas de terrestres puesto que los levantamientos con uso de instrumentos laser aéreos no tienen la capacidad de segregar vegetación y puntos ocultos a su ángulo de disparo.

La posición recomendable para un levantamiento cuya finalidad sean proyectos de infraestructura vial es de 0.001 metros.

4.2.2 Importación de datos topográficos

Son diversas las maneras de obtener datos topográficos, y sin importar el medio de obtención de datos es importante que el sistema coordinado en el cual se haya levantado la información sea enlazado al sistema oficial de georreferenciación que rija en el país, en el Ecuador la entidad reguladora de la cartografía y geografía es el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el sistema de proyección actual es el UTM WGS 84 y dependerá la zona del proyecto para la elección del cuadrante.

Después de realizar el levantamiento topográfico, sin importar el medio en el que fueron obtenidos los datos es necesario llevarlos a un lenguaje que puedan ser leídos e interpretados con la precisión que fueron levantados. Normalmente el producto obtenido del levantamiento son archivos digitales que contienen información alfanumérica de la posición de puntos que describen una superficie o un terreno.

Estos archivos deben ser interpretados por la herramienta BIM y representados gráficamente además de mantener la información que permita realizar cálculos u extraer datos de los mismos.

AutoCAD Civil 3D permite leer la mayoría de formatos digitales de información topográfica, pero para que exista consistencia entre el contenido levantado en campo y la representación a realizar por el programa es necesario indicar o asignar a que corresponde cada campo a ser leído por la herramienta.

Importar los datos topográficos es un proceso automatizado pero que debe ser configurado tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Formato o extensión digital del archivo
- Formato del contenido y tipo de separador de caracteres
- Orden de los datos del archivo

Para importar un archivo de puntos ejecutamos el comando: IMPORTPOINTS

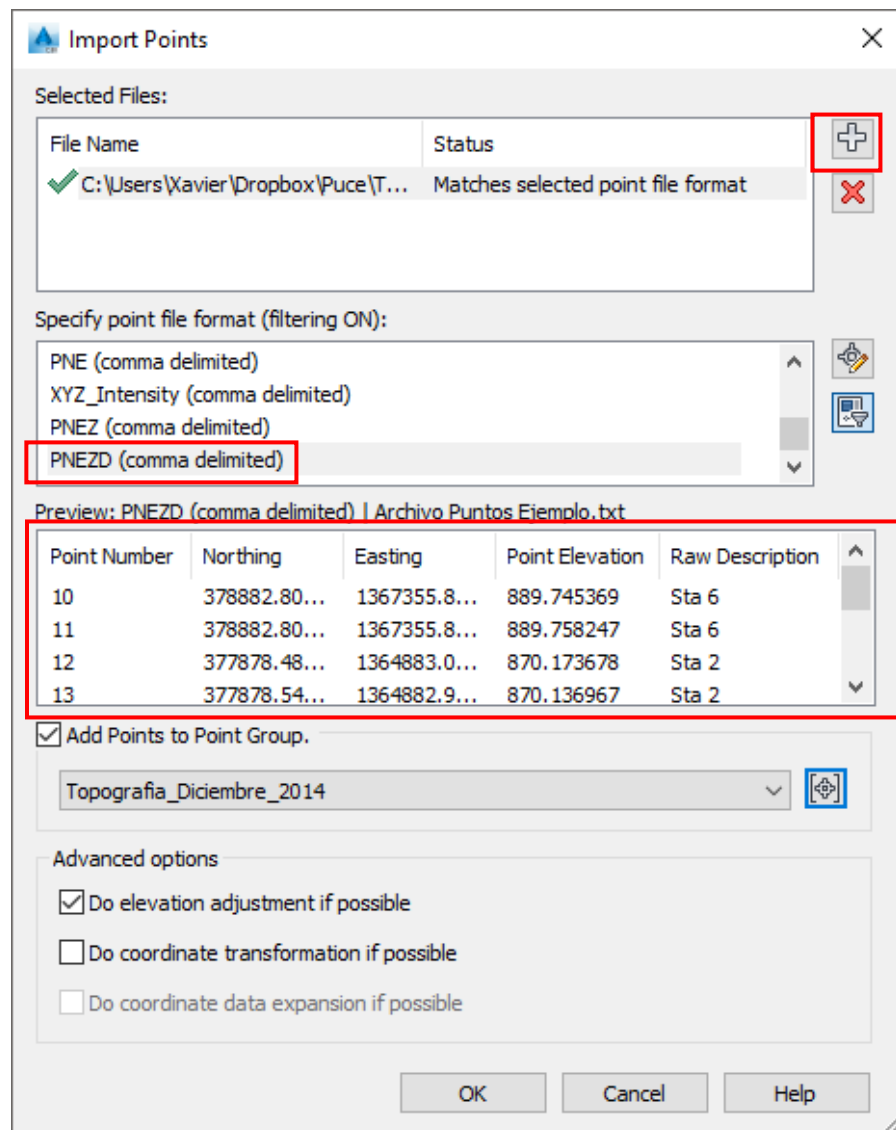


Ilustración 23. Importación de datos de campo. Fuente: Acuña Xavier

4.2.3 Procesamiento de Topografía

4.2.3.1 Ajuste de Topografía

4.2.3.2 Depuración y filtrado de Información Levantada en campo

Integrados los datos de topografía, es importante analizar los datos importados y realizar una depuración o filtrado de los puntos COGO (Coordinate Geometry – Puntos de Geometría de Coordenadas) que no forman parte de la superficie. Muchos de los puntos importados pudieran ser informativos de edificaciones existentes, linderos, vegetación, u otros elementos que no conformaran el modelo digital del terreno.

La depuración de puntos se puede hacer mediante filtros de exclusión por codificación, número de punto o selección gráfica.

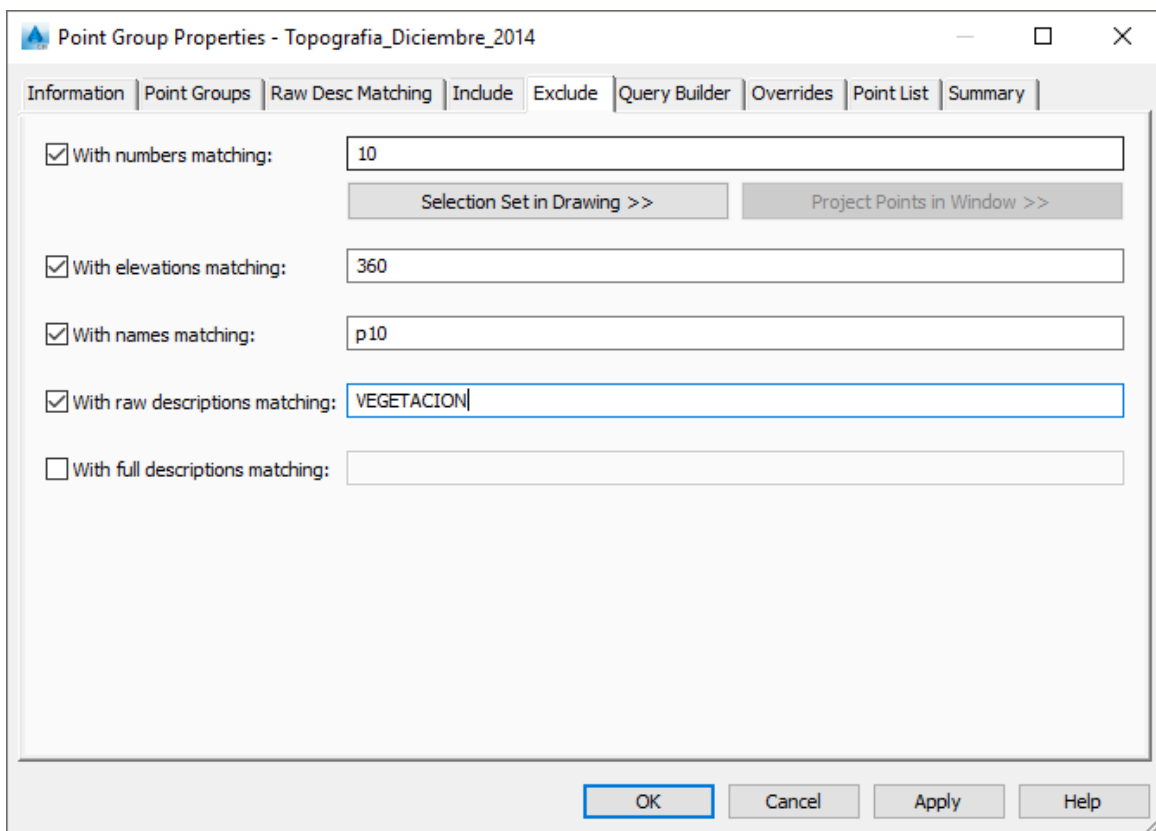


Ilustración 24. Segregación de información de campo. Fuente: Acuña Xavier

4.3 Conformación de Superficie

4.3.1 Superficies TIN (Triangulated Irregular Network)

Es una red irregular de triángulos conformados por aristas que representan la distancia más corta entre puntos. TIN es usada para representar superficies de manera precisa y se caracteriza por ser producto de una interpolación polinómica de la coordenada Z de los puntos que la definen.

Además los elementos modelados en base a una TIN son sujeto a análisis de elevación, pendiente, cálculos volumétricos y obtención de perfiles transversales.

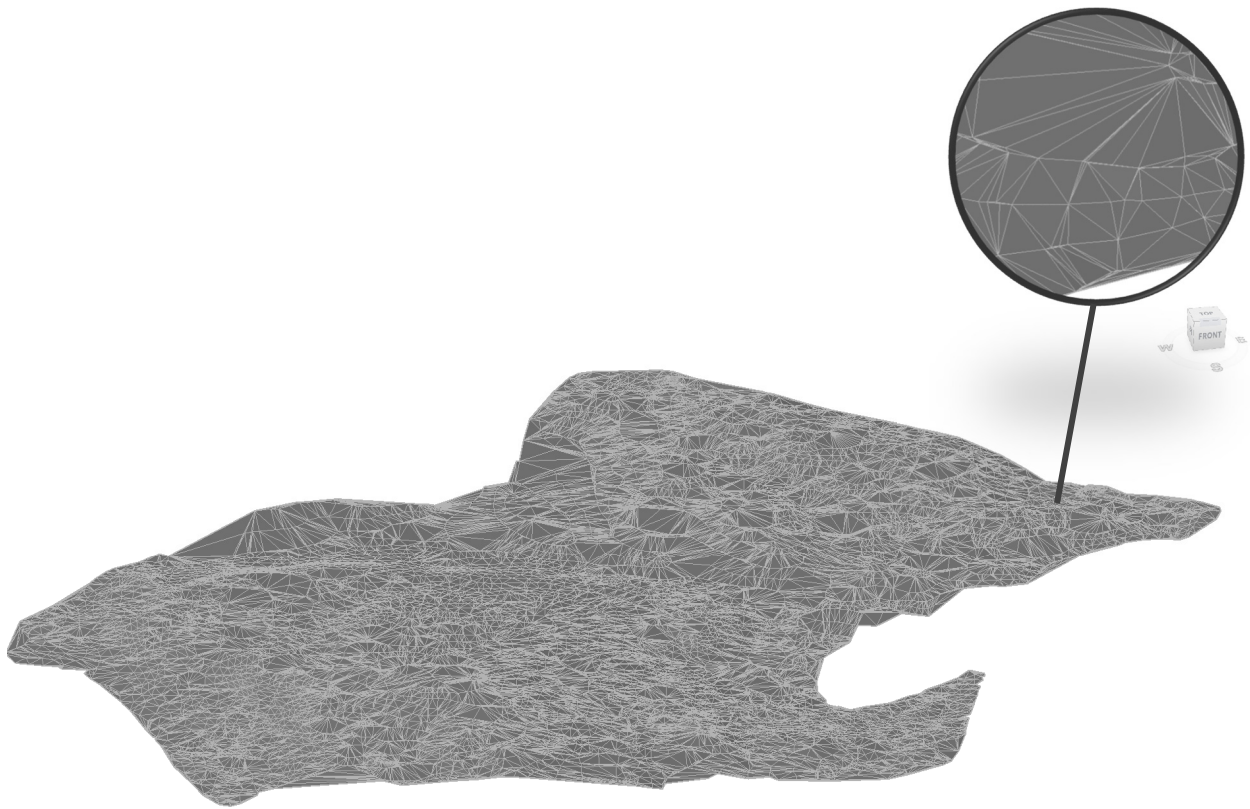


Ilustración 25. Triangulación o malla TIN. Fuente: Acuña Xavier

4.3.2 Conformación de Superficie o Modelo digital de Terreno (MDT)

La superficie tipo TIN a conformar es producto de los puntos levantados en campo, sin embargo, existen elementos que pueden ser añadidos a la definición geométrica de la una superficie. AutoCAD Civil 3D permite el uso de los siguientes elementos para el procesamiento de topografía:

- Líneas de borde
- Curvas de Nivel
- Líneas de corte de geometría
- Puntos
- Grupos de Puntos
- Archivos tipo DEM (Digital Elevation Model)

Los datos obtenidos en campo y luego filtrados deben ser importados dentro de la misma entidad para ser procesados por la herramienta BIM para que se realicen las triangulaciones e interpolaciones que produzcan la representación digital del terreno.

Adicionalmente se puede ajustar parámetros que permiten condicionar la conformación de la superficie y restringir la triangulación producida por la interpolación de los puntos COGO, tales como:

- Distancia máxima para triangulación entre puntos.
- Elevación máxima o mínima de superficie.
- Angulo máximo entre líneas de triangulación.
- Interpolaciones con métodos de Vecino Natural para suavizado de superficie.
- Interpolaciones con métodos de Kriging para suavizado de superficie.

Una superficie TIN o MDT permitirá obtener de manera instantánea datos estadísticos sobre su geometría.

Ejemplo:

Statistics	Value
General	
Revision number	0
Number of points	7444
Minimum X coordinate	3552.280m
Minimum Y coordinate	3521.820m
Maximum X coordinate	7062.280m
Maximum Y coordinate	4811.820m
Minimum elevation	29.459m
Maximum elevation	92.801m
Mean elevation	58.489m
Extended	
2D surface area	1626975.00sq.m
3D surface area	1633632.83sq.m
Minimum grade/slope	0.00%
Maximum grade/slope	859357.32%
Mean grade/slope	468.17%
TIN	
Number of triangles	14543
Maximum triangle area	337.50sq.m
Minimum triangle area	0.00sq.m
Minimum triangle length	0.001m
Maximum triangle length	47.434m

Ilustración 26. Propiedades de superficie tipi TIN en herramienta BIM. Fuente: Acuña Xavier

4.3.3 Análisis de Geometría TIN

El diseño de vías necesita del análisis y discernimiento de un profesional sobre las condiciones e información disponible del proyecto, por ello la herramienta que entienda y aplique metodología BIM debe tener la capacidad de procesar análisis de los modelos y representarlos de manera que sus resultados sean elementos de juicio para un diseño de ingeniería.

Al ser la superficie un modelo digital que guarda información numérica, es posible realizar análisis sobre su geometría.

Los análisis que AutoCAD Civil 3D permiten obtener de una superficie TIN son:

- Dirección: Análisis gráfico que dibuja los triángulos de superficie de manera diferente de acuerdo a la dirección que se enfrentan.
- Elevación: Análisis gráfico que crea diferentes bandas de acuerdo a su elevación.

- Pendientes: Análisis gráfico que dibuja los triángulos de superficie de manera diferente de acuerdo con el rango de pendiente de la cara triangular.
- Flechas de pendiente. Análisis gráfico que muestra la dirección de la pendiente. Coloca una flecha direccional de acuerdo a la pendiente en cada centroide del triángulo de la superficie. La flecha de color se basa en el color asignado a un rango de pendiente, similar al análisis de la pendiente.
- Curvas de nivel: Representa las curvas de nivel de forma diferente en función de su rango de elevación.
- Cuencas Hidrográficas: Análisis gráfico que dibuja las cuencas o áreas de captación de la superficie de manera diferente en función de su tipo.
- Gota de agua: Análisis gráfico que entrega el trazo del camino que llevaría agua a través de una superficie.

(Autodesk Inc., 2015)

4.3.3.1 Representación gráfica de superficies

Producto de la información contenida en el modelo de la superficie se puede aplicar distintos estilos gráficos que muestren las características de la superficie digital, tal como sus curvas de nivel, pendientes, etc.

Ejemplo:



Ilustración 27. Análisis de dirección de pendientes de superficie TIN. Fuente: Acuña Xavier

Los estilos gráficos se pueden modificar en color, escala, simbología, contenido alfanumérico y posición.

4.3.3.2 Etiquetamiento de superficies

Las etiquetas son la descripción o rotulación de un elemento. Las etiquetas tienen configuraciones específicas sobre el formato de presentarse y el contenido informativo a mostrar.

Ejemplo:

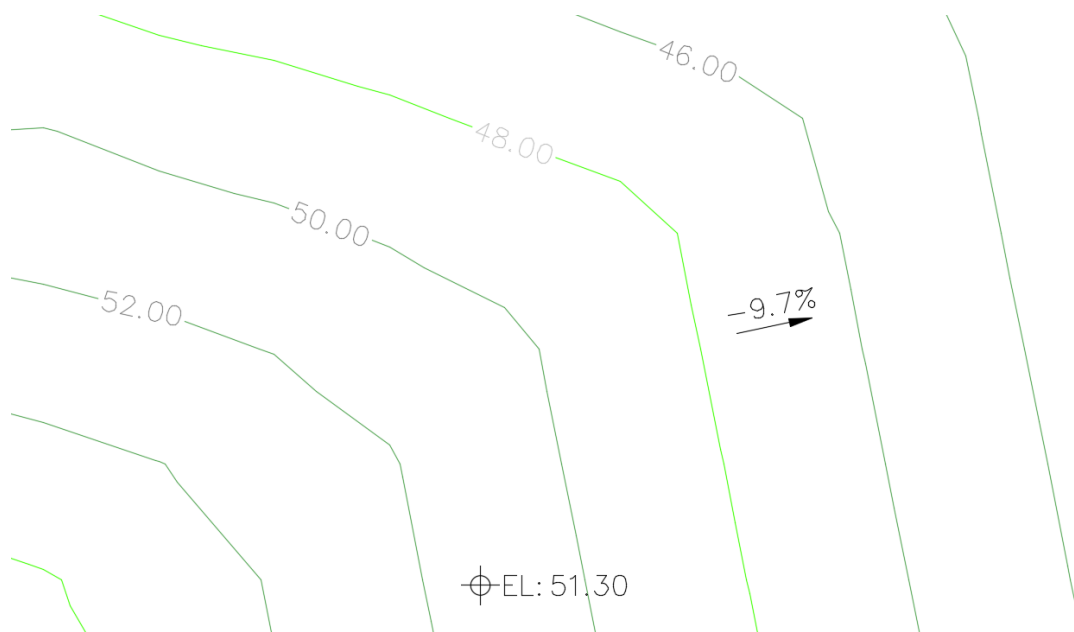


Ilustración 28. Aplicación de etiquetas dinámicas en superficie TIN. Fuente: Acuña Xavier

4.4 Diseño Vial – Planimetría y Rasante

La ingeniería de diseño consiste en la aplicación de criterios técnicos basados en parámetros de seguridad y funcionalidad con el fin de establecer la geometría de la vialidad que cumpla con el objetivo para el cual ha sido proyectada. El diseño geométrico está restringido por factores orográficos, sociales y económicos. La metodología BIM permite a los profesionales obtener información decisora de manera inmediata y confiable que permita ajustar la geometría para obtener el diseño que represente de mayor beneficio para usuarios, constructores, operadores, etc.

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP, previo al trazo de una trayectoria vial deberán ser analizados varios elementos:

- 1) El terreno: Características topográficas, físicas, geológicas y de uso del suelo.
- 2) El tránsito: Volumen de tránsito con proyecciones de crecimiento e indicadores.
- 3) La velocidad: Limitaciones legales y de control, demografía, ocupación de zonas y tiempo de traslado.
- 4) Capacidad: Condiciones de flujo, velocidades de circulación y volumen de servicio.
- 5) Seguridad: Aplicación de normativa, señalética, elementos de seguridad vial y control.
- 6) Vías Integrales: Conectividad, consideraciones ambientales e incorporación a sistemas viales existentes.

Estos factores combinados correctamente, e incorporados jerárquicamente en orden del cumplimiento de normativa vial como la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP, supondrán un proyecto vial exitoso cuyas características geométricas representen una solución segura y económica.

Tomando en cuenta las consideraciones y recomendaciones de la Norma Ecuatoriana NEVI-12-MTOP para diseño vial, e implementando estos criterios en la etapa de diseño a detalle de la metodología BIM provocará procesos consistentes, a su vez el uso de un utilitario compatible con la metodología ayudarán en asegurar y acelerar la elaboración de la geometría vial insertando las restricciones o campos informativos específicos que se apliquen al proyecto vial tales como: Velocidad de diseño, radios de curvatura permitidos, factores geométricos para rasante, etc.

4.4.1 Flujo BIM para diseño Vial - Planimetría

El flujo de trabajo BIM propuesto para diseño del trazado geométrico de una vialidad se ajusta a la normativa y condiciones locales debido a las exigencias de seguridad y funcionalidad vigentes en la ubicación donde la vía tendrá lugar.

Para propósitos de este trabajo de titulación se establecerá un flujo BIM alineado a la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP. La ilustración 27 muestra el flujo propuesto al medio ecuatoriano.

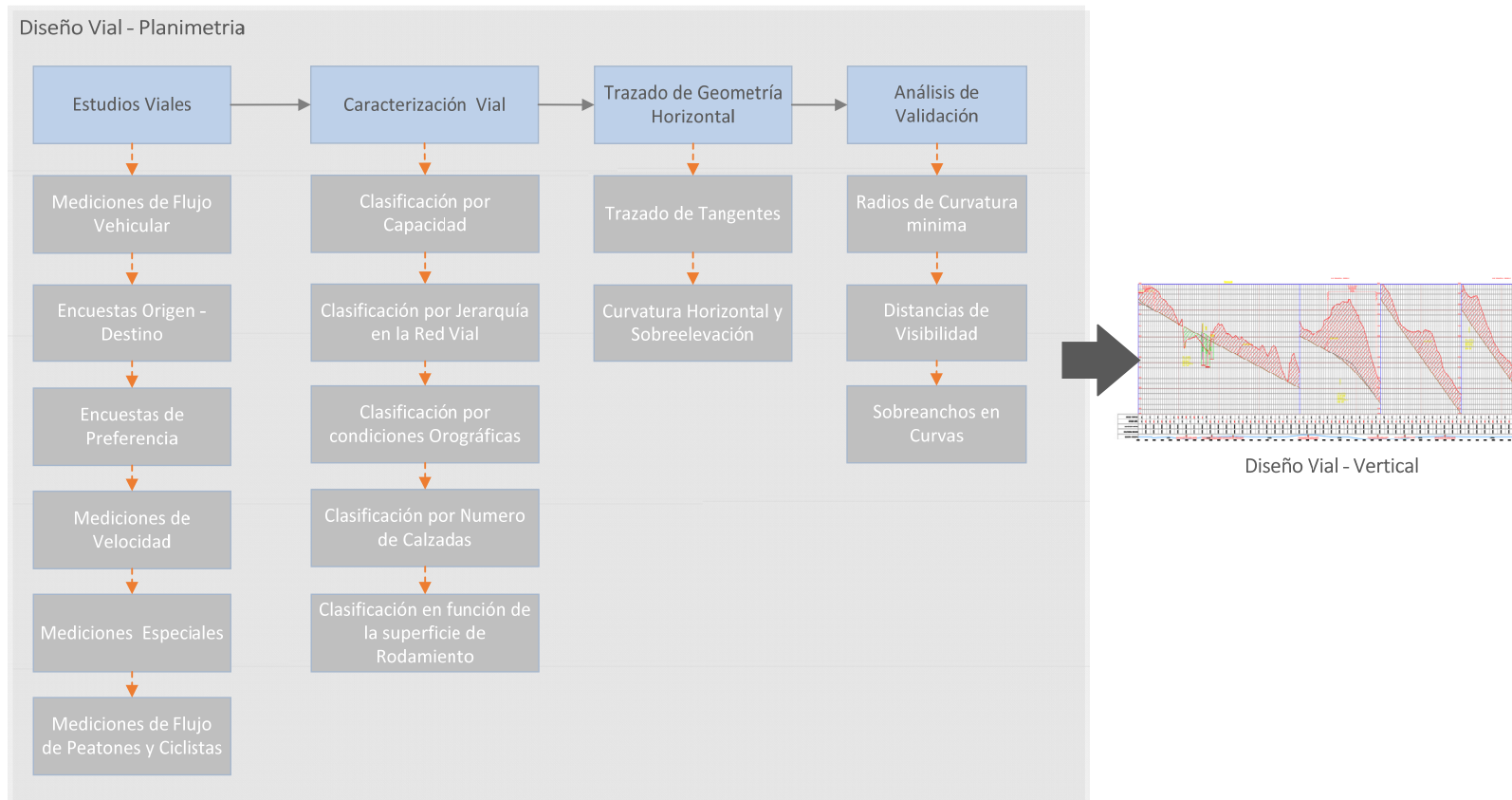


Ilustración 29. Flujograma para implementación de metodología BIM en diseño de Detalle – Planimetría. Fuente: Acuña Xavier

4.4.1.1 Estudios Viales

Los estudios viales necesarios para la caracterización de la vía a diseñarse según la NEVI-12 son los siguientes:

4.4.1.1.1 Mediciones de Flujo Vehicular

Son métricas que entregan información que ayudaran al dimensionamiento de la infraestructura vial a desarrollarse. Los métodos permitidos según la NEVI-12 para la medición vehicular son:

- Trafico Promedio diario anual (TPDA)
- Contabilización Manual
- Contabilización Automática

Todas estas metodologías de medición tienen consideraciones especiales, estas especificaciones deberán ser revisadas de en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP, Volumen 2ª, paginas 81-83.

4.4.1.1.2 Encuestas Origen – Destino

Consiste en obtener datos informativos sobre características que evalúen la estructura de los viajes y a partir de esto poder determinar patrones de comportamiento y posibles afectaciones que la vialidad pueda causar a los viajes. Entre los métodos planteados por la NEVI-12 pueden ser aplicados:

- Encuesta directa
- Método del Ticket
- Método de Placas
- Encuesta en hogares o centros de actividad
- Respuestas Postales
- Encuesta a pasajeros

Se recomienda el método de encuesta directa. Las especificaciones y consideraciones para la obtención de datos mediante las metodologías enlistadas deberán ser revisadas de en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP, Volumen 2ª, paginas 85-89.

4.4.1.1.3 Encuestas de preferencia Declarada

Son encuestas levantadas mediante juicios supuestos que permite estudiar comportamientos influenciados por la situación planteada. Las metodologías de levantamiento de información planteadas en la NEVI-12 son:

- Encuesta directa
- Respuestas postales

- Método mixto

Las especificaciones y consideraciones para la obtención de datos mediante las metodologías enlistadas deberán ser revisadas de en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP, Volumen 2ª, paginas 91-93.

4.4.1.1.4 *Mediciones de Velocidades*

Consiste en la medición de la velocidad media de la corriente (flujo de vehículos) en una distribución espacial para la obtención de parámetros como: la velocidad de viaje, velocidad en movimiento, velocidad de recorrido, velocidad deseada, velocidad de diseño y velocidad instantánea. Cuyos valores son esenciales para la caracterización del tipo de vía a diseñarse. El levantamiento de la velocidad media puede ser obtenido de las siguientes maneras según la NEVI-12:

- Método de placas
- Métodos automáticos
- Método de la persecución de vehículo
- Método del vehículo flotante
- Método del vehículo flotante modificado

El tamaño muestral, especificaciones y consideraciones para la obtención de datos mediante las metodologías enlistadas deberán ser revisadas de en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP, Volumen 2ª, paginas 95-97.

4.4.1.1.5 *Mediciones Especiales*

De acuerdo a la NEVI – 12, los estudios especiales son aquellos que entregan como resultado información valiosa de un tramo específico de la vía para la caracterización de un modelo o prototipo de vialidad, que ayude a la simulación de posibles escenarios en el comportamiento de la vía. Se consideran mediciones o estudios especiales a:

- % Rebasamiento
- Tasas de ocupación de los vehículos
- Longitud de cola
- Porcentaje de vehículos restringidos
- Registro o filmaciones

El tamaño muestral, especificaciones y consideraciones para la obtención de datos mediante las metodologías enlistadas deberán ser revisadas de en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP, Volumen 2ª, paginas 121 -123.

4.4.1.1.6 Mediciones de Flujo de Peatones y Ciclistas

Se debe considerar los fenómenos de movilidad urbana tales como la circulación de peatones y ciclistas siendo datos relevantes para la caracterización de la vía el flujo y la velocidad media de éstos.

4.4.1.2 Diseño Geométrico Horizontal

El diseño geométrico de un trazado vial debe cumplir con la normativa vigente para la región donde la vialidad tenga lugar. Para el Ecuador se establece como máximo organismo regulador para obras de infraestructura vial a el Ministerio de Obras Públicas y Transporte, entidad gubernamental que exige el uso de la Norma para Estudios y Diseños NEVI – 12 MTOP, Volumen 2 Libro A, Sección 2A.204 Diseño Geométrico como documento referente de cumplimiento obligatorio para obras viales. Esta normativa así mismo toma de referencia a la norma española “Instrucciones de Carreteras – Norma 3.1” y a la normativa estadounidense A.A.S.H.T.O (American Association of State Highway and Transportation Officials) para caminos rurales, urbanos y viaductos.

Una vez obtenida la información de los estudios viales mencionados en el numeral 4.4.2 es indispensable la determinación o cálculo de los componentes básicos para el diseño geométrico horizontal de una vialidad, que según la norma NEVI son:

- Distancia de visibilidad de Parada
- Distancia de visibilidad de adelantamiento

Con la información descrita anteriormente es posible realizar el trazado horizontal o alineamiento de una vialidad, siguiendo la normativa para diseño vial.

4.4.1.2.1 Componentes de alineamiento horizontal

Un alineamiento horizontal puede estar definido por varios elementos geométricos, cuya unión deben conformar la trayectoria de la vialidad de manera armónica y segura, estos son los tipos de segmentos geométricos:

- Rectas tangentes
- Curvas
 - Curvas circulares simples
 - Curvas circulares compuestas
 - Curvas de transición (Espirales)

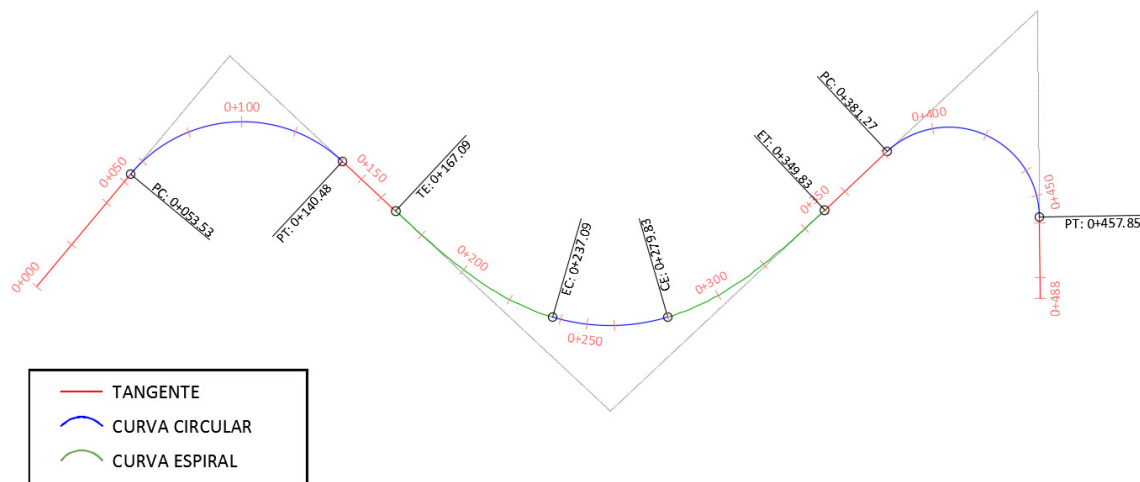


Ilustración 30. Componentes geométricos de alineamiento horizontal. Fuente: Acuña Xavier

La herramienta BIM AutoCAD Civil 3D permite la conformación asistida de los componentes geométricos del alineamiento horizontal, y esta asistencia consisten en parametrizar y restringir de acuerdo valores establecidos las características geométricas de los elementos, es decir que el utilitario BIM notificará la conformación de geometría fuera de los rangos establecidos, estos rangos deben ser los de la normativa.

La versión AutoCAD civil 3D 2015 tiene inserta la normativa AASHTO 2011, la cual puede ser modificada o reemplazada en caso de ser necesario para el cumplimiento de normativa local. Los parámetros establecidos por la normativa asociada al proyecto se puede encontrar digitando el

comando: “DESIGNCRITERIAEDITOR”, seguido se desplegará un cuadro de diálogo donde están los parámetros de la normativa. Ver ilustración 29.

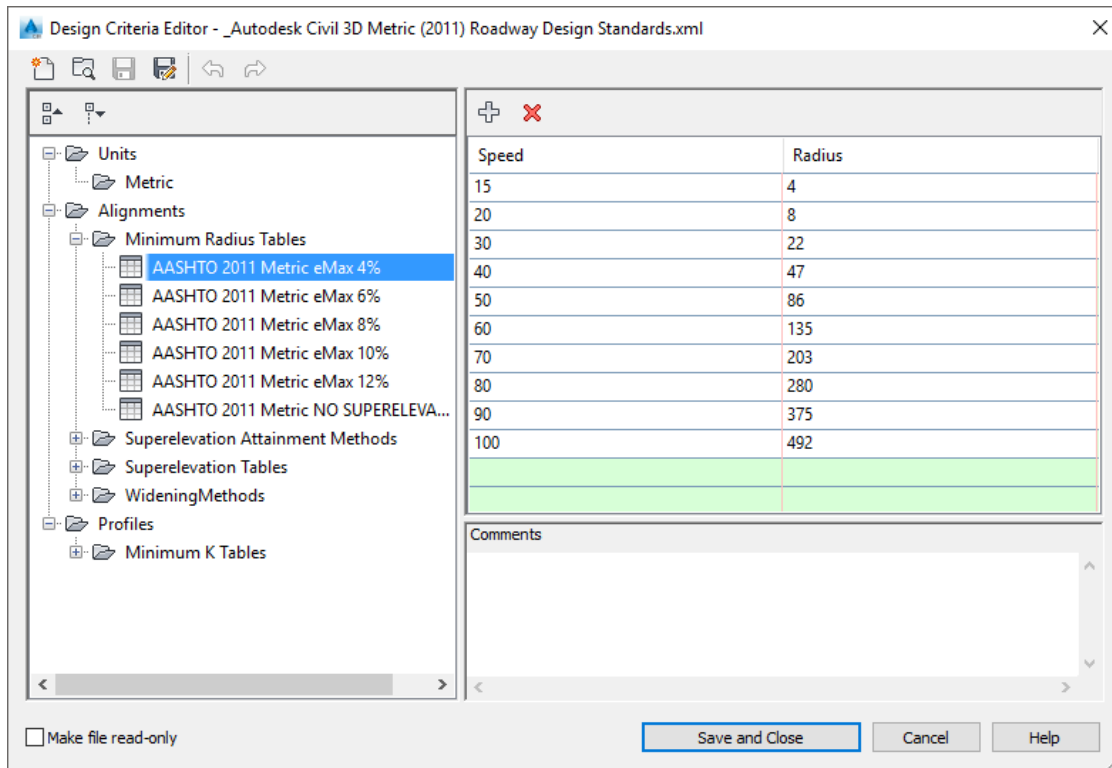


Ilustración 31. Edición de normativa vial en AutoCAD Civil 3D. Fuente: Acuña Xavier

Una vez que la normativa haya sido ajustada al requerimiento local, podremos hacer uso en la conformación de la geometría de manera que el diseño mantenga y respete los valores exigidos de acuerdo a las condiciones de la vía.

4.4.1.2.2 Trazo de Alineamiento horizontal.

En la continuación del flujo de trabajo BIM para vialidades, el trazo del alineamiento horizontal puede ser aprovechado del diseño conceptual o a su vez podría ser un trazo diferente que requiera ser iniciado tomando como referencia el diseño conceptual.

Es importante que un diseño de detalle considere las pendientes máximas del terreno por sobre el cual se desarrollara la trayectoria de la vialidad. Para este fin, se podría usar la técnica de “línea de ceros” que consiste en determinar de manera gráfica la máxima distancia horizontal de un segmento a una pendiente señalada, ésta pendiente será restringida por las exigencias de la categoría e

importancia del proyecto vial. La unión de estos segmentos puede determinar de manera primaria el eje vial.

Ejemplo:

$$\text{Distancia mínima horizontal} = \frac{\text{Intervalo de entre curvas de nivel}}{\text{Máxima Pendiente Permitida}}$$

$$\text{Distancia mínima horizontal} = \frac{2.00}{0.04} = 50 \text{ m}$$

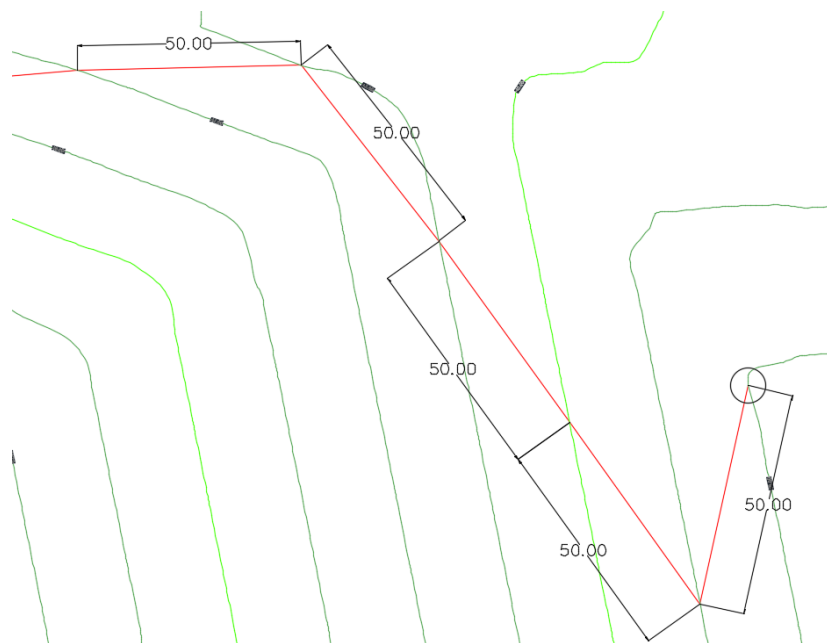


Ilustración 32. Trazado horizontal de línea de ceros, Curvas de nivel representadas cada 2.00 metros. Fuente: Acuña Xavier

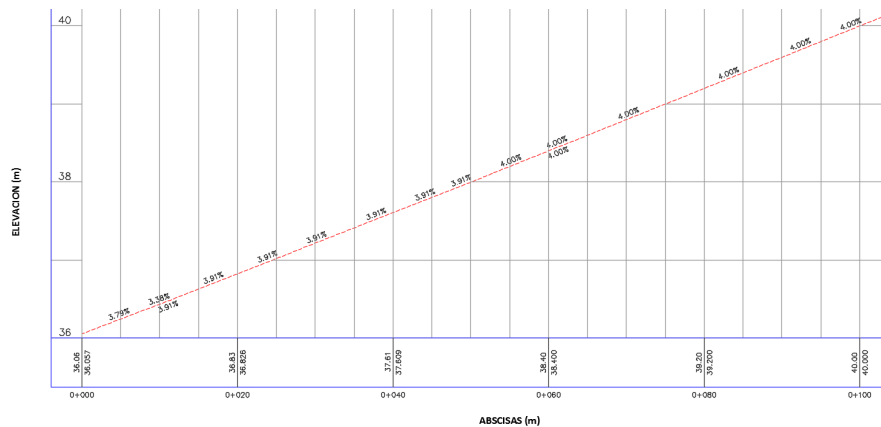


Ilustración 33. Perfil vertical de línea de ceros. Máxima pendiente 4.00%. Fuente: Acuña Xavier

La representación gráfica de las curvas de nivel, a diferentes rangos de elevación permite obtener varias líneas de ceros. El ajuste al eje que pudiera obtener bajo este método podría realizarse después de obtenido el perfil vertical del terreno o la pendiente longitudinal del mismo.

En AutoCAD Civil 3D para iniciar o modificar un alineamiento deberemos usar la herramienta de creación de alineamientos, que se encuentra en la pestaña "Home" dentro del fichero "Create & Design" con el nombre "Alignment Creation Tools". Ilustración 29

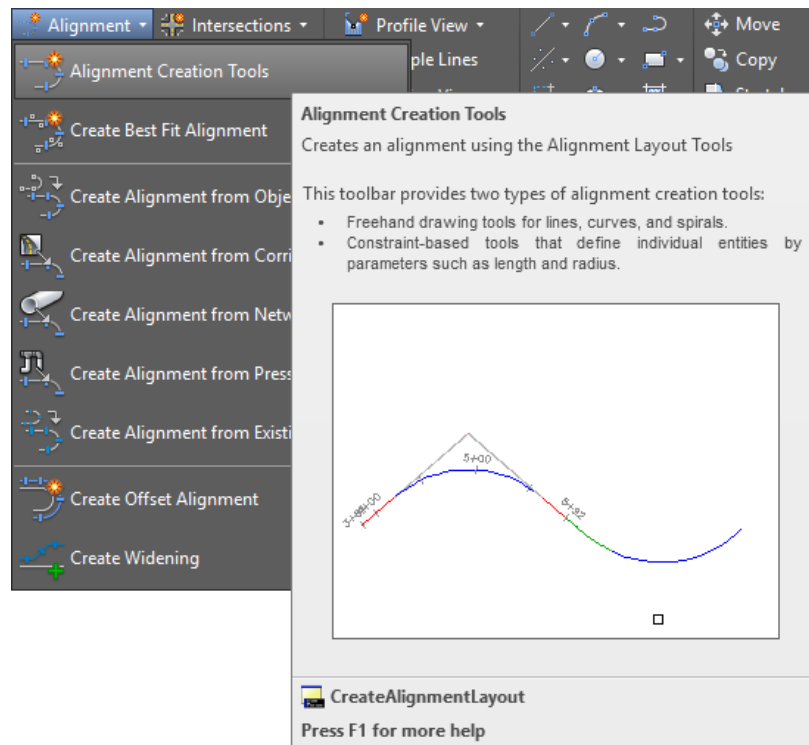


Ilustración 34. Opciones de creación de alineamiento horizontal asistido por herramienta BIM. Fuente: Acuña Xavier

Una vez accedido a la herramienta de creación de alineamientos, tendremos que identificar con un nombre al eje que se va a crear ¹, especificar la abscisa de inicio ², asignar un estilo visual ³, un estilo gráfico de etiquetas ⁴, y asociar la normativa a con la cual vamos a restringir nuestro diseño ⁵. Ver ilustración 30.

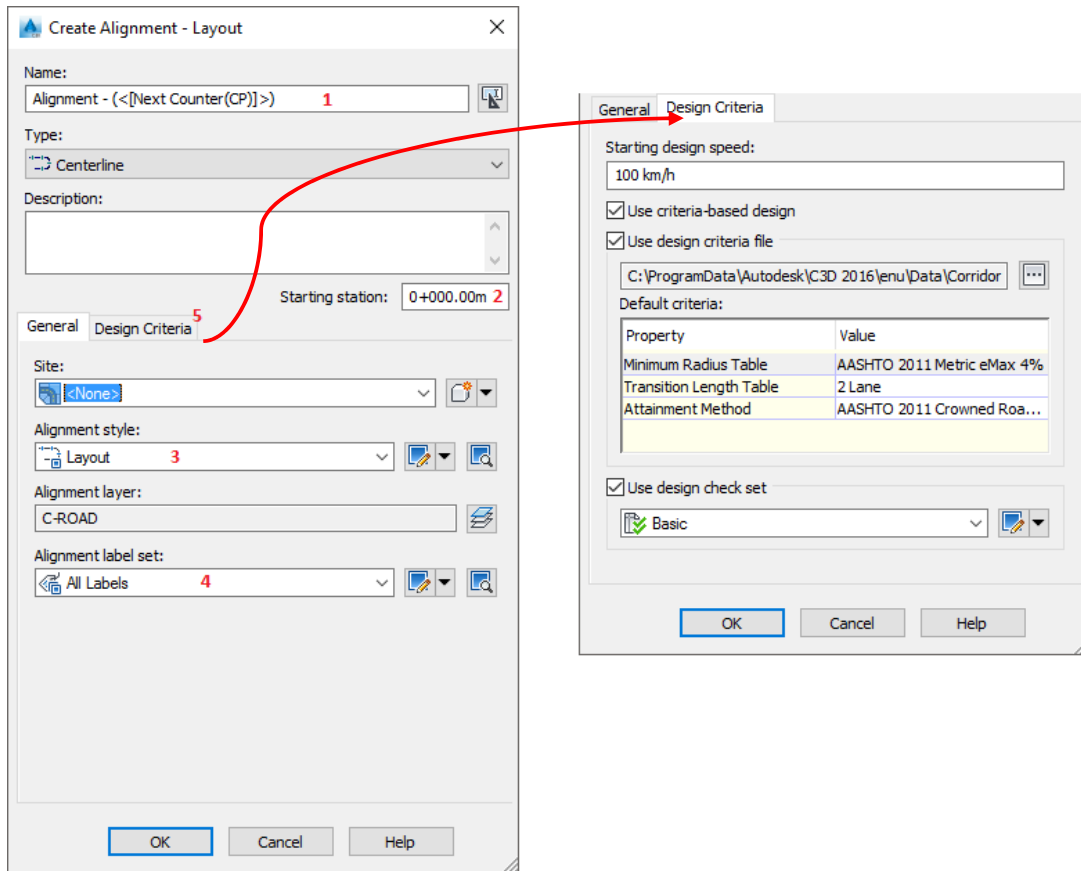


Ilustración 35. Configuración y aplicación de restricciones de normativa a geometría vial. Fuente: Acuña Xavier

En la pestaña “Design Criteria” es donde colocamos los parámetros de Velocidad de diseño y vinculamos la normativa a nuestro alineamiento a ser trazado, para que el programa notifique al usuario cuando el diseño está incumpliendo la normativa. Una vez colocados los parámetros característicos de acuerdo a los estudios y tipo de vía que se necesita diseñar, y la aceptación en el botón “OK” del cuadro, se desplegará una barra de herramientas para trazar el alineamiento horizontal. Las herramientas del programa son dinámicas y asistidas, es decir permiten construir los elementos geométricos que de una manera muy explícita se mostrarán para colocar los parámetros en orden lógico.

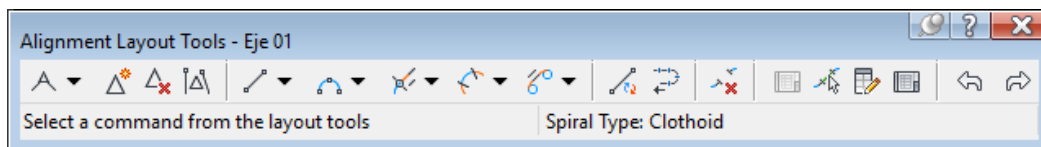
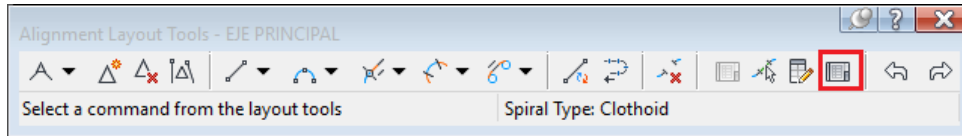


Ilustración 36. Barra de herramientas para creación de elementos horizontales en AutoCAD Civil 3D. Fuente: Acuña Xavier

El trazado o alineamiento deberá cumplir con la normativa local vigente en todos sus elementos geométricos, los trazos gráficos del alineamiento por lo general no son precisos, estos parámetros geométricos se pueden verificar a través de la tabla de atributos de alineamientos. Se accede a esta tabla a con el comando “EditAlignment” y en la barra de herramienta damos clic en el botón que indica la figura 32.



Se desplegará el cuadro que enlista los elementos que conforman el alineamiento trazado, en este cuadro es posible modificar los parámetros como radios de curvatura, ángulo delta, longitud de arco, longitud de tangente, etc. La herramienta BIM, que integra normativa vial, notificará al usuario en caso que el parámetro ajustado no sea físicamente posible o si se incumple con la normativa asociada.

No.	Type	Length	Radius	A	Direction	Start Station	End Station	Delta angle	Chord length	A1/A2	L1/L2	Spiral_P1 Station	Spiral_P1 Northing	Spiral_P1 Easting	Spiral_P1 Included Angle	Degree of Curvature by Arc
22.2	Spiral-Spiral	59.000m		48.749m		1+049.17m	1+108.17m	41° 57' 48"				1+069.90m	9968377.7360m	-98807.1766m	138° 02' 12"	
23	Line	1.657m			S12° 03' 24"W	1+108.17m	1+109.83m									
24.1	Spiral-Spiral	35.000m		57.262m		1+109.83m	1+144.83m	10° 42' 10"				1+133.20m	9968313.6500m	-98793.4884m	169° 17' 50"	
24.2	Spiral-Spiral	35.000m		57.262m		1+144.83m	1+179.83m	10° 42' 10"				1+156.53m	9968290.2454m	-98792.9352m	169° 17' 50"	
25	Line	50.523m			S9° 20' 56"E	1+179.83m	1+230.35m									
26.1	Spiral-Spiral	60.000m		48.749m		1+230.35m	1+290.35m	43° 23' 50"				1+271.62m	9968176.6037m	-98811.6445m	136° 36' 10"	
26.2	Spiral-Spiral	60.000m		48.749m		1+290.35m	1+350.35m	43° 23' 50"				1+311.51m	9968150.9838m	-98845.3317m	136° 36' 10"	
27	Line	45.794m			N83° 51' 25"E	1+350.35m	1+396.14m									
28.1	Spiral-Curve...	30.000m		32.404m		1+396.14m	1+436.14m	24° 33' 19"				1+416.94m	9968162.4622m	-98951.9772m	155° 26' 41"	
28.2	Spiral-Curve...	63.607m	35.000m			1+436.14m	1+489.75m	10° 40' 53"	55.208m							49° 06' 38"
29	Line	0.173m			N69° 22' 47"W	1+489.75m	1+519.92m	24° 33' 19"				1+499.93m	9968229.6456m	-98960.5104m	155° 26' 41"	
30.1	Spiral-Spiral	59.000m		45.587m		1+519.92m	1+578.92m	47° 59' 11"				1+560.81m	9968251.2170m	-98903.1823m	132° 00' 49"	
30.2	Spiral-Spiral	59.000m		45.587m		1+578.92m	1+637.92m	47° 59' 11"				1+600.01m	9968290.4772m	-98887.8017m	132° 00' 49"	
31	Line	69.414m			N26° 35' 35"E	1+637.92m	1+707.34m									
32.1	Spiral-Spiral	40.000m		48.885m		1+707.34m	1+747.34m	19° 10' 50"				1+734.16m	9968413.0930m	-98949.1846m	160° 49' 10"	
32.2	Spiral-Spiral	40.000m		48.885m		1+747.34m	1+787.34m	19° 10' 50"				1+760.81m	9968439.8224m	-98952.6620m	160° 49' 10"	
33	Line	15.587m			N11° 46' 06"W	1+787.34m	1+802.92m									
34	Spiral	40.000m		40.000m		1+802.92m	1+842.92m	28° 38' 52"				1+829.95m	9968507.7990m	-98938.5002m	151° 21' 08"	
35	Curve	102.323m	40.000m			1+842.92m	1+945.25m	146° 04' 02"	76.619m							42° 58' 19"
36	Spiral	40.000m		40.000m		1+945.25m	1+985.25m	28° 38' 52"				1+958.91m	9968507.5583m	-99022.9768m	151° 21' 08"	
37	Line	9.058m			S12° 05' 41"W	1+985.25m	1+994.31m									
38.1	Spiral-Spiral	40.000m		77.288m		1+994.31m	2+034.31m	7° 40' 24"				2+021.00m	9968446.1777m	-99009.8238m	172° 19' 36"	
38.2	Spiral-Spiral	40.000m		77.288m		2+034.31m	2+074.31m	7° 40' 24"				2+047.66m	9968419.5449m	-99007.7645m	172° 19' 36"	
39	Line	1.095m			S3° 15' 07"E	2+074.31m	2+075.35m									
40.1	Spiral-Spiral	44.000m		43.724m		2+075.35m	2+119.35m	29° 00' 39"				2+105.09m	9968362.1639m	-99011.0248m	150° 59' 21"	
40.2	Spiral-Spiral	44.000m		43.724m		2+119.35m	2+163.35m	29° 00' 39"				2+134.38m	9968336.7373m	-99027.0758m	150° 59' 21"	
41	Line	21.385m			S61° 16' 26"E	2+163.35m	2+184.74m									
42.1	Spiral-Spiral	50.000m		89.878m		2+184.74m	2+234.74m	8° 51' 58"				2+218.11m	9968296.1258m	-99101.1740m	171° 08' 02"	
42.2	Spiral-Spiral	50.000m		89.878m		2+234.74m	2+284.74m	8° 51' 58"				2+251.44m	9968275.7448m	-99127.6468m	171° 08' 02"	
43	Line	80.886m			S43° 32' 31"E	2+284.74m	2+365.62m									
44.1	Spiral-Curve...	40.000m		45.607m		2+365.62m	2+405.62m	22° 02' 13"				2+392.50m	9968173.4382m	-99224.8743m	157° 57' 47"	
44.2	Spiral-Curve...	31.150m	52.000m			2+405.62m	2+436.77m	34° 19' 22"	30.687m							33° 03' 19"
44.3	Spiral-Curve...	40.000m		45.607m		2+436.77m	2+476.77m	22° 02' 13"				2+430.30m	9968117.0701m	-99229.1559m	157° 57' 47"	

Ilustración 37. Cuadro de datos de alineamiento horizontal. Fuente: Acuña Xavier

El dinamismo para ajustar un trazado vial es parte de la aplicación de metodología BIM, el diseño pudiera variar las veces necesarias para alcanzar un trazado adecuado sin que se deba realizar todo el proceso geométrico del alineamiento. Por ello la importancia de que la herramienta o software BIM en uso permita al profesional ajustar técnicamente sus diseños sustentados en entornos gráficos y alfanuméricos.

4.4.1.2.3 Ensanchamientos

Los sobreesanchos o ensanchamientos son variaciones de ancho de en las curvas de la vialidad como medida de seguridad, este ensanchamiento debe ser aplicado en el interior como en el exterior de las curvas, de acuerdo con las normas. Los sobreesanchos pueden ser creados de manera asistida por el utilitario BIM de acuerdo con la normativa inserta en el modelo virtual.

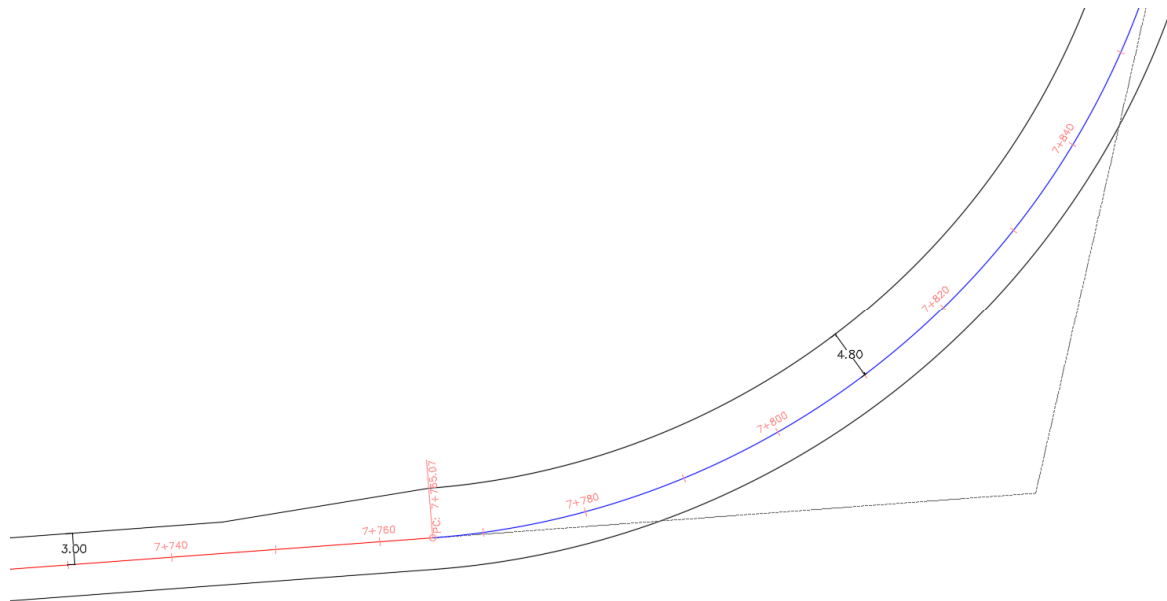


Ilustración 38. Sobreesancho en interior de curva de 3.00 metros a 4.80 metros. Fuente: Acuña Xavier

4.4.1.2.4 Peralte o sobrelevación

El peralte es la pendiente transversal otorgada a una curva horizontal de una vialidad con el fin de compensar las fuerzas inducidas por la aceleración centrífuga que pudieran provocar la salida del vehículo del espacio de circulación. La creación de peralte mediante metodología BIM puede ser asistida, siendo esta pendiente calculada de acuerdo a la normativa aplicada el modelo. Los parámetros de cálculo deberán ser ajustados de acuerdo al tipo de vialidad, velocidad de diseño, etc. La aplicación de una metodología BIM permitirá conocer al diseñador cuando la normativa no está siendo cumplida.

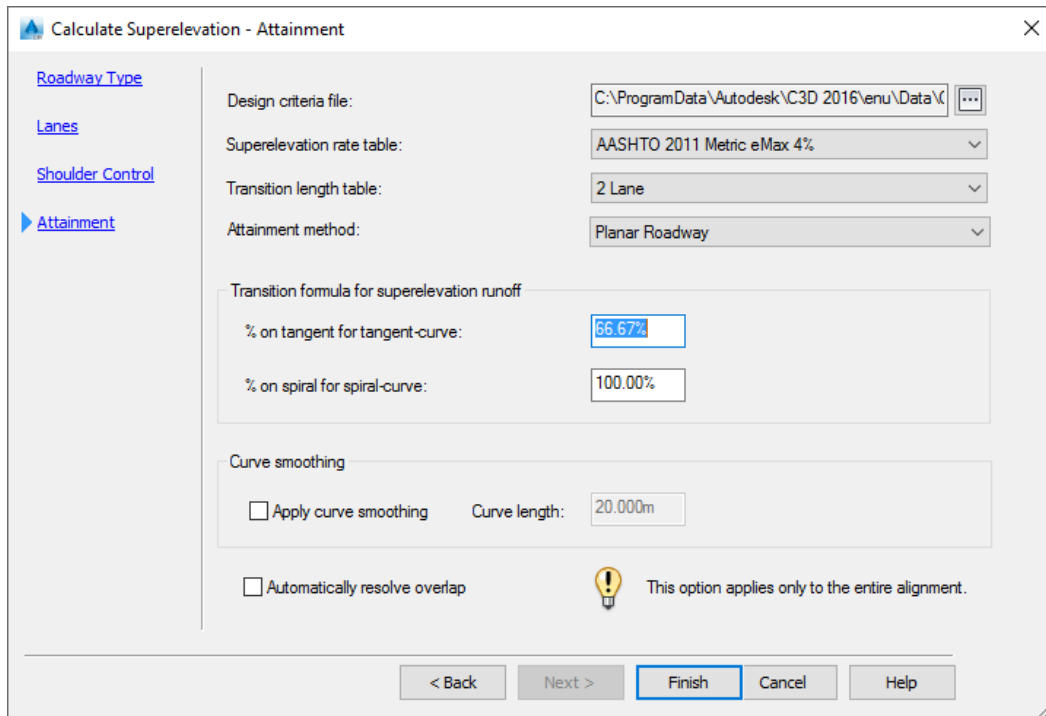


Ilustración 39. Calculo asistido de peralte aplicando normativa AASHTO 2011on parámetros característicos de la vía.
Fuente: Acuña Xavier

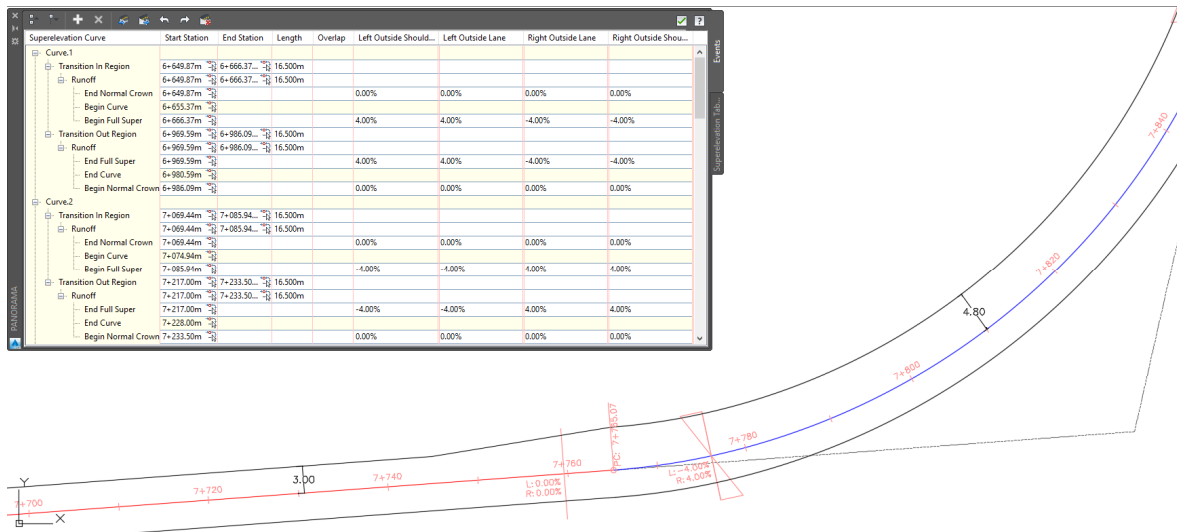


Ilustración 40. Tabla de peraltes o sobrelevaciones calculados y diagrama gráfico en planta de peralte en curva. Fuente: Acuña Xavier

4.4.1.2.5 Extracción de datos geométricos de alineamiento horizontal.

La representación de la geometría de un trazado debe ser obtenida de manera exacta y consistente, es decir los datos alfanuméricos que describen la geometría del trazo deben originarse del trazado dibujado en la planimetría, la herramienta BIM posibilita añadir de “etiquetas” de los elementos del trazo. Las etiquetas pueden ser enriquecidas con información de longitud, radio, dirección, sentido, ubicación georreferenciada, abscisado, etc.

Esta información será la que se mostrará en los planos o documentos impresos que se obtenga del proyecto.

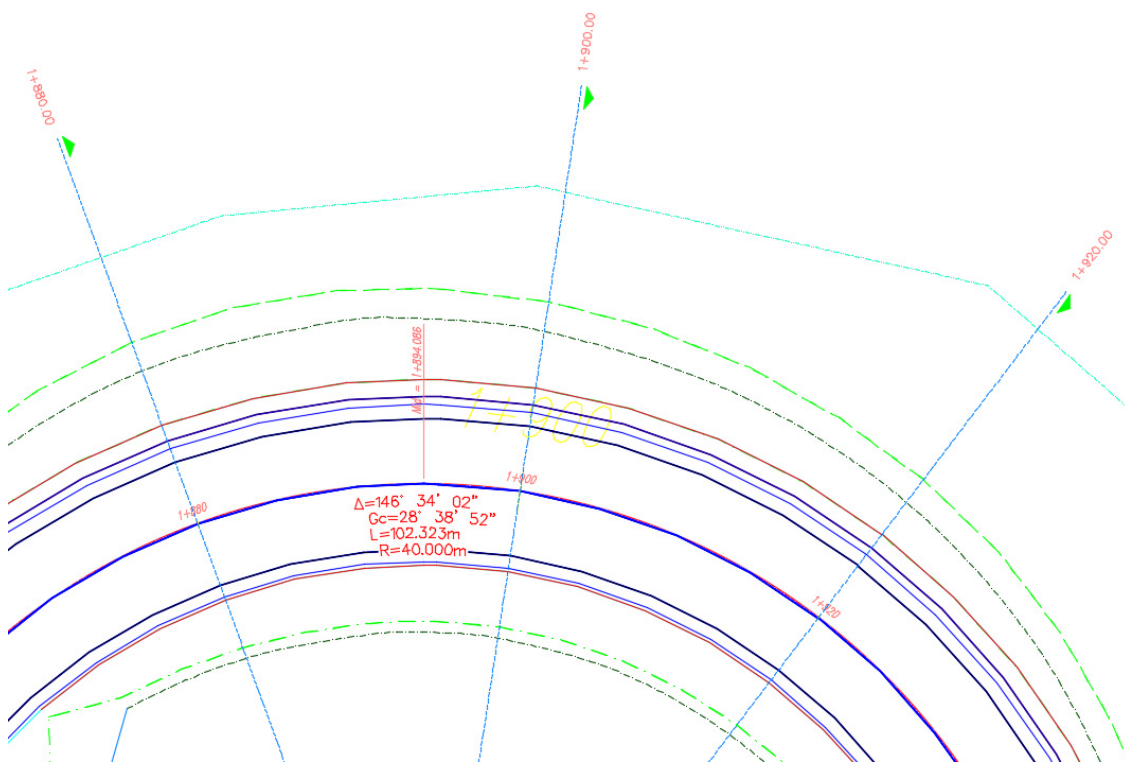


Ilustración 41. Datos geométricos de una curva horizontal. Fuente: Acuña Xavier

4.4.2 Flujo BIM para diseño Vial Vertical

Cuando el trazado horizontal ha sido definido, y se ha finalizado los procesos propuestos en el flujo descrito en el numeral 4.4.1, se procede a realizar el diseño vertical del proyecto vial. De acuerdo con la lógica del medio ecuatoriano y apego a la normativa NEVI – 12, Volumen 1 – Procedimientos para proyectos viales, se propone el siguiente flujo de trabajo en la implementación de metodología BIM en un proyecto vial.

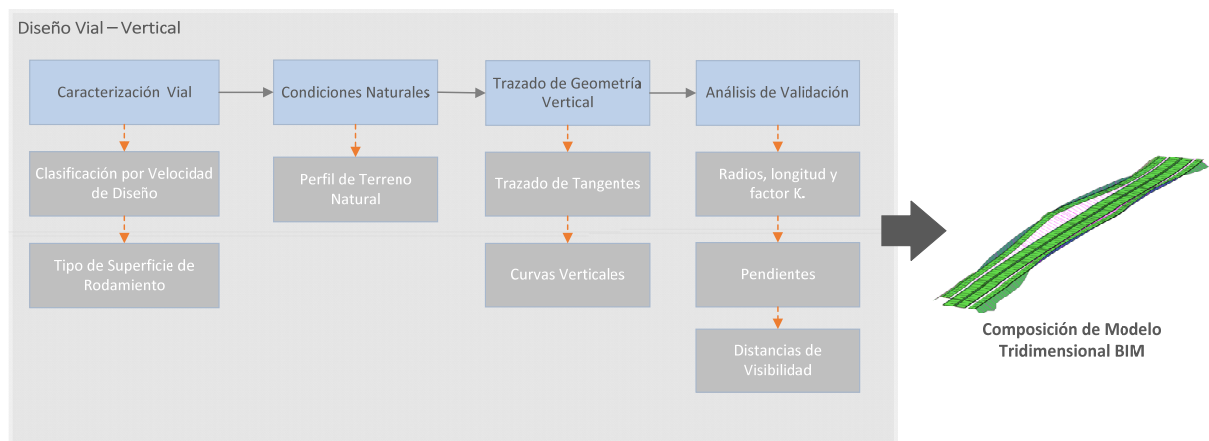


Ilustración 42. Flujo de trabajo para diseño vertical de proyecto. Fuente: Acuña Xavier

4.4.2.1 Caracterización Vial

La caracterización vial se define de acuerdo con los indicadores y resultados obtenidos en la fase de estudios viales descritos en el numeral 4.4.1.1 de este documento.

Estas características ayudarán a caracterizar el tipo de vía del proyecto para asociar con las restricciones geométricas, operativas y de seguridad especificadas en la norma.

4.4.2.2 Trazado Vertical o Rasante

El diseño vertical se define como la unión de tangentes o pendientes rectas unidas por curvas verticales que bajo criterios normados de seguridad y servicio proporcionan las condiciones favorables para una normal circulación del tránsito vehicular.

El trazado del perfil vertical de una vía tiene varios componentes al igual que el trazado horizontal:

- a) Tangentes

b) Curvas Circulares o Parabólicas:

- Cóncavas
- Convexas

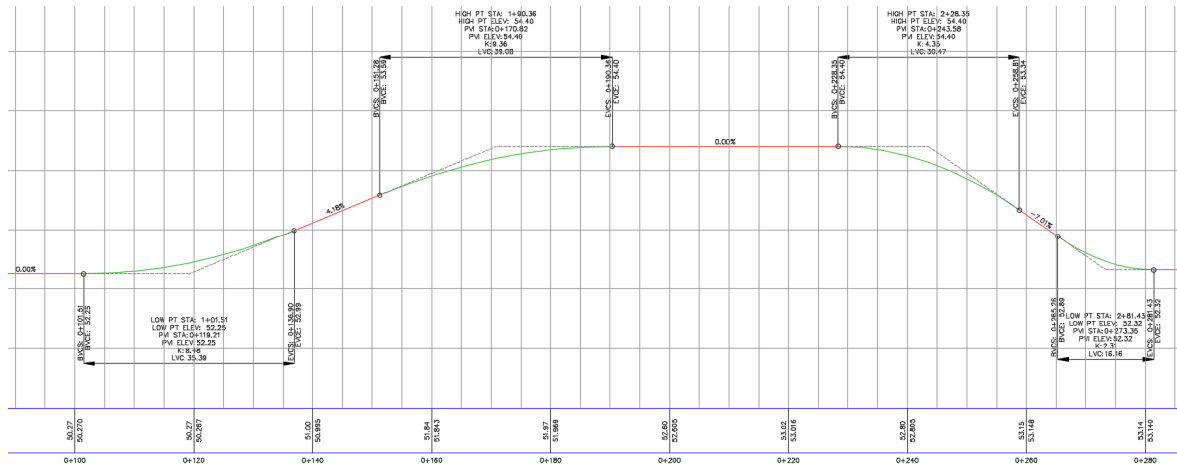


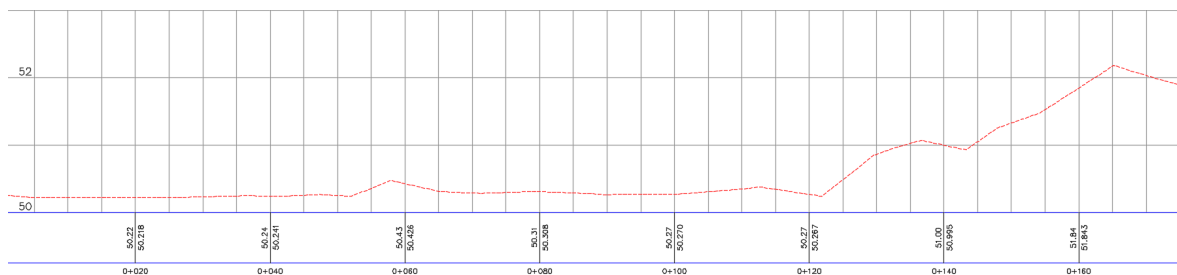
Ilustración 43. Componentes de Perfil Vertical. Fuente: Acuña Xavier

La disposición geométrica de estos elementos está restringida por límites establecidos en la normativa vigente, que mediante la aplicación de metodología BIM se diseña de manera asistida, que al igual que con la geometría horizontal podemos vincular con tablas de datos que asocian la tipología de la vía con los coeficientes K, para sugerir el ajuste apropiado del elemento según corresponda.

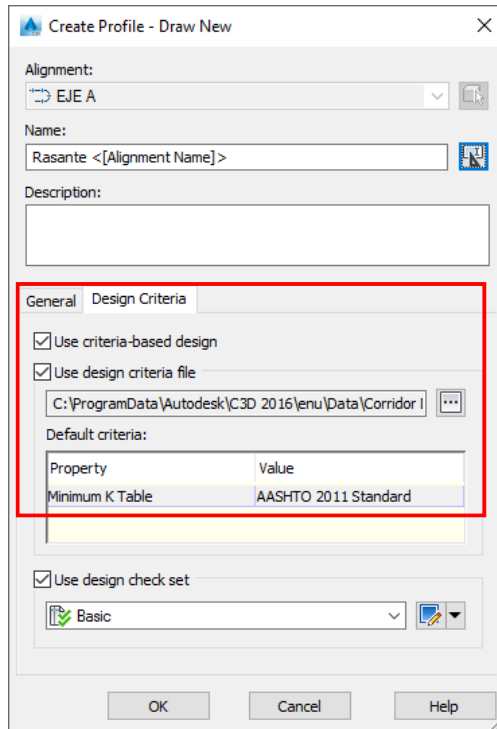
El uso de las herramientas BIM permite obtener en la trayectoria del trazado horizontal, el perfil de terreno sobre el cual está implantando el proyecto, lo cual permite de manera instantánea conocer si el trazado horizontal atraviesa sectores con grandes variaciones de terreno que pudieran afectar el diseño e inducir a un proyecto más costoso.

Para el diseño de del perfil vertical de la vialidad es aconsejable seguir los siguientes pasos:

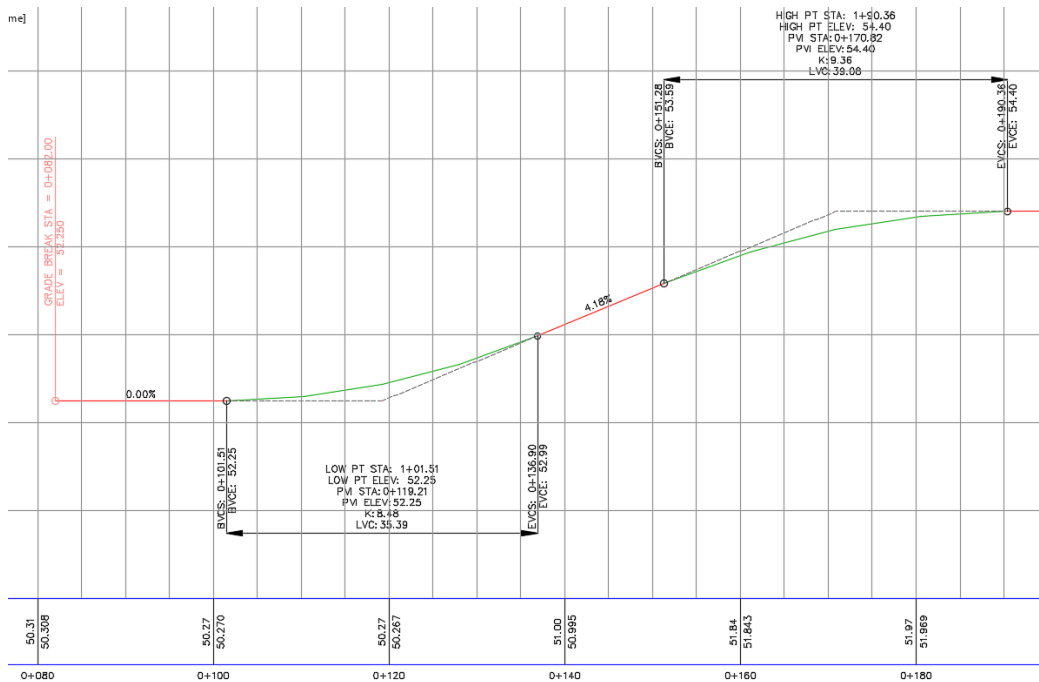
- a. Obtener perfil de terreno en la trayectoria del trazado horizontal



b. Asociar la normativa vigente a aplicarse en el diseño y caracterización de la vía:



c. Elaboración de diseño vertical del proyecto con la herramienta BIM.



- d. Ajuste de diseño de rasante mediante la tabla alfanumérica que contiene los datos del perfil trazado.

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value	Curve Radius	Asymmetric Length 1	Asymmetric Length 2	Lock
1	0+082.00m	52.250m		0.00%								
2	0+119.21m	52.250m	0.00%	4.18%	4.18%	Sag	35.390m	8.476	847.624m			
3	0+170.82m	54.404m	4.18%	0.00%	4.18%	Crest	39.085m	9.361	936.132m			
4	0+243.58m	54.404m	0.00%	-7.01%	7.01%	Crest	30.466m	4.349	434.892m			
5	0+273.35m	52.319m	-7.01%	0.00%	7.01%	Sag	16.163m	2.307	230.726m			
6	0+333.60m	52.319m	0.00%									

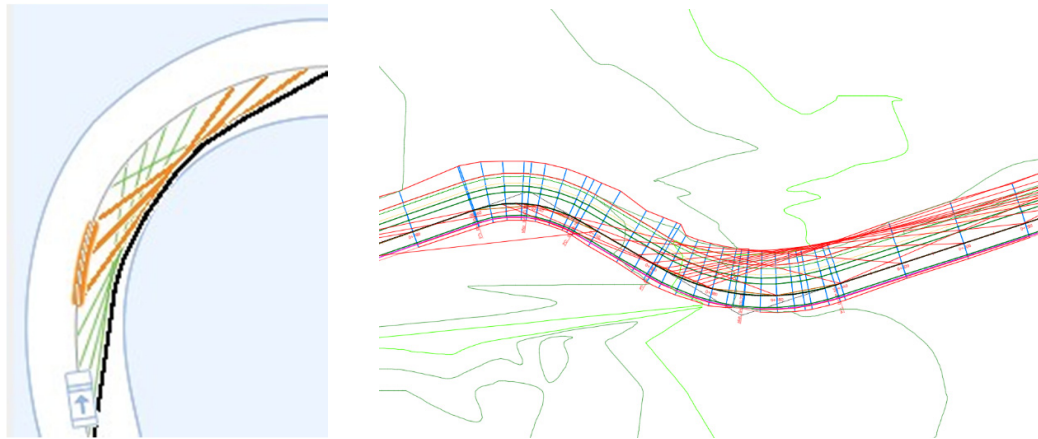
Ilustración 44. Tabla de Ajuste de Diseño Vertical. Fuente: Acuña Xavier

4.4.2.3 Validación de diseño geométrico

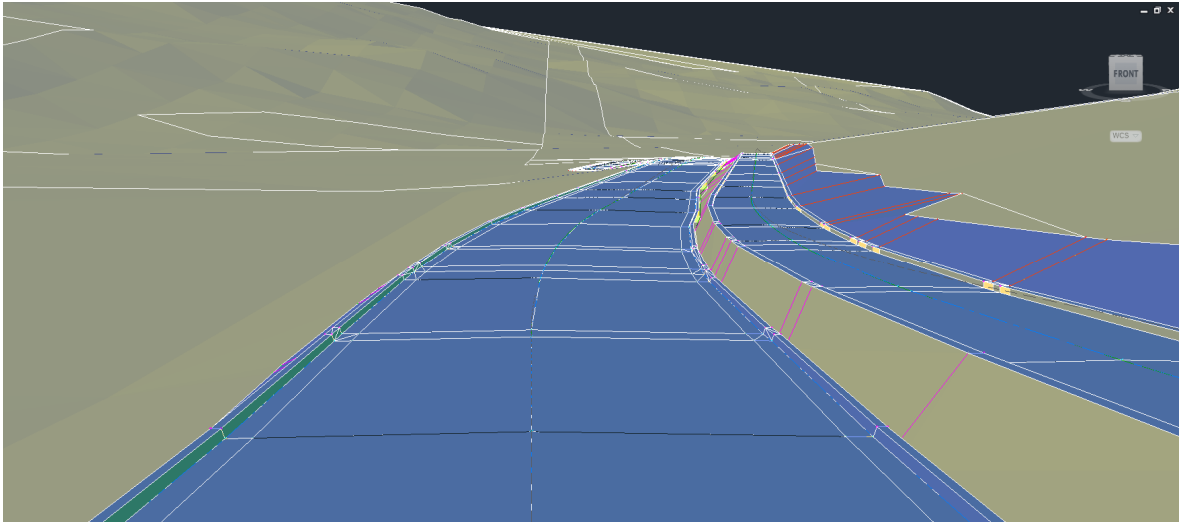
Es preciso validar las propiedades geométricas del trazado con la normativa vigente y parámetros locales establecidos por los organismos de control, para ello podemos recurrir a las tablas alfanuméricas de edición de alineamientos. Ver numeral 4.4.3.2 Trazo de Alineamiento horizontal y 4.4.3.5 Trazado Vertical o Rasante

Los campos informativos que caracterizan la vía, y que han sido insertados a lo largo de la conformación del alineamiento sirven para que el programa realice varios procesos lógicos que arrojen resultados como:

- a. Sight Design Check: Algoritmo para proyectar líneas de verificación de distancias de visibilidad.



- b. Drive: Recorrido visual de trayectoria sobre el eje horizontal siguiendo la trayectoria de la rasante, la visualización según la herramienta BIM pudiera ser tridimensional.



4.5 Diseño Vial – Composición de Objetos Tridimensionales

4.5.1 Flujo BIM para diseño Vial – Composición de Modelo Tridimensional

La esencia de la metodología BIM es el uso de la información que se puede obtener a partir de un modelo digital. El modelo de un proyecto vial se compone por varios elementos, que procesados la herramienta BIM generan geometrías tridimensionales creando también nuevas propiedades geométricas y mecánicas capaces de ser extraídas y aprovechadas para cálculos matemáticos, simulaciones de comportamiento mecánico y representaciones visuales tridimensionales.

En este trabajo se propone el siguiente flujo de trabajo en la composición del modelo tridimensional BIM:

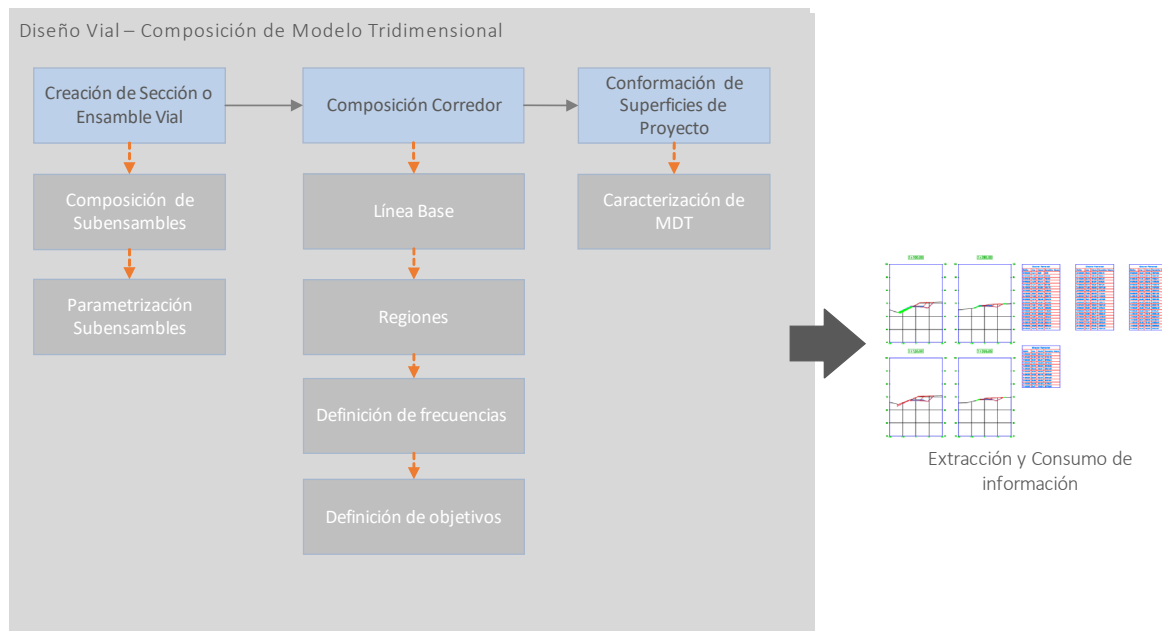


Ilustración 45. Flujo de trabajo para composición tridimensional de obra vial. Fuente: Acuña Xavier

4.5.1.1 Creación de Sección o Ensamble Vial

Consiste en la definición de la sección típica de la vialidad, esta puede ser variable a lo largo de sus abscisas según lo requiera el proyecto.

Esta sección debe estar especificada por la caracterización vial y el tipo de servicio del proyecto de infraestructura vial. Es decir, los estudios determinaran el número de carriles por dirección, la

disposición de sostenimiento de taludes, la existencia de cunetas o estructuras de drenaje, pendientes de escurrimiento de la capa de rodadura, estructura de la vía , características geométricas y mecánicas de materiales, etc. Sin embargo, como resultado del modelo digital BIM podría replantearse algunas características anteriormente mencionadas con la intención de optimizar el diseño en busca de la alternativa más conveniente.

La sección típica o ensamble vial, en las herramientas BIM poseen parámetros dinámicos que pueden adaptarse a una condición especificada por el diseñador, ejemplo: Creación de talud, si existiese corte el talud de corte se proyecta en relación 0.5H/1V al terreno existente, si existiese relleno el talud de relleno se proyecta 1.5H/1V hacia el terreno existente.

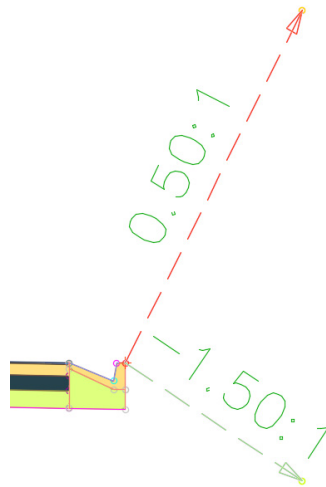


Ilustración 46. Subensamble de talud. Fuente: Acuña Xavier

Para la construcción de una sección, es preciso especificar el punto de aplicación de la misma con respecto al diseño vertical, por la sección típica tiene un eje llamado ensamble, sobre el cual se colocan los elementos como estructura asfáltica, cunetas, bordillos, etc. Estos son llamados subensambles.

Los subensambles provienen de una biblioteca que contiene las estructuras más comunes para proyectos viales, o bien pueden provenir del dibujo de la misma.

Los ensambles provenientes de la biblioteca o catálogo de la herramienta BIM son parametrizables, pueden ser configurados de manera que adopten una condición de acuerdo a las condiciones de su punto de aplicación, incluso de variación de acuerdo con la topografía u otros elementos ajenos a la vía.

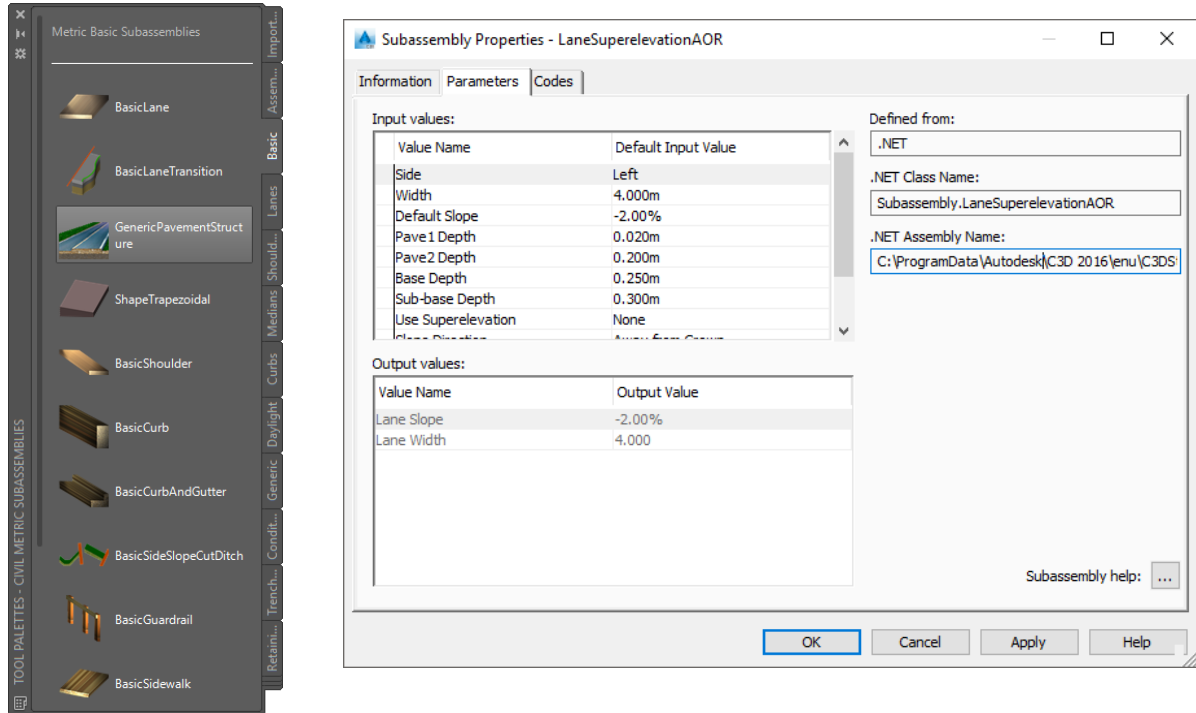


Ilustración 47. Caracterización paramétrica de subensambles viales. Fuente: Acuña Xavier

Entonces, se conforma un ensamble o sección de vía compuesto por varios componentes o subensambles de manera que caractericen la estructura transversal del proyecto vial.

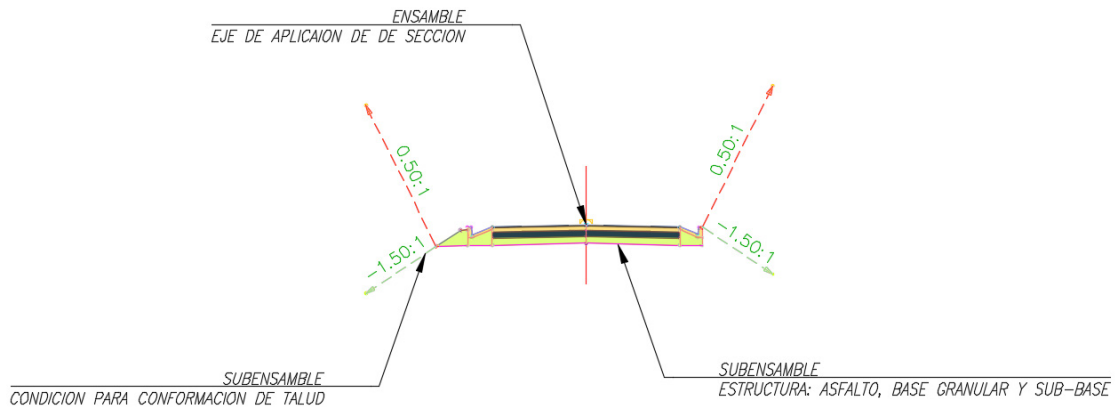


Ilustración 48. Ensamble compuesto por carriles, cunetas, espaldar y condicionales de corte y relleno. Fuente: Acuña Xavier

Para el proceso de extracción de información o la generación del MDT resultante del proyecto es importante que los elementos de la sección contengan la codificación necesaria en sus subelementos, ya que dependerá de los códigos en uso para cada punto, línea o forma de los subensambles para que el software pueda asociarlos y realizar cálculos confiables.

4.5.1.2 Composición de Obra Lineal o Corredor

Una obra lineal o corredor, dentro del entorno BIM, se define como el conjunto de elementos de diseño que complementados formarán un modelo tridimensional. Los componentes que se fusionan para obtener el corredor se describen en el esquema mostrado en la ilustración 15.

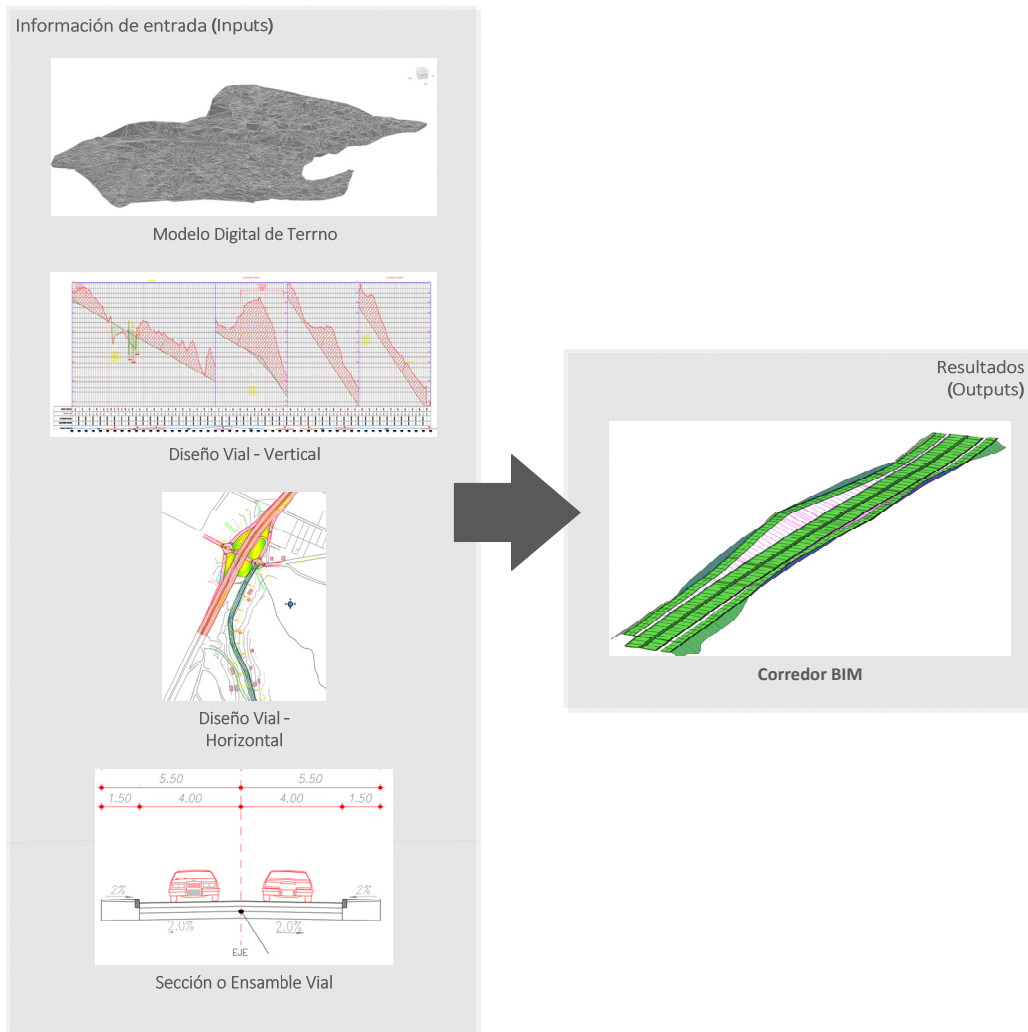


Ilustración 49. Componentes necesarios para obtener un Corredor BIM. Fuente: Acuña Xavier

En la formación del corredor es necesaria la información contenida del terreno natural disponible en el MDT, la información del diseño horizontal contenido en el alineamiento horizontal, la información del diseño vertical contenida en el perfil y la sección a aplicarse descrita en el ensamble.

La nomenclatura del proyecto vial difiere en la etapa de modelado del corredor, llamamos línea base al alineamiento horizontal y al perfil vertical, ya que estos elementos definen la trayectoria de la vía, BIM llama regiones a las subdivisiones de una obra lineal que aplica diferentes secciones a lo largo de su abscisado. Estas regiones tendrán una configuración individual en cuanto a la frecuencia de aplicación de la sección así como también en la determinación del MDT, objetivo de proyección de los taludes.

La herramienta BIM procesa la información y forma un modelo en tres dimensiones, este modelo será dinámico, es decir si se aplica una variación a cualquiera de los elementos, el corredor se modificará de acuerdo a estos.

La configuración en la conformación de una obra lineal es muy importante ya que de esta depende la precisión en los cálculos posteriores sobre las cantidades de materiales del proyecto vial. Los factores influyentes para el cálculo son:

- La frecuencia en tangentes y curvas de la aplicación de la sección
- Proyección adecuada de los taludes a la superficie o MDT correspondiente
- Variación de ancho de la sección de acuerdo con aumento o disminución de carriles o sobreanchos.

Estas características de la obra lineal deben ser ajustadas en el modelo de manera que los datos a extraerse del mismo sean lo más próximos al diseño planteado en sus trazados horizontal y vertical.

Por ejemplo; a lo largo de una curva horizontal es preciso que la frecuencia o distancia entre sección transversal sea menor a 10 metros, ya que de esta manera la curva será modelada con mayor precisión.

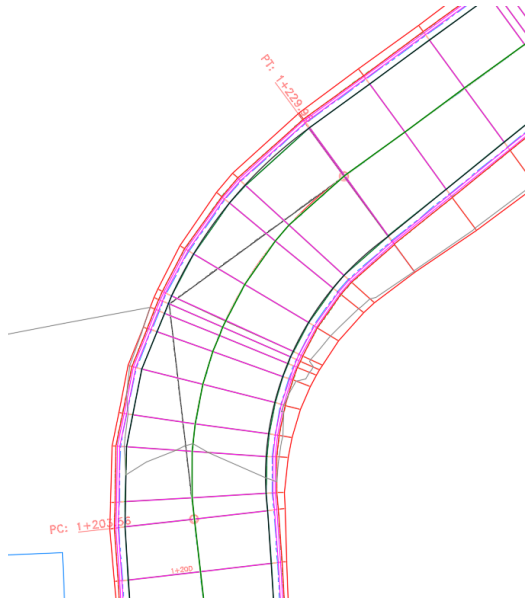


Ilustración 51. Sección aplicada en curva cada 5 metros.

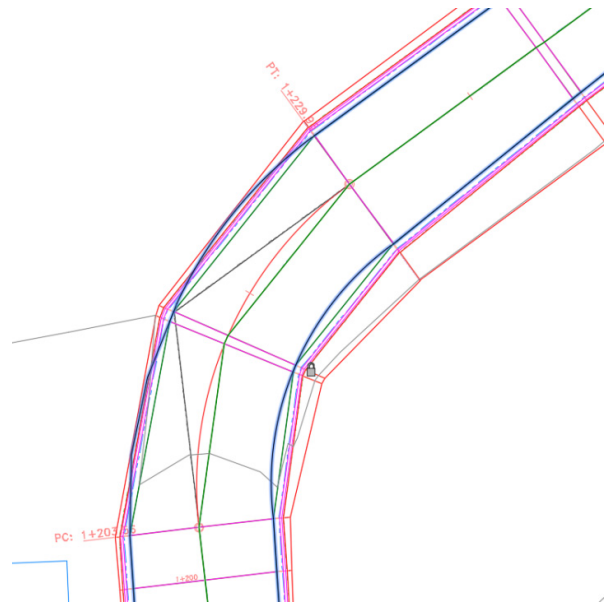


Ilustración 50. Sección aplicada en curva cada 20 metros.

Una vez conformado el corredor se obtendrá un modelo digital como el que se muestra en la figura 44.

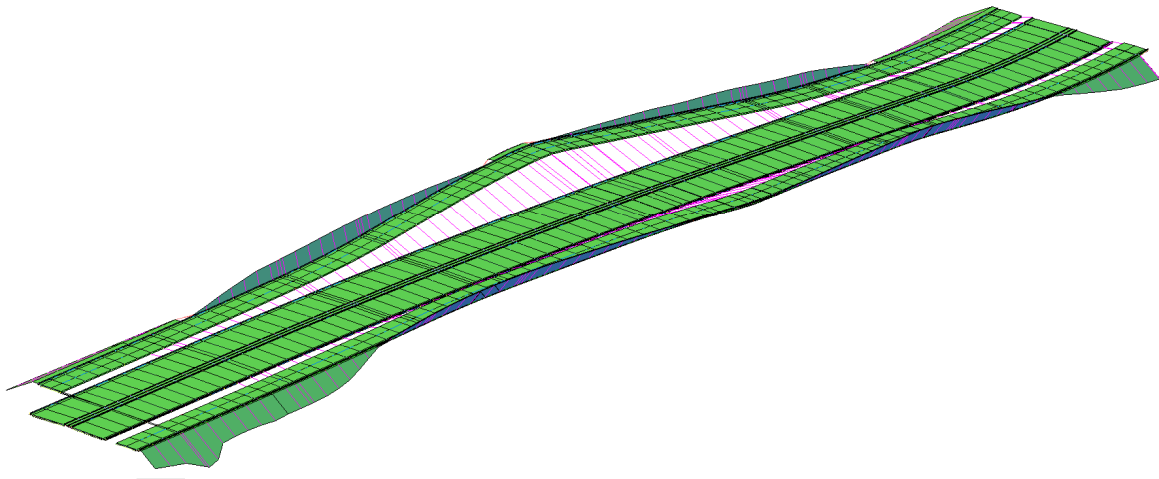


Ilustración 52. Modelo BIM de una obra lineal. Fuente: Acuña Xavier

4.5.1.3 Conformación de MDT de Proyecto

Una vez obtenido el modelo o corredor del proyecto vial, es necesario generar la superficie o modelo digital del terreno resultante de la vialidad modelada, con el objetivo de conocer las elevaciones de los puntos críticos del proyecto, disposición final de taludes, conformación de terraplenes, etc. También es indispensable para obtener un elemento de comparación con respecto a las condiciones iniciales de terreno y a partir de un cálculo volumétrico a través de la herramienta BIM obtener las cantidades de terreno a ser removido o rellenado.

En un modelo BIM correctamente elaborado, un MDT de un proyecto vial servirá como referencia de la preparación del terreno previo a la construcción de estructuras, también, la comparación entre dos o más MDT que siga una secuencia lógica pueden ser usados para control y planeamiento de obra.

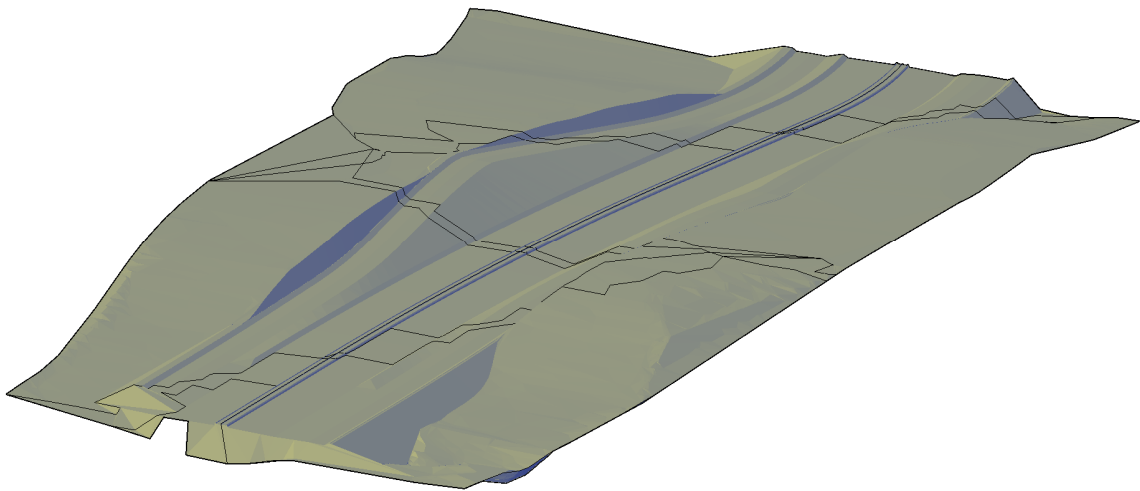


Ilustración 53. Modelo Digital de Terreno (MDT) de proyecto. Fuente: Acuña Xavier

Capítulo 5. - Extracción y consumo de información

5.1 Resultados de un modelo BIM

Todo proyecto de ingeniería requiere comunicar los resultados obtenidos en su diseño, análisis o simulación, por ello la elaboración de documentación sustentada y consistente es fundamental que pueda ser usada en procesos de contratación, construcción, registro “as-built”, etc.

La documentación a obtenerse de un modelo BIM está estrictamente vinculada a la capacidad del software de representar la información contenida en el mismo. Sin embargo para proyectos de infraestructura vial se enlista la documentación más relevante a obtenerse a partir de un modelo BIM:

- Planos de trazado en planta y perfil
- Secciones transversales a lo largo de la vialidad
- Reporte o cuadro de elementos geométricos viales
- Reporte o cuadro de movimiento de terreno
- Reporte para replanteo de geometría horizontal
- Reporte o cuadro de materiales de estructura asfáltica
- Diagrama de Masas
- Visualización en tres dimensiones y recorrido de trayectoria

Para la obtención de la información resultante se propone el siguiente flujo de trabajo:

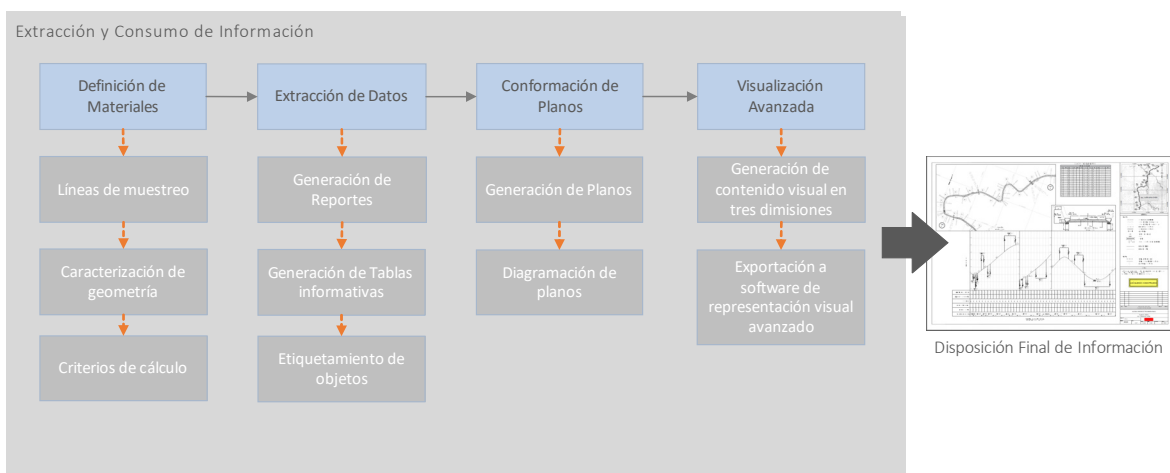


Ilustración 54. Flujo de trabajo para extracción de información del modelo BIM. Fuente: Acuña Xavier

5.2 Definición de Materiales

5.2.1 Líneas de Muestreo

Las líneas de muestreo son la representación de cortes transversales a lo largo de la vialidad, estas líneas se sitúan paramétricamente distanciadas a lo largo de su alineamiento según el criterio del diseñador. La herramienta BIM extrae de estas secciones muestras de los componentes que atraviesadas por la línea de muestreo tales como superficies, corredores u otros elementos; esta información extraída servirá para la cuantificación y representación de las secciones trasversales en planos.

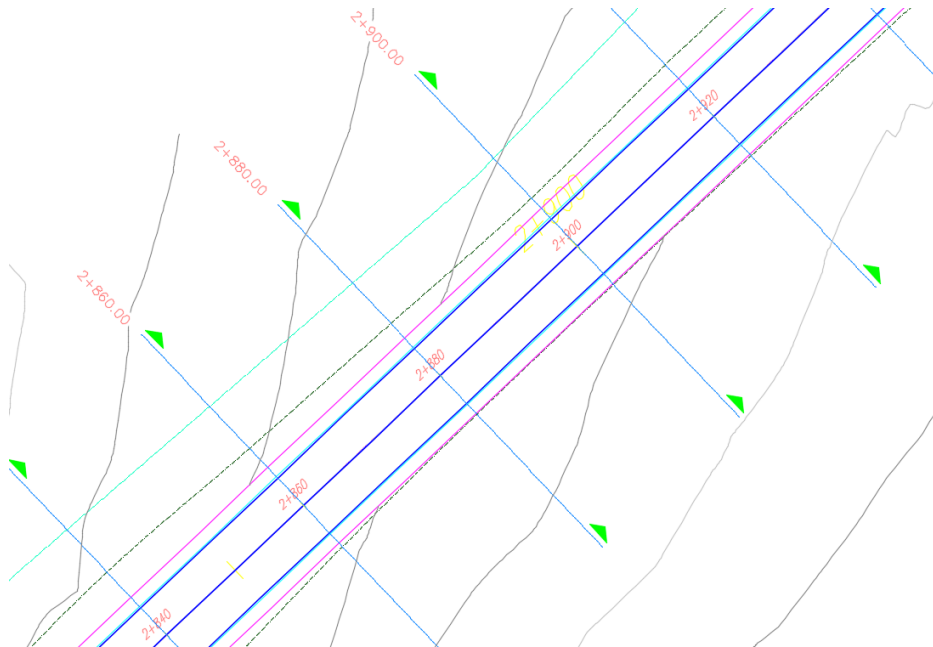


Ilustración 55. Líneas de Muestreo aplicadas cada 20 metros. Fuente: Acuña Xavier

5.2.2 Caracterización geométrica

Una vez que las líneas de muestreo han sido aplicadas a un alineamiento, la herramienta BIM reconocerá la geometría del corredor modelado, por lo que es necesario asociar la geometría formada en los modelos con materiales de obra, es decir aplicar una propiedad física y mecánica a una forma geométrica. La vinculación está limitada por tipología de elementos, por ejemplo, solamente se puede asociar asfalto a una forma que está representada como estructura de un ensamble vial.

Esta definición de materiales también relaciona cálculos métricos o condiciones insertadas por el profesional para distinguir que criterio aplicar al material, por ejemplo, es preciso señalar cual superficie o MDT representa las condiciones naturales de un terreno y cual MDT representa la disposición final del terreno, para que al compararlas la herramienta pueda determinar si existe corte material o relleno de material entre las mismas.

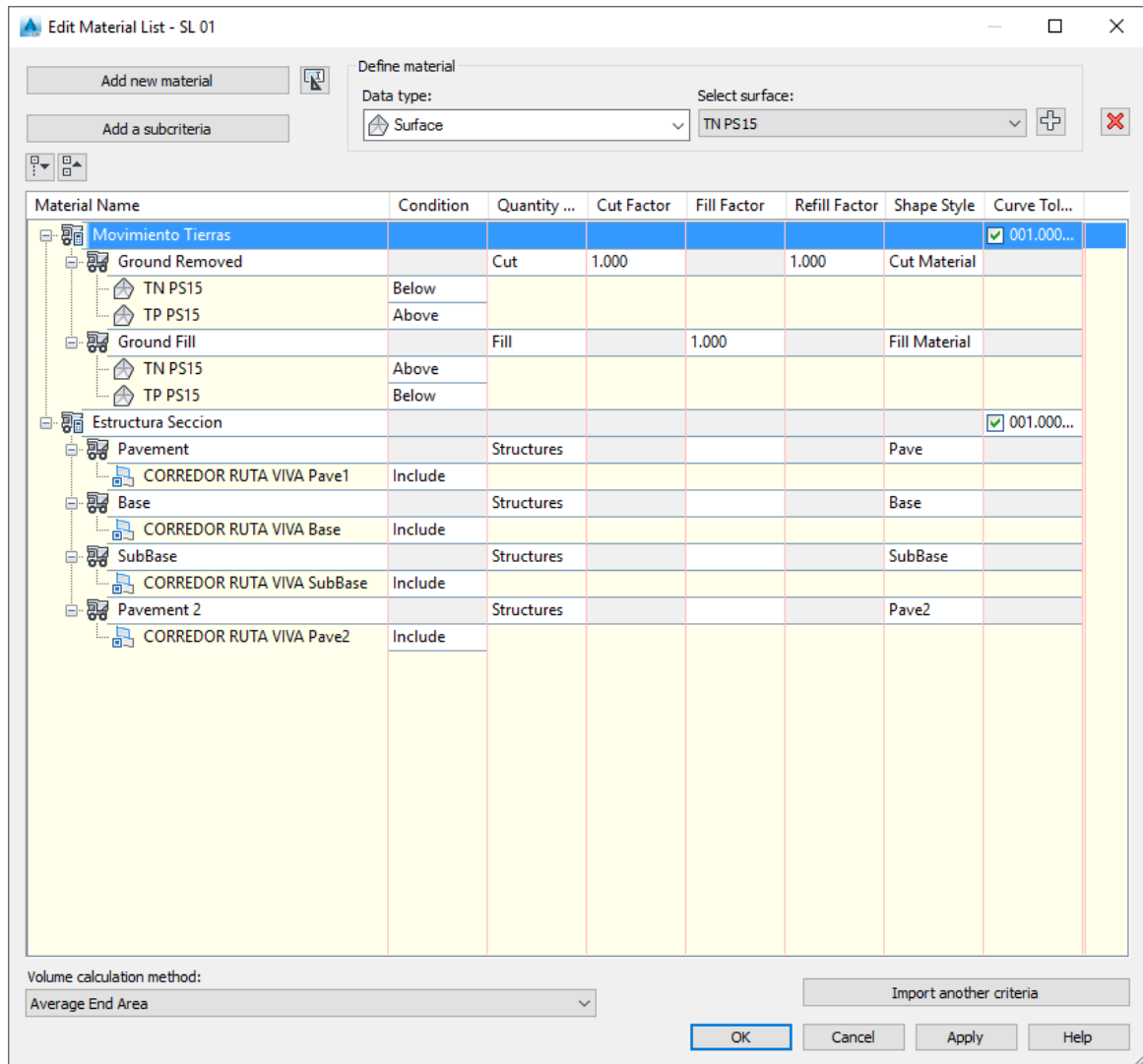
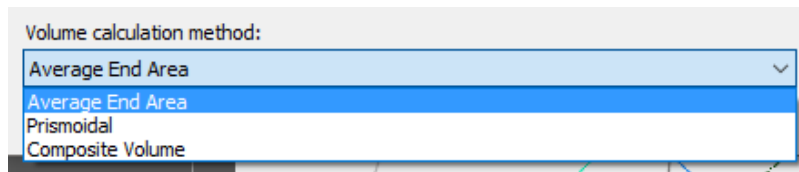


Ilustración 56. Configuración de Materiales. Fuente: Acuña Xavier

5.2.2.1 Criterios de Calculo

Una vez asignados los materiales a los distintos elementos del modelo, es preciso indicar el método de cálculo de materiales, esta opción dependerá de la herramienta BIM sobre la cual se ha construido el modelo. AutoCAD Civil 3D permite cuantificar los materiales de un corredor vial usando los siguientes métodos:

- Método de las Áreas Medias
- Método del Prismoide
- Volumen compuesto



5.3 Extracción de Datos

La etapa de definiciones geométricas y configuración del modelo BIM ha finalizado, y para obtener la información que sea aprovechable por los consumidores de esta información es necesario la creación de reportes o documentación que sea reflejo del modelo construido.

La información de reportes y planos se obtiene de manera directa, ya que las herramientas BIM tienen la capacidad de organizar y representar de manera alfanumérica los datos o características del modelo y sus componentes, de esta manera se optimizan tareas de diagramación e ingreso de datos en la documentación.

5.3.1.1 Generación de Reportes

Los reportes son el resumen tabulado de varias características del modelo. Los datos a obtenerse pueden ser: características geométricas, cálculos o bien información de normativa y criterios aplicados al modelo.

La mayor ventaja de la interoperabilidad entre herramientas BIM es el aprovechamiento de la información extraída de los modelos, siendo así los reportes la documentación que en varios formatos pueden ser aprovechados para tabulaciones en hojas de cálculo, en equipos de medición o de intercambio entre plataformas BIM.

Entre los reportes de mayor uso en proyectos de infraestructura vial se enlistan los siguientes:

- Curvas de Alineamiento
- Reporte de PI's
- Replanteo de alineamiento en base a puntos de control
- Curvas Verticales

Estos reportes pueden ser usados como documentación anexa a la memoria técnica del proyecto como sustento del diseño realizado.

Your Company Name			
123 Main Street			
Suite #321			
City, State 01234			
Alignment Curve Report		Client: Client Company	
Project Name: C:\Users\Xavier\Dropbox\Puce\TESIS\Planos\tesis_03.dwg		Project Description:	
Report Date: 11/22/2016 9:31:38 PM		Prepared by: Preparer	
Alignment: EJE_PRINCIPAL			
Description:			
<u>Tangent Data</u>			
Length:	26.195	Course:	S 33° 55' 47.2707" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	40.000	L Tan:	26.680
Radius:	201.996	S Tan:	13.346
Theta:	05° 40' 22.7008"	P:	0.330
X:	39.961	K:	19.993
Y:	1.319	A:	89.888
Chord:	39.983	Course:	S 32° 02' 20.2689" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	40.000	L Tan:	26.680
Radius:	201.996	S Tan:	13.346
Theta:	05° 40' 22.7008"	P:	0.330
X:	39.961	K:	19.993
Y:	1.319	A:	89.888
Chord:	39.983	Course:	S 24° 28' 28.8709" W

Ilustración 57. Reporte de Curvas de alineamiento. Fuente: Acuña Xavier

5.3.1.2 Generación de tablas y cuadros

La información contenida en el modelo puede ser resumida para su consumo en tablas parametrizadas insertas en el mismo espacio de trabajo del archivo que contiene el diseño, esta información es tabulada y presentada de manera gráfica de tal manera que pueda ser usada en los planos.

Manteniendo el concepto BIM, estas tablas están vinculadas dinámicamente con el modelo, esto quiere decir que si tras una etapa de revisión surge un cambio en la geometría horizontal o vertical, sección o cualquier variación; los datos contenidos en las tablas se actualizarán de acuerdo a la modificación realizada, evitando así reprocesos y errores por duplicación o desactualización de datos.

Las tablas o cuadros también sirven como indicadores numéricos del modelo, es decir pudieran ser extraídos en una etapa de diseño para obtener mediciones de obra paralelamente a la modelación de la geometría, sirviendo como sustento en la toma de decisiones en el diseño.

Entre la información más relevante que puede representarse en tablas o cuadros en herramientas BIM están:

- Construcción geométrica horizontal
- Construcción geométrica vertical
- Volúmenes y cantidades de Obra

GEOMETRIA ALINEAMIENTO HORIZONTAL EJE PRINCIPAL					
CURVA	PC o TE	EC	PI o PST	CE	PT o ET
E42	2+436.777 488232.1562 99681.30.2571				2+476.777 488213.7863 9968083.0182
E43	2+520.493 499168.8097 9968039.1370				2+560.493 499172.1344 9968033.3048
E44	2+708.738 499265.4790 9968039.8577				2+758.738 489290.3645 9968083.2471
E45	2+758.738 499290.3645 9968083.2471				2+808.738 499324.5625 9968119.6389
E46	3+176.683 499576.7583 9968384.2180				3+235.683 499613.5185 9968431.5689
E47	3+235.683 499613.5185 9968431.5689				3+295.683 499690.4984 9968483.1118
E48	3+318.841 499646.9786 9968504.2059				3+388.841 499770.0489 9968544.8041
E49	3+388.841 489877.0489 9968544.8041				3+418.841 499725.2844 9968555.0557
E50	3+547.171 489895.7845 9968557.8521				3+612.171 489830.5678 9968582.1718
E51	3+678.805 499894.1984 9968581.5887				3+743.805 500040.3908 9968614.1293
E52	4+025.804 500288.1427 9968747.3287				4+085.804 500341.9588 9968773.7838
E53	4+085.804 500341.9588 9968773.7838				4+145.804 500381.6348 9968807.3887
E54	2+647.013 488231.8267 9967887.8470				2+687.013 488255.3172 9968018.6342
C1	1+426.143 488980.7292 9968167.8084	1+436.143 488860.7292 8868167.6584 EC (espira)=PC(circular)	1+471.042 499027.4488 9968178.1193	1+489.750 488867.6855 9968222.4265 CE (espira)=PT(circular)	1+488.750 488867.6855 9968222.4265
C2	1+842.824 488942.4883 9968520.8897	1+842.824 488942.4883 8868520.8897 EC (espira)=PC(circular)	1+876.113 488881.7382 9968848.3263	1+945.247 488019.0852 9968520.6514 CE (espira)=PT(circular)	1+945.247 499019.0852 9968520.6514
C3	2+405.621 499228.8320 9968160.8596	2+405.621 499228.8320 8868160.8556 EC (espira)=PC(circular)	2+421.879 488250.0000 8868147.0000	2+436.777 488232.1582 8868130.2571 CE (espira)=PT(circular)	2+436.777 488232.1582 8868130.2571
C4	2+944.484 488482.3584 9968212.3261	2+944.484 488482.3584 9968212.3261 EC (espira)=PC(circular)	2+996.346 488460.0000 8868248.0000	3+048.115 488483.7513 9968287.3785 CE (espira)=PT(circular)	3+048.115 488483.7513 9968287.3785
C5	3+863.341 500140.8239 9968678.8138	3+863.341 500140.8239 9968678.8128 EC (espira)=PC(circular)	3+878.876 500154.0000 8868687.0000	3+884.395 500188.1880 9968893.3718 CE (espira)=PT(circular)	3+884.395 500188.1880 9968893.3718
C6	3+812.171 499820.5678 9968582.1718	3+812.171 499820.5678 9968582.1716 EC (espira)=PC(circular)	3+845.785 488956.0000 8868580.0000	3+878.905 499884.1964 9968581.5667 CE (espira)=PT(circular)	3+878.905 499884.1964 9968581.5667
C7	2+580.483 499172.1344 9968023.3048	2+580.483 499172.1344 8868023.3048 EC (espira)=PC(circular)	2+840.778 489165.0112 9967943.3380	2+847.013 488231.8267 9967887.8470 CE (espira)=PT(circular)	2+847.013 488231.8267 9967887.8470

Ilustración 58. Tabla de Geometría de Alineamiento Horizontal. Fuente: Acuña Xavier

CANTIDADES CARPETA ASFÁLTICA			
Abscisa	Área	Volumen	Volumen Acumulado
0+000.00	0.16	0.00	0.00
0+020.00	0.16	3.20	3.20
0+040.00	0.16	3.20	6.40
0+060.00	0.16	3.20	9.60
0+080.00	0.16	3.20	12.80
0+100.00	0.16	3.20	16.00
0+120.00	0.16	3.20	19.20
0+140.00	0.16	3.20	22.40
0+160.00	0.16	3.20	25.60
0+180.00	0.16	3.20	28.80
0+200.00	0.16	3.20	32.00
0+220.00	0.16	3.20	35.20
0+240.00	0.16	3.20	38.40
0+260.00	0.16	3.20	41.60
0+280.00	0.16	3.20	44.80
0+300.00	0.16	3.20	48.00
0+320.00	0.16	3.20	51.20
0+340.00	0.16	3.20	54.40
0+360.00	0.16	3.20	57.60
0+380.00	0.16	3.20	60.80

Ilustración 59. Tabla de Volúmenes de carpeta asfáltica en progresiva. Fuente: Acuña Xavier

5.3.1.3 Etiquetamiento de Objetos

El etiquetamiento se refiere al añadir de manera gráfica texto o símbolos que definan el objeto o elemento geométrico con el fin de comunicar las características del mismo.

Las etiquetas son generadas de acuerdo con el estilo gráfico que el usuario aplique sobre los datos, no solamente en formato sino también en cantidad de información.

Las etiquetas son necesarias previo a la generación de planos, para que los consumidores de esta información puedan entenderlos.

El buen uso de una herramienta BIM, permite que los datos de las etiquetas sean extraídos del elemento por lo tanto la información es consistente, eliminando de esta manera el error que pudiera causarse por la falta de actualización de etiquetas por cambios en los elementos del diseño.

Las etiquetas a aplicarse en proyectos de infraestructura vial:

- Cotas en curvas de nivel
- Características geométricas de Curvas Horizontales / Verticales
- Abscisado de alineamiento
- Guitarra para Perfil de Diseño Vertical
- Coordenadas en puntos relevantes

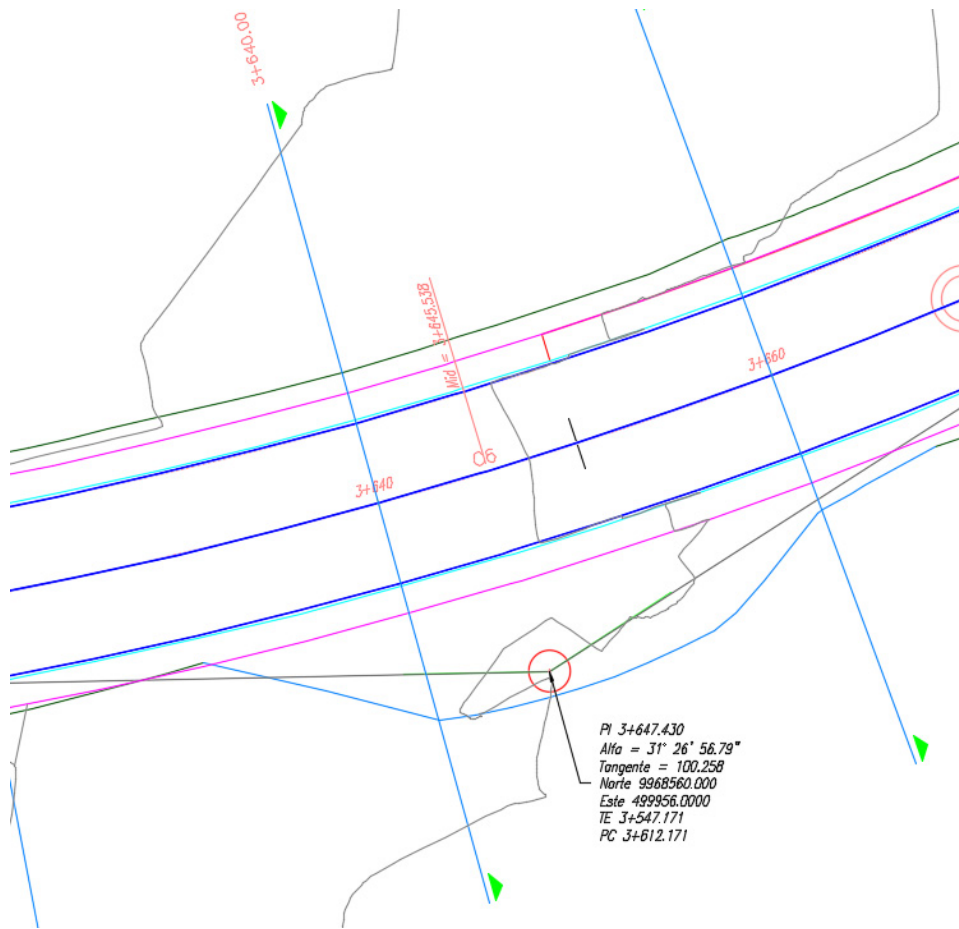


Ilustración 60. Etiqueta de PI, con caracterización geométrica y geográfica. Fuente: Acuña Xavier

5.4 Conformación de planos

En todo proyecto de ingeniería son indispensable los planos de detalle, la importancia de la información a comunicar en ellos requiere que los dibujos sean consistentes y que estén debidamente

enriquecidos con toda la información, para que el consumidor de la documentación entienda el proyecto y que en los siguientes ciclos del proyecto la información pueda ser aprovechada.

5.4.1.1 Generación de Planos

Bajo la metodología BIM, la elaboración de planos se define como la representación automatizada del modelo de acuerdo a la posición e información requerida por el consumidor. Para la elaboración de planos es recomendable contar con un cajetín o recuadro con un formato establecido, que tenga en su configuración los atributos que permitan insertar datos propios del proyecto en la generación automática de los planos, como por ejemplo, que el cajetín contenga un campo de “Titulo de Plano” configurado de tal manera que el atributo de título plano esté conectado a la propiedad “Plan Name” del archivo y cuando se genere el plano cada lámina obtendrá el nombre de acuerdo con el nombre asignado en el archivo del modelo.

En la generación de planos se recomienda seguir el siguiente flujo de trabajo:

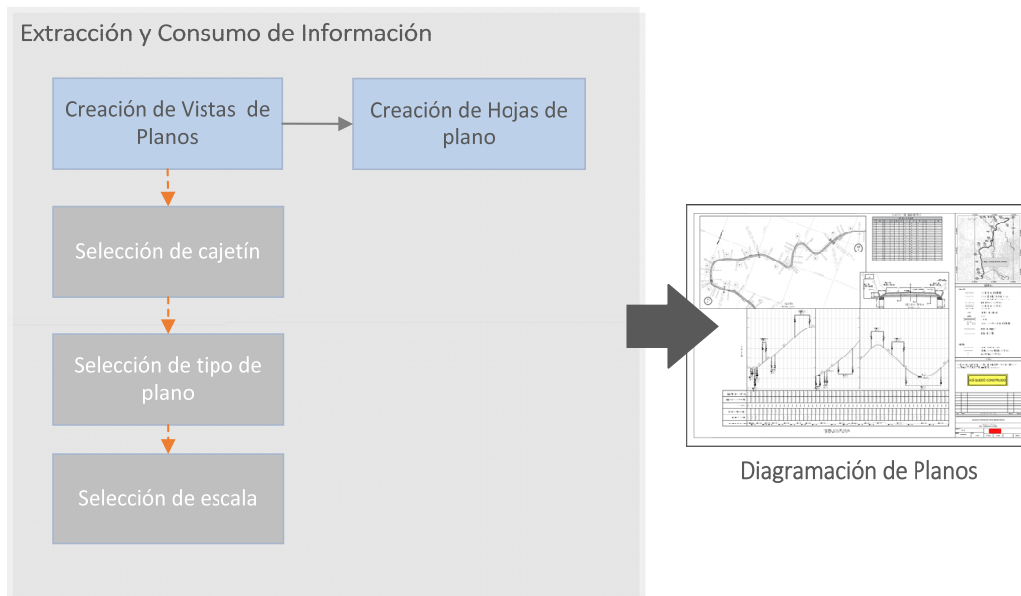


Ilustración 61. Flujo de trabajo para creación de planos en AutoCAD Civil 3D. Fuente: Acuña Xavier

Tras la selección del cajetín paramétrico, se debe establecer qué tipo de plano es el que se quiere obtener plano de planta y perfil, solo planta, solo perfil, secciones. Seguidamente es indispensable

señalar la escala, esto determinará el factor de escala de lectura de caracteres que el software aplicará al texto de manera que sea legible y visualmente cómodo.

Después de tal configuración se han creado cuadros de vista que abarcan el espacio posible de acuerdo a la escala y tamaño de hoja que tenga el cajetín. Estos cuadros de vista muestran el área que estará en cada lámina.

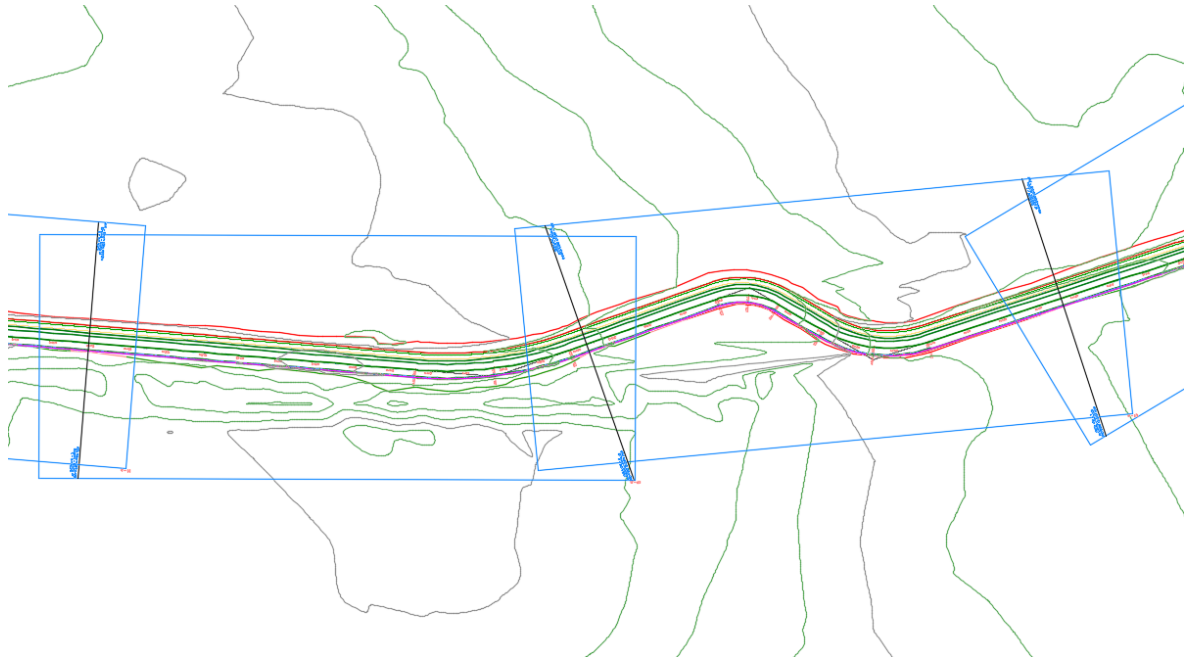


Ilustración 62. Cuadros de Vista para lamina tamaño A1, escala 1:500. Fuente: Acuña Xavier

Una vez creados los cuadros de vista se procede a la creación de hojas de plano, que consiste en un proceso automático del software donde ensambla una lámina en el cajetín seleccionado. Obteniéndose como producto un plano con las características aplicadas, sin embargo es posible diagramar los planos como también editar, ajustar o insertar información adicional previamente a su impresión o exportación a un medio digital.

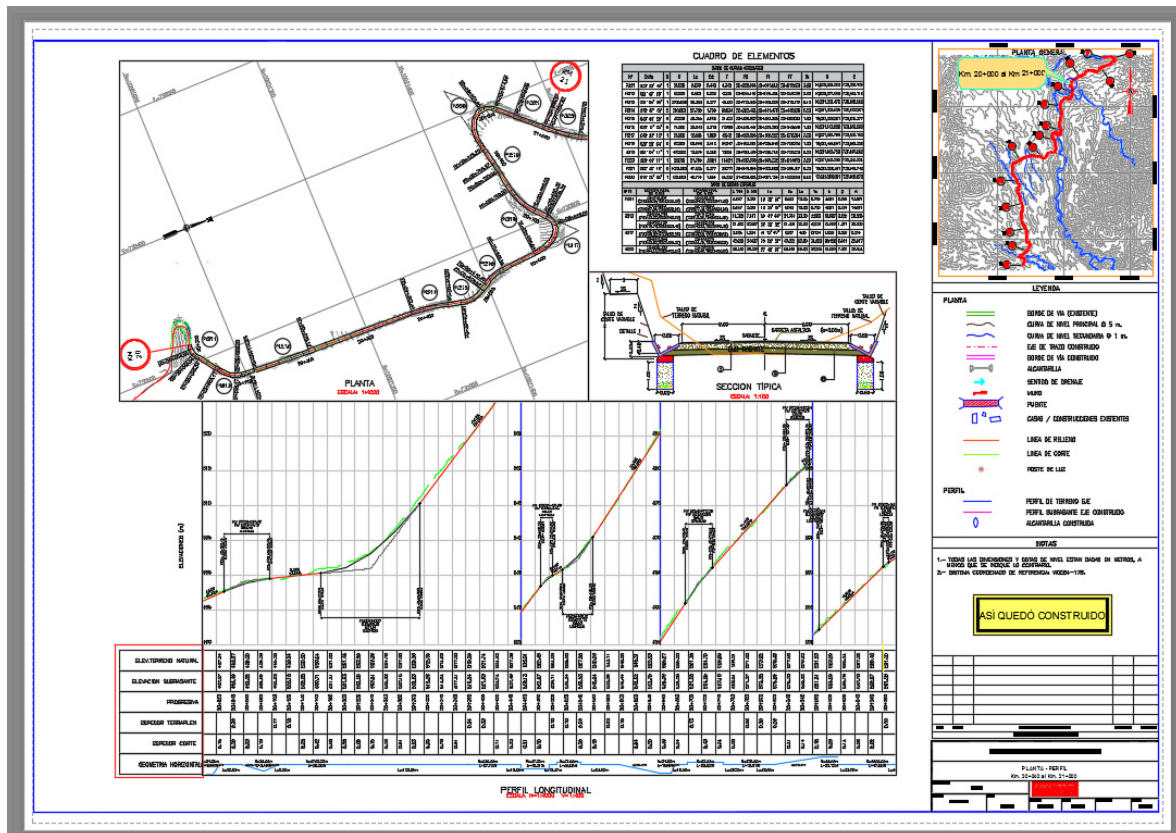


Ilustración 63. Presentación de Plano Planta - Perfil en formato de cajetín parametrizado. Fuente: Acuña Xavier

Los planos resultantes del diseño, pueden ser complementados por isometrías u otras perspectivas gráficas del modelo en tres dimensiones.

5.4.1.2 Diagramación de planos

La diagramación de planos es la etapa en la cual se ajusta cada lámina del proyecto para su publicación final, esta etapa es necesaria cuando se requiere añadir elementos externos al modelo tales como sellos institucionales, gráficos anexos, leyendas, notas explicativas, etc. Para este propósito los planos pueden ser exportados a formato .dwg, convirtiéndose el modelo en vectores para facilitar la edición del plano.

En esta etapa de la aplicación de implementación BIM existe el riesgo de perder la vinculación entre elementos si el modelo es transferido u exportado a otra plataforma.

5.5 Gestión y Planificación

De acuerdo a (Hardin, 2015), la implementación del concepto BIM puede extenderse en todos los ciclos que un proyecto de ingeniería atraviese, sin embargo es necesario indicar que no todos los proyectos tienen como alcance definitivo el desarrollo integral de la infraestructura desde el diseño conceptual hasta la operación y mantenimiento; por ello estas últimas etapas pudieran verse excluidas en la aplicación de modelos BIM.

Cuando los proyectos involucran etapas posteriores al diseño geométrico de la vía se involucran diferentes áreas de la ingeniería como la planificación y gestión para la futura etapa constructiva del proyecto, la cual permitirá cuantificar tiempo y recursos.

El uso de procesos BIM es compatible con la gestión de proyectos integrado el modelo digital con las actividades que se requieren ejecutar para la construcción del proyecto. Esta programación requiere la elaboración de cronogramas, representadas como por ejemplo en diagramas de Gantt para caracterizar los recursos asociados a cada elemento modelado. Este esquema permite planificar y llevar cabo controles de avance de proyectos.

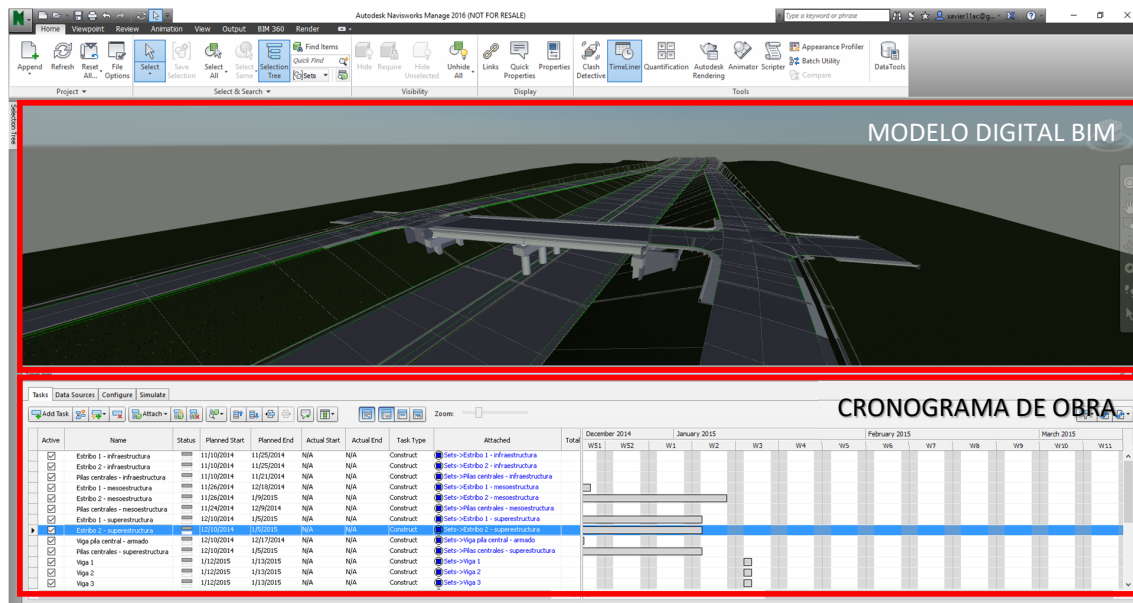


Ilustración 64. Entorno de Autodesk Navisworks para planificación y control de proyectos. Fuente: Acuña Xavier

El utilitario BIM que permite integrar la geometría con herramientas de gestión de proyectos es Autodesk Navisworks, esta herramienta informática reconoce los formatos de programas de planificación tales como Microsoft Project, Primavera, e incluso libros de cálculo de Microsoft Excel.

Las actividades programadas deberán ser vinculadas con los elementos modelados de manera que la geometría se enriquece de mayor información dando lugar la caracterización de las dimensiones tiempo y costo.

Cuando han sido vinculadas las actividades necesarias para la ejecución de los elementos del proyecto, es posible realizar una simulación de avance de obra, donde se puede observar la simulación constructiva de acuerdo a la planificación como se muestra en la ilustración 65.

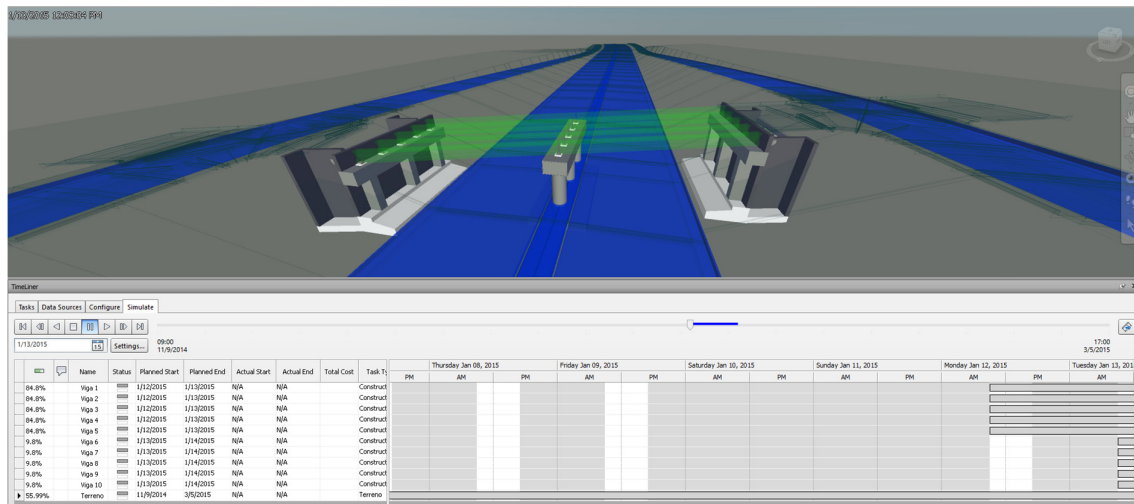


Ilustración 65. Simulación cronológica de ejecución de estructuras en proyecto vial. Fuente: Acuña Xavier

El modelo BIM mantiene a lo largo de todo su ciclo sus características de diseño, lo cual permite conocer las propiedades geométricas, mecánicas e informativas de cada elemento en cualquier etapa, esto significa que al programar actividades de construcción se puede realizar ajustes de tiempo de acuerdo al rendimiento versus las cantidades que indica el modelo.

La finalidad de obtener la integración y simulación bajo procesos BIM es detectar secuencias constructivas y posibles optimizaciones de recursos, inconsistencias en la planeación e incluso desarrollar una planificación financiera de acuerdo al avance de obra. También puede ser usado con fines de control de programaciones y hasta comunicativos para explicar fases constructivas.

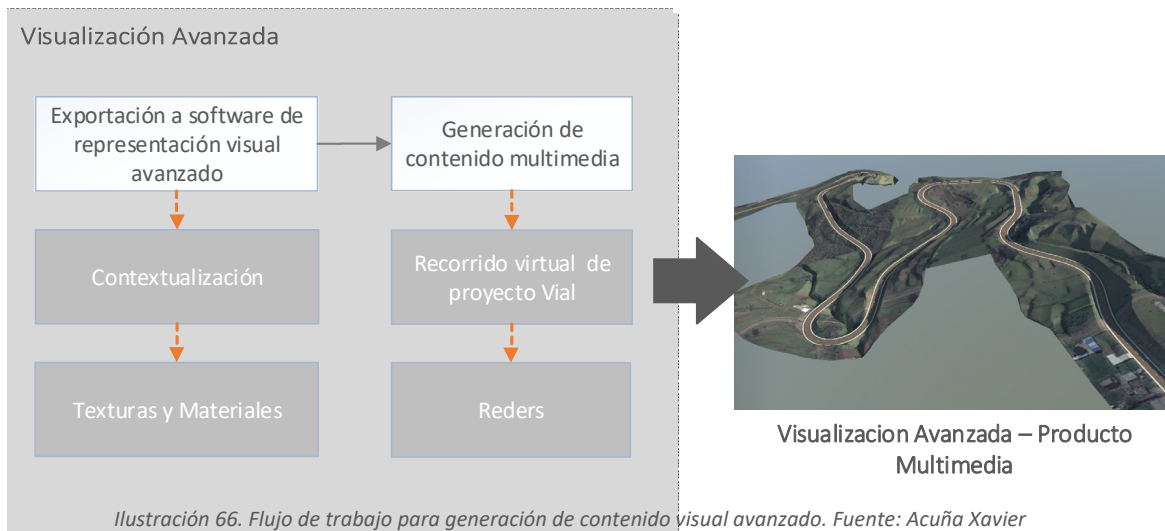
5.6 Visualización Avanzada

En un proyecto de infraestructura vial, las modificaciones al relieve terrestre suelen ser un punto de conflicto social por la incertidumbre de la nueva conformación del terreno una vez ejecutado el proyecto, por esta razón es importante el aprovechamiento del modelo BIM, ya que su representación en tres dimensiones permite comunicar el prototipo virtual del proyecto de manera comprensible, incluso realizando simulaciones gráficas de su vinculación con el entorno.

En el ciclo del proyecto, esta etapa permite conceptualizar el modelo de manera gráfica simulando las condiciones reales con el propósito de comunicar el proyecto entre colaboradores para un mayor entendimiento del proyecto, además la proyección de la apariencia del diseño propuesto.

Aplicar metodología BIM permite también que, los proyectos propuestos sean más atractivos en su etapa de oferta, ya que acercan a los contratantes de proyectos a comprender las propuestas

Para el desarrollo de la visualización avanzada bajo metodología BIM, se propone el siguiente flujograma:



5.6.1 Exportación de modelo técnico a Herramienta de Visualización

El modelo obtenido del proyecto en la herramienta de diseño de detalle, normalmente es exportado a herramientas de visualización y procesamiento multimedia para obtener contenido de alta calidad con productos visuales realistas, alguna de ellas no son compatibles con los formatos y procesos BIM,

por ello pueden requerir transformación de geometría, este proceso puede significar la pérdida de información ya que solamente será reconocida la geometría mas no la información de cada elemento.

Autodesk Infracore 360 es una herramienta BIM compatible con Autodesk AutoCAD Civil 3D, que permite importar el modelo BIM reconociendo los campos informativos facilitando la optimización gráfica, de tal manera que reconoce los elementos viales para poder aplicar sobre ellos materiales y texturas.

El formato compatible entre estos utilitarios BIM son los ficheros de formato .IMX.

5.6.1.1 Contextualización

La contextualización del entorno donde se implanta el proyecto se basa en guardar las características propias del sitio del proyecto, para este fin, se sugiere colocar sólidos que representen el mobiliario urbano, disposición final del terreno (MDT obtenido de diseño), foto satelital con la escala correspondiente del área del proyecto, etc.

Esta contextualización permitirá identificar puntos importantes del proyecto.

Adicionalmente se pueden colocar elementos como vegetación, edificaciones en detalle conceptual, vehículos, u otros recursos digitales compatibles con la herramienta BIM.



Ilustración 67. Contextualización con ortofoto satelital georreferenciada. Fuente: Acuña Xavier

5.6.1.2 *Texturas y materiales*

En este ciclo de la representación visual corresponde la caracterización de los materiales de los elementos insertados, es decir la aplicación de colores y texturas a los elementos insertados en el escenario del proyecto. Estos materiales pueden ser creados a partir del editor de materiales de la herramienta o importados de bibliotecas con formatos compatibles.

5.6.2 Generación de Contenido Multimedia

El ciclo de representación visual concluye con la generación de un producto multimedia que destaque el proyecto y comunique las características del proyecto vial. Este contenido multimedia pudiera ser imágenes obtenidas a través de procesos de cálculo de iluminación (render) o una simulación recorrida del escenario extraído en un video. Esta información multimedia permite socializar el proyecto aprovechando la información generada desde el diseño conceptual hasta su diseño definitivo permitiendo así mantener consistencia entre los diseños técnicos y la maqueta virtual cuyos fines son comunicativos.

Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- La complejidad de las soluciones viales que requieren las ciudades deben ser desarrolladas bajo esquemas metódicos que permitan encontrar soluciones eficientes.
- La tecnología aplicada sistemáticamente bajo parámetros y orden lógico permiten obtener proyectos cuyo diseño ha sido ajustado hasta conformarse en el óptimo posible.
- La implementación de una metodología basada en modelos digitales BIM, permite anticipar de manera muy cercana las condiciones finales de un proyecto, simular e identificar posibles conflictos en su contexto.
- Restringir la geometría de un proyecto vial con normativa que esté vinculada a un modelo digital, conduce a los profesionales diseñadores a cumplir los parámetros requeridos por normativa con certeza.
- Modificaciones o ajuste al diseño en un modelo BIM, reduce el tiempo de re-trabajo debido a la conexión dinámica parametrizada entre dibujo y modelo eliminando los errores por falta de actualización de cambios.
- Cuantificar recursos de tiempo y costos partiendo de la geometría obtenida con precisión reduce el error en estimación de tiempo, permitiendo el aprovechamiento de recursos o aumento de rendimiento de producción.
- Las herramientas informáticas basada en metodología BIM son recursos que pueden ser usados en beneficio de la ingeniería, sin embargo es imprescindible la aplicación del criterio de un profesional que interprete los resultados e información obtenida para emplear la solución adecuada al proyecto en curso.
- Resulta más fácil e infinitamente menos costoso aplicar mejoras, remediar equivocaciones o demoras en etapas de estudios o diseños, antes que corregir demoras o costos en la etapa de

construcción y operación de un proyecto, de aquí la gran ventaja de desarrollar o implementar metodologías BIM en los procesos que comprenden el ciclo de un proyecto vial.

- La selección del equipo de trabajo debe comprender a profesionales del campo de la ingeniería, especialistas en la comprensión de flujos de trabajo y manejo de herramientas BIM. La capacitación del equipo de trabajo de ser permanente debido al constante desarrollo y actualización de las herramientas BIM.

6.2 Recomendaciones

- Al participar en un proyecto de ingeniería es fundamental evaluar la particularidad del mismo e identificar si es aplicable la estructura planteada en este trabajo; no todos los proyectos necesitaran atravesar los ciclos de trabajos propuestos.
- La elección del software o plataformas BIM a ser utilizadas en el desarrollo del proyecto, deben ser evaluadas técnicamente ya que no todas las herramientas BIM disponibles permiten obtener simulación, reportes de diseño u análisis de los modelos digitales. La compatibilidad entre programas debe ser analizada según el alcance y los ciclos que puede atravesar el proyecto vial.
- En el desarrollo profesional de los ingenieros es importante incluir la capacitación para el uso de tecnologías que permitan maximizar el aprovechamiento de los conocimientos transmitidos a lo largo de la carrera, de tal manera que se propone incorporar en la materia de Topografía II y Trazados de Carreteras el uso de herramientas de modelación digital de terrenos y diseño vial, así como software BIM en la materia de Planificación II: Planificación de Obras, para control y gestión de proyectos; dotando al profesional el conocimiento y herramientas adecuadas para el desarrollo integral de un proyecto de infraestructura vial.
- Para la implementación de una metodología BIM en una empresa dedicada a diseño y construcción de proyectos de infraestructura vial se requiere capacitación técnica del software, además se aconseja el uso acompañado o guiado por especialistas certificados para optimizar el tiempo de aprendizaje.

Bibliografía

- Acciona Construcción. (2016). *www.acciona-construccion.com*. Obtenido de <http://www.acciona-construccion.com/es/innovacion/bim/>
- Autodesk Inc. (17 de Febrero de 2016). *https://knowledge.autodesk.com*. Obtenido de <https://knowledge.autodesk.com: https://knowledge.autodesk.com/support/infraworks-360/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/InfraWorks-UserHelp/files/GUID-3B510DC4-54DF-40BC-B997-480433562B53-htm.html>
- Autodesk Inc. (16 de Noviembre de 2014). *Autodesk Knowledge Network*. Obtenido de <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/video/youtube/watch-v-3WniV4qMR4Y.html>
- Autodesk Inc. (2015). Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® 2015 Help. Estados Unidos.
- B.A., Yale University. (2016). *Yale School of Architecture*. Obtenido de <http://architecture.yale.edu/faculty/phillip-g-bernstein>
- Cabinet Office and Infrastructure and Projects Authority. (2016, Marzo 23). *Government Construction Strategy: 2016 - 2020*. Retrieved from <https://www.gov.uk/government/publications/government-construction-strategy-2016-2020>
- Consejo Metropolitano de Quito. (2007). *Ordenanza Metropolitana No. 0225*. Quito.
- Edwin Fernando Blandín Arévalo. (2014). *Diseño Geométrico de un tramo de la Carretera Belen-La Voladora, Ubicada en canton Nabón en la provincia del Azuay, Aplicando el Programa Autocad Civil 3D 2014*. Cuenca.
- Government, H. (Febrero de 2015). *Digital Built Britain: Level 3 Building Information Modelling - Strategic Plan*. UK. Obtenido de https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/410096/bis-15-155-digital-built-britain-level-3-strategy.pdf
- Hardin, B. (2015). *BIM and Construction Management* (Segunda ed.). Indianapolis, Indiana, Estados Unidos: Sybex.
- MacLeamy, P. (Agosto de 2004). *Code BIM*. Obtenido de <http://codebim.com/wp-content/uploads/2013/06/CurtCollaboration.pdf>

Mataix Sanjuán, J. (2012). *Prácticas de Topografía I: Superficies TIN y Obras Lineales*. Granada: Editorial Universidad de Granada.

McGraw Hill Construcción. (2013). *The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets*.
Obtenido de <https://synchroltd.com/newsletters/Business%20Value%20Of%20BIM%20In%20Global%20Markets%202014.pdf>

Ministerio de Obras Públicas. (2003). *Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003*. Quito, Ecuador.

Suchocki, M. (2014). *BIM for Infrastructure: Is Civil engineering facing an age of extinction?* Obtenido de BIM for Infrastructure: Is Civil engineering facing an age of extinction?: http://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/pdf/age_of_extinction.pdf