



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM”**

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

P.I.C. KEVIN RICARDO HERRERA WENCES

ASESOR:

DR. RAFAEL SOTO ESPITIA

Morelia, Michoacán. Septiembre 2021



Índice General

Contenido

Índice General

Índice de Tablas

Índice de Figuras

Agradecimientos

Resumen

Abstract

1. Introducción	1
1.1 Objetivo General.....	5
1.2 Objetivos Particulares.....	5
1.3 Hipótesis.....	5
1.4 Justificación	5
1.5 Contenido	7
Capítulo I. Introducción	7
Capítulo II. Estado del arte.....	7
Capítulo III. Marco teórico	7
Capítulo IV. Metodología.....	7
Capítulo V. Análisis de resultados.....	7
Capítulo VI. Conclusiones.....	7
2. Estado del Arte.....	8
3. Marco Teórico	14



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM



4. Metodología	27
4.1 Proyecto ejecutivo	28
4.1.1 Recolección de datos Topográficos.....	28
4.1.2 Alineamiento Horizontal.....	31
4.1.3 Secciones Transversales.....	35
4.1.4 Alineamiento Vertical.....	38
4.1.5 Aplicación BIM.....	41
5. Análisis de resultados	54
6. Conclusiones.....	66
Bibliografía	67
Anexos	69



Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación Geométrica y características de las carreteras	11
Tabla 2 La importancia del BIM para el Diseño, construcción y mantenimiento de las carreteras Fuente: Zuh, 2017	25
Tabla 3 Volumetrías resultado del movimiento de tierras	Fuente:
Propia.....	61
Tabla 4 Volumetrías resultado de las capas de pavimento	Fuente: Propia.....
Tabla 5 Volúmenes máximos de las terracerías	Fuente: Propia
Tabla 6 Volúmenes máximos producto de las capas del pavimento	Fuente: Propia
.....	63
Tabla 7 Resultado del Diagrama de Masas	Fuente: Propia
	64



Índice de Figuras

Figura 1 Objeto modelado en Sketchpad III	Fuente: Johnson, 1961.....	2
Figura 2 Elementos de la curva circular simple.	Fuente: SCT, 2018... ..	15
Figura 3 Elementos de la curva circular compuesta	Fuente: SCT, 2018.....	17
Figura 4 Elementos de la curva circular con espirales de transición.	Fuente: SCT, 2018	18
Figura 5 Elementos de la curva vertical.	Fuente: SCT, 2018	19
Figura 6 Sección de carretera de cuatro carriles, dos carriles por sentido, dividida por la barrera central de concreto.	Fuente: SCT, 2018	21
Figura 7 Sección de carretera de cuatro carriles, dos por sentido, en cuerpos separados (A4S)	Fuente: SCT, 2018	21
Figura 8 Sección de carretera de dos carriles, uno por sentido (A2).	Fuente: SCT, 2018.....	22
Figura 9 Transición de bombeo en tangente a sobreelevación en curva.	Fuente: SCT, 2018.....	23
Figura 10 La importancia del BIM para el Diseño, construcción y mantenimiento de las carreteras;	Fuente: Zuh, 2017	25
Figura 11 Ciclo de vida del proyecto;	Fuente: Miller&Co, 2020.....	26
Figura 12 Metodología a seguir para el Proyecto Geométrico de carreteras	Fuente: Propia.....	27
Figura 13 Levantamiento topográfico realizado con Escáner Laser (LiDAR, Light Detetction and Ranging, Detección y Medición de Luz).	Fuente: Propia.....	28
Figura 14 Zona Geográfica referenciada en el programa ISTRAM ISPOL	Fuente: Propia.....	29



Figura 15 Módulo "Editor de Cartografía"	Fuente: Propia.....	30
Figura 16 Modelo de Terreno LiDAR con curvas de Nivel a cada metro y ortofoto de referencia adicional. Fuente: Propia.....		30
Figura 17 Módulo de Obra Lineal	Fuente: Propia	31
Figura 18 Pestaña "General" con la Normativa Mexicana para el diseño de carreteras Fuente: Propia.....		32
Figura 19 Pestaña "Planta"	Fuente: Propia	33
Figura 20 Eje de carretera dibujada con Puntos de Inflexión. Fuente: Propia.....		34
Figura 21 Características básicas del Alineamiento Horizontal Fuente: Propia.....		35
Figura 22 Secciones transversales obtenidas con la Superficie seleccionada (LiDAR). Fuente: Propia.....		36
Figura 23 Comando para generar la rotulación de cadenamientos. Fuente: Propia.....		37
Figura 24 Comando para generar las secciones transversales Fuente: Propia.....		38
Figura 25 Pestaña de Rasantes con el Terreno sobre el que se dibujará el Alineamiento Vertical. Fuente: Propia		39
Figura 26 Cálculo de Alineamiento Vertical	Fuente: Propia	40
Figura 27 Características básicas del Alineamiento Vertical Fuente: Propia.....		41
Figura 28 Pestaña "Alzado" del programa ISTRAM Fuente: Propia.....		42



Figura 29 Secciones tipo de la capa "Pavimento"	
Fuente: Propia.....	42
Figura 30 Zona de cálculo	Fuente: Propia..... 43
Figura 31 Características de los cortes en Suelo Blando	
Fuente: Propia.....	44
Figura 32 Características de los cortes en el Estrato de Roca	
Fuente: Propia.....	44
Figura 33 Características de la Cuneta	
Fuente: Propia.....	45
Figura 34 Consideraciones para la Cuña de Sobre Ancho	
Fuente: Propia.....	46
Figura 35 Propiedades del Talud del Terraplén	Fuente:
Propia.....	46
Figura 36 Tabla de Sobre Anchos	
Fuente: Propia.....	47
Figura 37 Tabla de Peraltes (Sobre elevación)	
Fuente: Propia.....	48
Figura 38 Espesores de las capas inferiores a la Subrasante (Suelo Seleccionado).	
Fuente: Propia.....	49
Figura 39 Pestaña de los Pavimentos (Paquete de Firmes).	
Fuente: Propia.....	50
Figura 40 Cálculo del Proyecto Geométrico	Fuente:
Propia.....	51
Figura 41 Cálculo del Proyecto con sus secciones de construcción.	
Fuente: Propia.....	52
Figura 42 Generador de Proyecto con las propiedades de la carretera	
Fuente: Propia.....	52



Figura 43 Render de Proyecto con los elementos que conforma una carretera	
Fuente: Propia.....	53
Figura 44 Capas del Pavimento visualizadas en el Render	
Fuente: Propia.....	53
Figura 45 Localización geográfica de la zona de estudio	Fuente: Propia 54
Figura 46 Levantamiento topográfico con Escaner Laser	Fuente: Propia 55
Figura 47 Curvas de Nivel a cada metro y Ortofoto de Google Earth	Fuente: Propia 55
Figura 48 Trazo del Alineamiento Horizontal	Fuente; Propia 56
Figura 49 Características del Alineamiento Horizontal	Fuente: Propia 56
Figura 50 Secciones transversales	Fuente: Propia 57
Figura 51 Alineamiento Vertical del tramo en estudio	Fuente: Propia 58
Figura 52 Datos obtenidos del Diseño de Pavimentos	Fuente: Propia 59
Figura 53 Profundidades de los estratos del suelo.	Fuente: Propia 59
Figura 54 Talud del Corte en la capa de Suelo Blando	Fuente: Propia..... 60
Figura 55 Características del Talud del corte debajo de la capa de roca	
Fuente: Propia.....	60
Figura 56 Características del Talud del Terraplén.	Fuente: Propia 61
Figura 57 Diagrama de Masas	Fuente: Propia..... 64
Figura 58 Planta Kilómetro generada por ISTRAM	Fuente: Propia..... 65



Agradecimientos

A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional, sus aportes invaluable, su tiempo los cuales me servirán toda la vida.

A mi novia, Yazmín, por su ayuda en mi crecimiento, estando conmigo en los buenos momentos, en los malos y en los peores.

A mis amigos Pavel, Juan, Andrés, Mario, Indira, Alejandro, Daniela, Irving, Yocelín, Oscar, David, Fernando, Ronaldo, Enrique y Manuel, que de ellos aprendí lo que significa la amistad, apoyándome día a día para mejorar como estudiante y persona.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por haberme aceptado desde la Preparatoria, las oportunidades brindadas, todo el conocimiento y experiencias, sus docentes que fueron fundamentales para mi desarrollo, gracias a los cuales he llegado hasta aquí.

A mi asesor de tesis el Dr. Rafael Soto, quien es mi mentor y amigo, por sus enseñanzas, su aprendizaje, su vasto conocimiento aportado a mi carrera y persona.

A Buhodra ingeniería, quienes me brindaron facilidades para el software utilizado en la presente investigación, específicamente al Ing. Alberto Pineda, por aportarme sus experiencias y discernimiento.

A ustedes, gracias.



Resumen

El proyecto ejecutivo es, como su nombre lo dice, el conjunto de documentos utilizados para “ejecutar” o llevar a cabo un proceso o varios procesos, por lo anterior, es indispensable el contar con la cantidad necesaria de documentos para facilitar la ejecución de dichos procedimientos, el modelado digital de la infraestructura carretera, que en un principio agilizaba el dibujo y cálculo de los activos carreteros, con el paso del tiempo y la evolución de las necesidades, se vuelve una herramienta indispensable.

La metodología propuesta en la presente investigación, desarrolla la fase del proyecto geométrico carretero, utilizando un software de modelado BIM, el cual es solo la parte esquemática de un proyecto ejecutivo realizado en BIM, es decir, se aplica únicamente la fase de modelado dentro de la metodología BIM, con el objetivo de disminuir los tiempos en el trazo y detallado del alineamiento horizontal, vertical, secciones transversales de construcción, movimiento de tierras, volúmenes de la capa subrasante y del pavimento.

Para la presente investigación nuestra zona de estudio es la carretera federal con ruta 95D “México – Acapulco”, tramo “Cuernavaca – Acapulco”, del km 333+780 al km 337+060, en donde se trabajaron 169,665 puntos topográficos, producto del levantamiento realizado con un Escáner Laser, se trazaron curvas horizontales, perfiles transversales encontrados a cada 20 metros, curvas verticales con una pendiente máxima de 6.09%, Diagrama de Masas, Plantas Kilometro generadas automáticamente por el programa, todo esto basado tanto en la Norma de Servicios Técnicos para Proyecto Geométrico así como en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes.

Palabras clave: BIM, MIC, Proyecto Geométrico, Proyecto Ejecutivo



Abstract

The executive project is, as it says, the set of documents used to "execute" or carry out a process or several processes, therefore, it is essential to have the necessary amount of documents to facilitate the execution of said procedures, the digital modeling of the road infrastructure, which initially streamlined the drawing and calculation of road assets, as time goes by and the evolution of needs, becomes an indispensable tool.

The methodology proposed in this research develops the phase of the geometric design in a road project, using a BIM software, which is only the schematic part of an executive project carried out in BIM, in other words, only the modeling phase is applied within the BIM methodology, with the aim of reducing the times in the drawing and detailing of the horizontal and vertical alignment, cross-sections, earthworks, volumes of the subgrade layer and the pavement sheet.

For the present investigation, our study area is the federal highway 95D "Mexico - Acapulco", section "Cuernavaca - Acapulco", from km 333 + 780 to km 337 + 060, where 169,665 topographic points were worked, as a result of the survey carried out with a Laser Scanner, horizontal curves were drawn, cross profiles found every 20 meters, vertical curves with a maximum slope of 6.09%, Mass Diagram, Blueprints every Kilometer automatically generated by the program, all this based on both the Technical Services Standard for geometric design as well as in the Geometric Design Manual for Highways from the Secretary of Communications and Transportation.

Keywords: BIM, MIC, Geometric design, Executive Project.



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM





1. Introducción

Desde la antigüedad, los caminos han sido un indicador de la existencia de una civilización avanzada, las primeras evidencias fueron con los egipcios, ellos los utilizaban para transportar alimentos, así como para moverse entre los centros de población que existían (Tino, 2007). Los romanos le dieron un uso militar, expandir su imperio era su objetivo y se dieron cuenta que con una movilidad rápida podrían lograrlo.

La ingeniería carretera ha evolucionado eventualmente conforme los avances tecnológicos aparecen. Anteriormente, los caminos estaban compuestos por dos o más capas de roca y una superficie lisa y dura. Los caminos son considerados como activos de infraestructura de acuerdo al Fondo Monetario Internacional (FMI), además de estar formada por la propia carretera, lo conforman “Sub-Activos”, como lo son las obras de drenaje menor, las obras de drenaje mayor, obras de drenaje complementario, los taludes, el señalamiento horizontal y vertical, los dispositivos de seguridad vial, el derecho de vía etc. Los cuales deben de preservarse y mantenerse en buen estado, es decir, actualmente, se tiene una gran cantidad de elementos conformando un camino, el cual debe estar bajo cuidado rutinario para conservarlo. Todos los elementos que conforman una carretera comienzan a existir, primeramente, con un modelo a escala donde se plantea, esquematiza y diseña, debiendo cumplir con la normativa dictada por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), en alguno de sus libros que forman parte de la Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT-SCT) u otros aplicables.

El Proyecto Geométrico forma parte de estos esquemas, es de hecho, la geometría general de un camino, el cual lo conforma un conjunto de trabajos, como los estudios de campo, selección de ruta, parámetros de diseño, alineamiento vertical y horizontal, así como los movimientos de tierras para realizar la construcción, comúnmente conocidos como “Curva Masa”. El Proyecto Geométrico se encuentra caracterizado por la velocidad de proyecto, distancias de visibilidad (de parada, de rebase, de frenado), grado de



curvatura, pendientes máximas, sobreelevaciones, entre otros, son parámetros de diseño y dependen directamente en la clasificación del camino.

Actualmente, las exigencias que demandan los grandes proyectos de infraestructura, requieren más que nunca optimizar costos y recursos. Por el control de los mismos, se convierte en una actividad toral de la gerencia de proyectos, una herramienta que ha ido poco a poco tomando importancia en la gerencia de proyectos carreteros es la Metodología “Modelado de información para la construcción (MIC)”, “Building Information Modelling (BIM)”.

Los inicios del BIM remontan a la década de los sesentas, cuando Iván E. Sutherland creó una interfaz gráfica para diseñar objetos en un ordenador, ahí nació la famosa “Sketchpad”, una herramienta de diseño asistido por computadora (CAD). Rudimentario, sin colores, únicamente líneas que seguían un lápiz de luz, y se unían con más líneas para formar figuras, figuras que se podían imprimir en papel. Se dieron cuenta que el mundo digital de la computadora, crearía una nueva forma de comunicación gráfica, simple de usar y tomando la ventaja del poder lógico que la computadora ofrece (Johnson, 1961). Desde estos años, estaban en busca de un software capaz de modelar

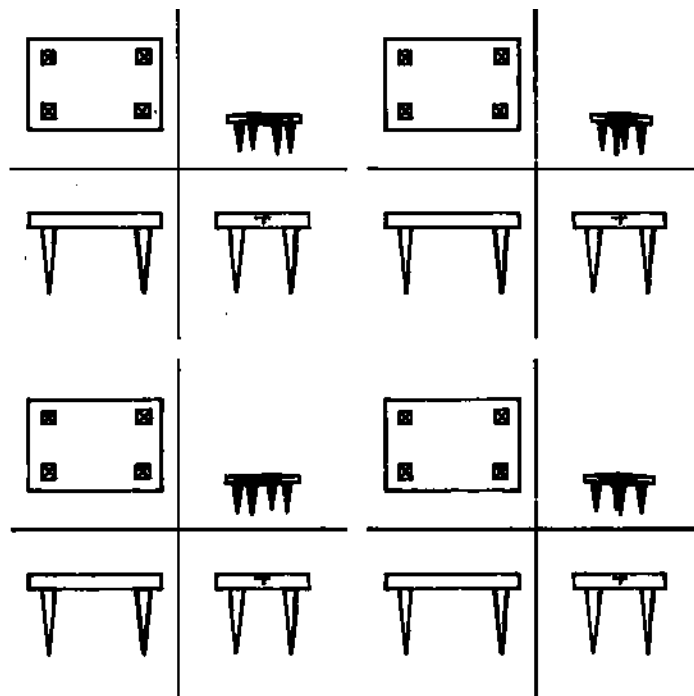


Figura 1 Objeto modelado en Sketchpad III

Fuente: Johnson, 1961



en tres dimensiones, vieron la posibilidad de utilizar el Osciloscopio de Sutherland para crear dicho software, fue hasta después de varias opciones, cuando se logró crear la Sketchpad III, una herramienta de modelado en tres dimensiones que permitiría ver con más detalle los objetos que en ella se modelan, uno de los primeros objetos modelados fue la Figura 1, el cual se podía rotar y visualizar los diferentes ángulos que se tienen. Esta examinación dinámica del objeto en varias perspectivas, de todos los ángulos, permite una asistencia de visualización invaluable, así fueron los inicios de BIM.

Fue hasta 1974, cuando Charles M. Eastman, desarrolló una investigación titulada “An Outline Of The Building Description System” (El esquema del Sistema de Descripción de Edificación o Sistema Descriptivo del Edificio), en el cual relata la utilización de los modelos en tres dimensiones, sus ventajas y las capacidades a futuro que se pueden obtener de ellos (Eastman, 1974). Posteriormente, en 1984, se creó la ISO STEP, la cual es una certificación dada por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) en donde se regula una forma estándar de compartir información y la integración de los sistemas automáticos industriales a través de modelos 3D, al mismo tiempo, se crea ARCHICAD, uno de los primeros programas en utilizar el modelado BIM aplicado a las edificaciones (Seys, 2018), a partir de ahí, empezaron a surgir otros creadores de plataformas que permiten el modelado BIM, como ISTRAM ISPOL, creado en 1991 como un programa para modelar obra lineal como carreteras, ferrocarriles, tuberías etc. (Buhodra, 2020). En 2002, Finlandia comienza los trabajos de adopción BIM. en 2003, la Administración de Servicios Generales (GSA) de Estados Unidos, formuló el Programa Nacional BIM 3D-4D, estableciendo políticas mandatorias de adopción de la metodología para todos los proyectos de servicio público, incluyendo proveedores, agencias federales, asociaciones profesionales y organizaciones de estándares abiertos. En 2006, el Instituto Británico de Estándares (British Standards Institute, BSI), forma alianzas de comités de interés para generar estándares a la industria de la construcción, el fin específico era el ahorrar en un 20% los costos de la administración y coordinación de proyectos. En 2007, la Confederación Finlandesa de la industria de la Construcción, generó el mandato en el cual todas las plataformas de software de modelado BIM deberán integrar la capacidad de compartir información bajo formatos certificados IFC



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM



(Industry Foundation Class), el cual es un formato de traslado de información que permite compartir dicha información a cualquier otro software de modelado, independientemente de las marcas. En 2010, Wisconsin se convierte en el primer estado en los E.U.A. en requerir el uso obligatorio de la metodología BIM en todos los proyectos públicos con inversión mayor a 5 millones de dólares (Mazariegos, 2019).

Se puede observar que, a partir del año 2002, los gobiernos de otros países empezaron a crear normativas y regulaciones para la adopción BIM, su implementación y uso, lo cual genera un aumento de adopción BIM dentro de las empresas constructoras.

En el 2018, La Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP, 2018) de México presentó la Estrategia para la adopción del Modelado de Información en la Construcción (MIC) en los proyectos de infraestructura de la Administración Pública Federal (APF), el cual tiene como objetivo principal “Mejorar los procesos de desarrollo de la infraestructura pública, considerando la eficiencia de la planeación, disminución de sobretiempos y sobrecostos, así como fortalecer la transparencia y la rendición de cuentas”. Posteriormente, en el año 2019, la misma Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP) presento la Estrategia para la Implementación del Modelado de información de la Construcción (MIC) en México.

En países como Inglaterra, Finlandia, Noruega, España, por mencionar algunos es, actualmente, obligatorio el uso de BIM para las licitaciones públicas en edificación.



1.1 Objetivo General

Desarrollo de un Proyecto Geométrico Carretero, empleando software de modelado BIM (Building Information Modelling o Modelo de Información para la Construcción).

1.2 Objetivos Particulares

1. Revisión del estado del arte de la Metodología BIM
2. Comprensión de la Metodología BIM
3. Selección de la Metodología adecuada
4. Implementación de la Metodología
5. Elaboración del Proyecto Geométrico Carretero

1.3 Hipótesis

La Fase 3D de BIM o el Modelo final del proyecto visualizado en 3 dimensiones, permite la inclusión de información básica como la topografía, características del suelo, información detallada del tipo constructivo (cuñas de afinamiento, relación de taludes por tramo etc.) entre otras. Facilita la toma de decisiones que impactan de manera directa en los tiempos y costos del proyecto ejecutivo, toda vez que los cambios que se realizan en el proyecto se reflejan en tiempo real, mismo que no ocurre en la práctica actual, debido a que cualquier modificación del proyecto, afecta todas las etapas y se tiene que reprocesar todo el proyecto, generando sobrecostos y demoras en los tiempos del mismo.

1.4 Justificación

La infraestructura carretera es uno de los activos más importantes para cualquier nación, es un parámetro de nivel de desarrollo de los países el cual está presente en los planes de todos los gobiernos. La movilidad eficiente permite hacer crecer las economías regionales, nacionales e internacionales, tan es así que, las comunicaciones e infraestructura de transporte representan casi el 5% del presupuesto de egresos para el 2020 en México (PPEF de México 2020). Y el modo de transporte más utilizado para mover mercancías son las carreteras, ya que el 96% de la mercancía movida, lo hace por medio de los caminos (Fernández, 2020), por lo que las operaciones eficientes de



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM



los caminos, llevan a un éxito de la economía nacional y local, pero también mejora la calidad de vida del usuario.

Del presupuesto destinado a las comunicaciones e infraestructura del transporte, el 28% será destinado para la conservación y mantenimiento de la red carretera nacional (PPEF de México 2020). Por lo que es importante mantenerla en buen estado, en consecuencia, la movilidad se vuelve más eficiente. La conservación contempla realizar oportunamente acciones de mantenimiento necesarias para disminuir la tasa de deterioro del mismo (AMAAC, 2016).

En BIM, la gerencia de los activos y su ciclo de vida, pueden ser interoperables en la etapa de diseño, construcción y operación, de tal manera que, si un elemento que forma parte de lo antes mencionado es modificado, se modifica en todas las etapas, por lo que no será necesario modificar algo en otra fase, reduciendo tiempos de manera considerable, además, la transferencia de datos entre agentes que intervienen en una obra se hará en mucho menor tiempo respecto al método tradicional.

El departamento de control de programa de obra tiene datos habilitados y procesados mediante BIM en las fases de diseño y construcción, mismos que puede ser empleado para realizar una predicción con antelación de los eventos, ya sea avance financiero de la obra, avance de obra en tiempo real, recursos materiales etc. Esta información será usada para el plan gerencial de obra y programar los mantenimientos necesarios a la misma. Por lo que se reducirán los costos asociados a los programas de mantenimiento.



1.5 Contenido

Capítulo I. Introducción

Panorama general de la presente investigación, mencionando algunos datos importantes, antecedentes, incluye objetivo general y particulares, hipótesis y la justificación.

Capítulo II. Estado del arte

Se comenta sobre las investigaciones realizadas acerca del tema abordado en tesis, desde sus inicios hasta la actualidad.

Capítulo III. Marco teórico

Se explica la teoría basada en la presente investigación, abordando los temas que aportan de manera directa al desarrollo de este trabajo.

Capítulo IV. Metodología

Desarrollo y explicación de los pasos a seguir para conseguir los objetivos particulares, así como demostrar la hipótesis propuesta.

Capítulo V. Análisis de resultados

Se aplica la metodología a un tramo en estudio, incluyendo un análisis a profundidad del mismo.

Capítulo VI. Conclusiones

Contiene las conclusiones resultantes de la investigación.



2. Estado del Arte

De acuerdo con Agudelo (Agudelo, 2002) Una carretera es un sistema de transporte que permite la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y tiempo que requiere cierto nivel de seguridad, rapidez y comodidad. Puede ser una o varias calzadas, cada calzada puede estar conformada por uno o varios carriles y tener uno o ambos sentidos de circulación, de acuerdo a los volúmenes en la demanda del tránsito, composición vehicular, su clasificación funcional y distribución direccional.

Los ingenieros Alfonso Rico y Diego de Buen (Rico & De Buen, 1988) definen a la infraestructura del transporte carretero al conjunto de obras civiles que da sustento físico a la actividad del movimiento de carga y/o personas, mencionan que la red carretera, los puentes, viaductos y túneles forman la parte sustancial de esa infraestructura física. Comentan que las carreteras son un prerrequisito indispensable para la prestación de servicios de autotransporte.

El camino, es uno de los cinco elementos principales de los sistemas tecnológicos de transporte. Los caminos se relacionan con el diseño del vehículo y la fuerza motriz por medio de las cargas que transporta el vehículo, de las pendientes y de las curvaturas que imponen restricciones al tamaño, la velocidad y la fuerza de tracción de los vehículos. Los caminos se relacionan también con el control de operaciones por medio de la capacidad de la vía, los sistemas de guía y la separación entre vehículos (Hay, 1983).

El terreno que se destina a vías e instalaciones para uso de los ferrocarriles, carreteras, canales, tuberías y bandas transportadoras constituye al derecho de vía. Los caminos proporcionan apoyo a los vehículos en todo tiempo, facilita el desagüe, permite la adherencia friccional para aceleración, desaceleración y cambio de dirección y, gracias al diseño geométrico de la anchura, las intersecciones, las sobreelevaciones, los desagües, las distancias de visibilidad, etc. Permiten el movimiento y el rebase con seguridad y a niveles de servicio establecidos. (Hay, 1983).

Los ingenieros Rafael Soto, Alberto Mendoza y José Gutiérrez (Soto et al, 2008) comentan que, el Proyecto Geométrico se realizaba desde tiempos antiguos, donde los



constructores romanos, egipcios y mayas desarrollaron vías terrestres, considerando aspectos variados en sus proyectos.

El ingeniero Cal y Mayor (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007) comentan que el proyecto geométrico de calles y carreteras, es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, una calle o carretera queda definida geoméricamente por el proyecto de su eje en planta (alineamiento horizontal) y en perfil (alineamiento vertical), y por el proyecto de su sección transversal.

El proyecto geométrico de un camino se basa en ciertas características físicas del conductor como usuario del camino, los vehículos y del camino mismo. Los elementos básicos para el proyecto geométrico tratan de aspectos relacionados con el usuario como conductor; las características dimensionales y de operación de los vehículos, como unidades; estableciéndose cinco tipos de vehículos de proyecto; características del tránsito vehicular, como es el volumen de tránsito y la velocidad; la relación entre velocidad, el volumen y la densidad; y por último, los métodos para obtener la distancia de visibilidad de parada y de rebase (Soto et al, 2008).

Generalmente, se han considerado tres pasos para el proyecto geométrico de una carretera: selección de ruta; ante proyecto y proyecto (Soto et al, 2008).

En el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (SCT, 2018) se encuentran los criterios de diseño que intervienen en un proyecto geométrico de carreteras. Parámetros como el usuario, el vehículo, el tránsito y la carretera son los más importantes, de ahí se sub dividen para un mejor análisis geométrico del camino. Las ramas del usuario son el conductor, ciclista, peatón, y pasajero a su vez al conductor se le atribuyen varios aspectos como criterio de diseño, como la visión, la expectativa, la reacción y la respuesta.



El MPGC define al vehículo como el medio que utiliza el usuario para circular por la carretera, menciona que las principales características del vehículo son: tipo, dimensiones, peso y características de operación (SCT, 2018).

De acuerdo al MPGC, los vehículos se pueden clasificar, según su función, de pasajeros o de carga, según su peso como ligeros o pesados, según su régimen de propiedad como particulares o comerciales, según su configuración como unitarios o articulados, según su uso y tamaño, como autos (A), autobuses (B) y camiones (C). Los camiones articulados se designan con la primera letra del nombre de las unidades de que lo constan: T para el Tracto camión, S para el Semirremolque o primera unidad de carga, R para el Remolque o segunda unidad de carga. De esta manera, los vehículos más usuales en la red nacional de carreteras, son los denominados: A2, B3, C2, C3, T3S2 o T3S3 y T3S2R4, que coloquialmente se les denomina automóvil, autobús, camión sencillo o camión rabón, torton, tráiler y full trailers, respectivamente (SCT, 2018).

El tránsito es el conjunto de vehículos que utilizan la carretera en un momento dado, al cual se determinan diferentes parámetros que intervienen en el diseño geométrico, como el volumen, distribución del tránsito, composición, velocidad del tránsito, el volumen se determina con un conteo directo al cual se le denomina aforo, según la duración del aforo, puede ser horario, diario, semanal, mensual o anual. Dentro del parámetro de la velocidad, se encuentra la velocidad de proyecto, velocidad de punto, velocidad de marcha y la velocidad de operación (SCT, 2018).

La velocidad es un factor importante en todo proyecto; y factor definitivo al calificar la calidad del flujo de tránsito. Su importancia queda establecida por ser un parámetro en el cálculo de la mayoría de los demás elementos de proyecto (Soto et al, 2008).

En la carretera ocurre la interacción directa entre conductor y su vehículo con la carretera. En la práctica, estas bases se aplican para determinar los parámetros característicos de los elementos de la carretera, tanto del alineamiento horizontal, vertical, como de la sección transversal (SCT, 2018).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM



Según las Normas de Servicios Técnicos para Proyecto Geométrico (SCT, 1984) las carreteras se clasificarán, de acuerdo con su tránsito diario promedio anual (TDPA) como Tipo A, B, C, D y E, subclasificando a su vez el tipo A como A2 y A4, en donde la A4 contiene la mayor cantidad de TDPA de todos.

Actualmente, el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (SCT, 2018) clasifica las carreteras como ET y A, B, C, D y E, a diferencia de la Norma de Servicios Técnicos de 1984, esta clasificación considera una mayor cantidad de parámetros, en los que resaltan el tipo de tránsito, ancho de corona, ancho de acotamientos, el nivel de servicio en el horizonte de proyecto, entre otros, la Tabla 1 muestra las principales características geométricas de las carreteras (SCT, 2018).

Tabla 1 Clasificación Geométrica y características de las carreteras

CONCEPTO		LINDAD	CLASIFICACIÓN GEOMÉTRICA Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CARRETERAS.																				
			ET y A				B				C				D				E				
			T3-52.84 de 31.50 m; DE-2836				C3-53 de 20.80 m; DE-2434				T3-53 de 18.50 m; DE-1584				C3 de 12.50 m; DE-790				C3 de 12.50 m				
Nivel de servicio en el horizonte de proyecto		MS	NO APLICA																				
Terreno		Mantafono Lomente Plano	NO APLICA																				
Velocidad de Proyecto		km/h	80	50	100	110	70	50	90	100	50	50	70	50	30	40	50	60	70	30	40	50	
Distancia de Visibilidad de Puesta		m	120	155	193	214	104	120	155	183	63	80	104	128	155	40	63	83	104	31	40	63	
Distancia de Visibilidad de Refugio		m	520	565	650	540	495	520	355	550	325	390	455	520	585	280	325	390	455				
Distancia de Visibilidad de Encuentro		m	NO APLICA																				
Grado Máximo de Curvatura		°	5.50	4.00	3.25	2.50	2.50	2.50	4.00	3.25	17.00	11.00	7.50	5.50	4.00	35.00	17.00	11.00	7.50	66.00	30.00	17.00	
Curvas Verticales		R	43	87	72	87	29	31	43	87	4	8	14	29	31	3	4	8	14	4	7	13	
		C	31	37	43	53	29	29	31	37	7	13	19	29	29	4	7	19	19	4	7	19	
Longitud Máxima		m	50	60	60	70	40	50	50	60	30	30	40	50	20	30	40	20	30	30	30	30	
Pendiente Gobernadora		%	4	3	2	2	5	4	3	3	6	5	4	3	4	3	7	6	3	7	5	5	
Pendiente Máxima		%	8	5	4	4	7	6	5	5	8	7	6	5	4	3	8	7	6	7	12	10	8
Longitud Crítica de las pendientes ascendentes		m	APLICAR LAS TABLAS DE ACELERACIÓN Y DECELERACIÓN																				
Ancho de Calzada		m	ET2, A2 7.0	ET4, A4 7.5	ET4S, A4S 7.5	ET2, A2 7.0	7.0				7.0				7.0				4.5				
			2 carriles	4 Carriles	4 Carriles																		
Ancho de Corona		m	13.0	≥ 23.0	2 de 11.00 uñco	12.0				10.0				8.0				4.5					
			Un cuerpo	Un cuerpo	Cuerpos separados																		
Ancho de Acotamientos		m	3	3.0 Exterior mismo	3.0 Exterior mismo	2.50 m mínimo 1.00 m				1.50 m mínimo 1.00 m				1.00 m Puede no tener acotamientos				eliminar tiraderos @ 500.00 m					
Ancho de Faja Separadora Central, Inclusiones los acotamientos laterales		m	-	≥ 3.0	≥ 10.0	No aplica				No aplica				No aplica				No aplica					
Bombeo		%	2			2				2				2				3					
Batas elevación Máxima		%	18			18				18				18				18					

De acuerdo a Zuh (Zuh, 2017), el incremento del número de usuarios, requiere mejoras y mantenimiento a la red carretera a los estándares más altos. Comenta que un mejor manejo de la información podría permitir el manejo del ciclo de vida de los datos y análisis predictivos. Además, agrega que para que los datos tengan un uso efectivo, se necesitara un acercamiento al diseño, construcción y gerencia de activos. Afirma que la interoperabilidad de los datos digitales, podría traer a las etapas de diseño y construcción una mejor gerencia del ciclo de vida de los activos.



He Qinghua (Qinghua et al, 2015) comenta que la construcción de megaproyectos está convirtiéndose significativamente complejo y difícil de gerenciar. Para abarcar este incremento de la dificultad y complejidad de la gerencia de proyectos, BIM se ha venido desarrollando rápidamente y, extensivamente utilizado. Los beneficios de BIM para diferentes tipos de proyectos de construcción son varios, y generalmente, esto es reconocido por los especialistas que intervienen en las obras.

Rubén Santos (Santos et al, 2017), se refiere a BIM como el uso compartido de la representación digital de un objeto u obra para facilitar la etapa de diseño, Construcción y operación; y le da una base confiable a la toma de decisiones. Agrega que la metodología BIM no solo mejora el flujo de información entre agentes en un proyecto y motiva a nuevas soluciones de diseño, sino que también reduce costos, a través de altos y acertadas estimaciones de costos.

Los Estándares Nacionales de BIM en Inglaterra (NBS, 2016) definen a BIM o el Modelado de Información para la Construcción como un proceso para crear y administrar información sobre un proyecto de construcción a lo largo de su ciclo de vida.

He Qinghua (Qinghua et al, 2015) Comenta que BIM demanda nuevos roles con expertos en gerencia de modelos, ya que poseerán la tecnología de la información y comunicación (TIC) y expertos en fases de construcción. Derivado de lo anterior, aparece lo que se le conoce como “BIM Manager” (Gerente BIM), el cual se involucra tanto en la toma de decisiones del diseño y soluciones ingenieriles, así como en la Gerencia del Proyecto, aunque principalmente se centra en las especificaciones del modelo y el manejo de la información (He et al, 2015).

Ma Zhiliang (Zhiliang, 2017) identifica tres grandes fases de BIM: Planeación y Diseño (P & D), Construcción (C) y, Operación y Mantenimiento (O & M). Angélica Ortiz (Ortiz, 2020) menciona que Intervienen varias herramientas de software, hardware y especialistas en un ciclo de procesos a lo largo del proyecto, en la parte de Planeación y Diseño se encuentran las fases del diseño conceptual, el diseño detallado y el análisis. En la parte de Construcción se identifican la documentación necesaria, la fabricación de



los elementos, la construcción 4D y 5D y, la logística de la construcción. Seguido de la fase de Construcción se encuentra el modelo As Built, el cual contendrá los datos reales del proyecto ya construido, en esta etapa, surge la fase de Operación y Mantenimiento para así dar lugar a las predicciones de acciones de conservación y posibles interferencias.

Los análisis de grandes cantidades de datos pueden ayudar a darle prioridad a la toma de decisiones, basados en los modelos predictivos del ciclo de vida de los datos, a su vez, se basa en modelos en tiempo real del tráfico, el deterioro y la recaudación de los datos desde la concepción del proyecto mismo. Información actualizada y acertada significa que los trabajos siguientes serán de mucho valor y reducirán las pérdidas (Zuh, 2017).

El contar con una gran cantidad de información, no necesariamente reduce las pérdidas en el Ciclo de Vida de un Proyecto, Aziz Zhu (Zhu et al, 2017) menciona que se pierde una cantidad significativa de información en el cambio de la fase de Diseño a la fase de Construcción y, de la fase de Construcción a la de Operación y Mantenimiento. Resalta que la falta de consistencia en la administración de los datos, los datos generados en el Diseño y Construcción muchas veces no son compatibles con el software de la Gerencia de los Activos. Estas inconveniencias salen a relucir en la etapa de entrega del proyecto, debido al retraso por la mala administración de los datos. Comenta que, teniendo un mismo flujo de información, permite la administración del Ciclo de Vida del Proyecto de inicio a fin. Poseer un flujo de datos continuo y completo, requiere un enfoque totalmente integrado en el desarrollo de la tecnología. BIM organiza la información gráficamente y va más allá del modelado en tres dimensiones de los datos en campo, agrega costos y presupuestos y, la planeación de la obra, transformando el término “Data” en “Big Data”.



3. Marco Teórico

El proyecto geométrico de la carretera es el ordenamiento y dimensionamiento de los elementos visibles de la carretera. El ordenamiento corresponde a la relación de estos elementos entre sí y con respecto al terreno natural. El dimensionamiento corresponde a la cuantificación de los parámetros que definen a cada uno de los elementos. Estas dos características, ordenamiento y dimensionamiento, se expresan en planta, perfil y sección, que corresponden a los llamados alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal (SCT, 2018).

El alineamiento horizontal corresponde a la planta del eje de la carretera, es decir, la proyección sobre un plano horizontal del eje de la sub corona del camino (SCT, 2018). Lo conforman las tangentes y las curvas.

- **Tangentes.** – Es la recta que une dos curvas horizontales consecutivas; principia al fin de la curva y termina al empezar la siguiente curva. Se caracterizan por su dirección y longitud. La dirección está determinada por el azimut o ángulo, medido hacia la derecha en grados, entre una línea imaginaria “norte-sur” que pasa al principio de la tangente y la tangente misma.
La longitud mínima de la tangente queda definida por la longitud necesaria para hacer una transición conveniente de la sobre elevación y ampliación de las curvas extremas. La longitud máxima será (por motivos de seguridad del usuario dado a los accidentes por somnolencia) de 72 segundos a la velocidad de proyecto, es decir, cada 72 segundos (conduciendo a la velocidad del proyecto) deberá ir una curva.
- **Curvas.** – Son las que unen tangentes consecutivas del alineamiento horizontal. Sirven para que los vehículos cambien de dirección, de manera que la fuerza centrífuga a que está sujeto sea constante. Pueden ser simples o compuestas y con o sin curvas espirales de transición.
 - **Curvas circulares simples.** – Se define por su radio y por la deflexión entre las tangentes que une en forma de un arco de círculo de radio constante.

La Figura 1 muestra los parámetros de las curvas horizontales simples.

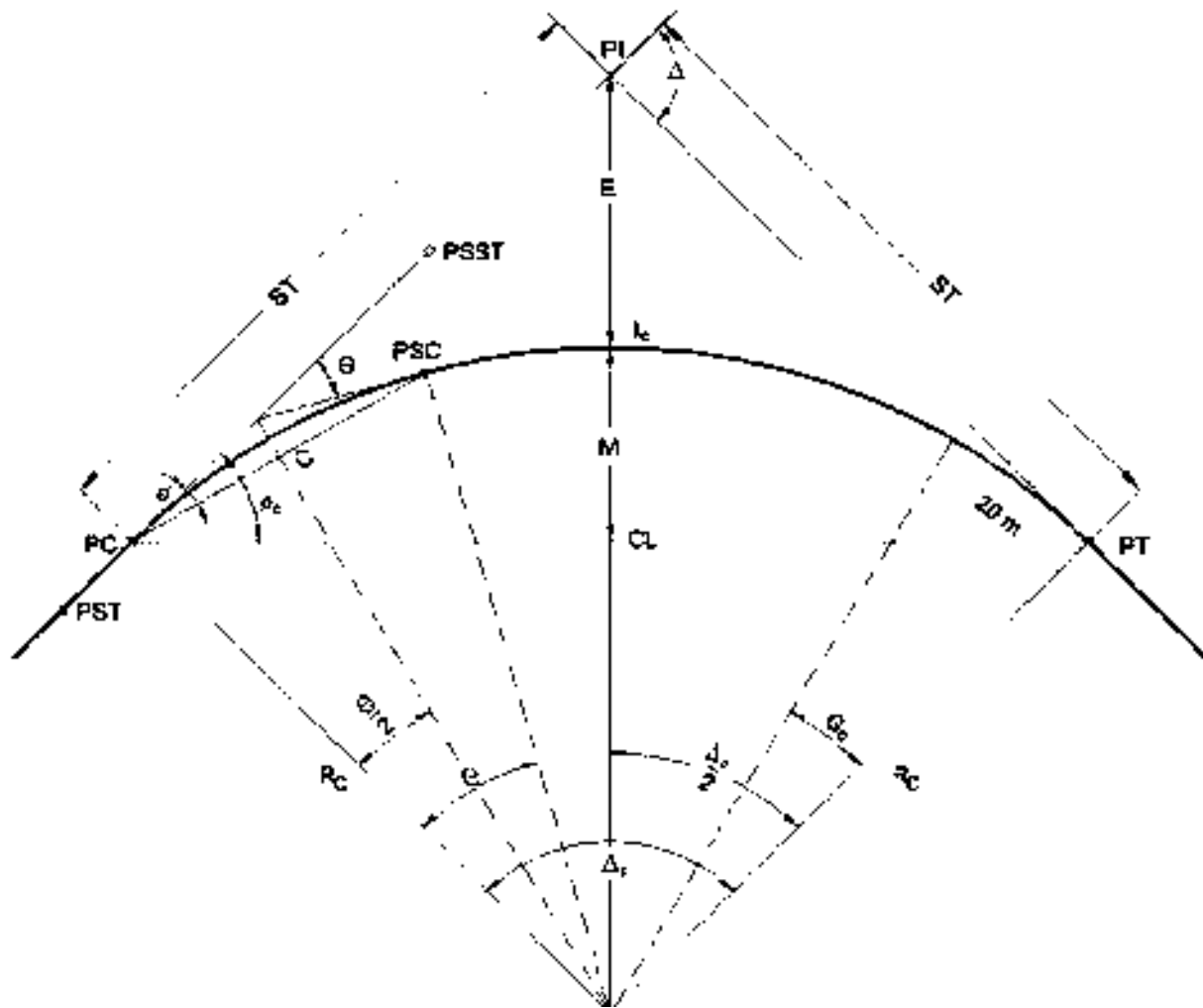


Figura 2 Elementos de la curva circular simple.

Fuente: SCT, 2018

En donde los puntos característicos son:

- PI, Punto de Intersección de Tangentes
- PC, Punto Comienzo Curva
- PT, Punto Término Curva
- PST, Punto Sobre Tangente
- PSST, Punto Sobre Sub Tangente
- PSC, Punto Sobre Curva



Las medidas angulares serán:

- Δ , Ángulo de deflexión entre tangentes
- Δ_c , Ángulo central de curva
- G_c , Grado de curvatura
- Θ , Ángulo a un PSC
- Φ , Ángulo a cuerda
- Φ_c , Ángulo a cuerda larga

Las medidas lineales son:

- R_c , Radio de curva
 - ST , Sub Tangente
 - E , Externa
 - M , Ordenada media
 - C , Cuerda
 - CL , Cuerda Larga
- Curvas circulares compuestas. – Son las formadas por varios arcos de círculo de radio decreciente, primero, y creciente después. Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compuestas inversas. Son más útiles en los enlaces para vueltas en intersecciones y entronques cuando la Velocidad de Proyecto es menor a 70 km/h. A continuación, se muestra en la Figura 3 las partes que conforman las curvas circulares compuestas.

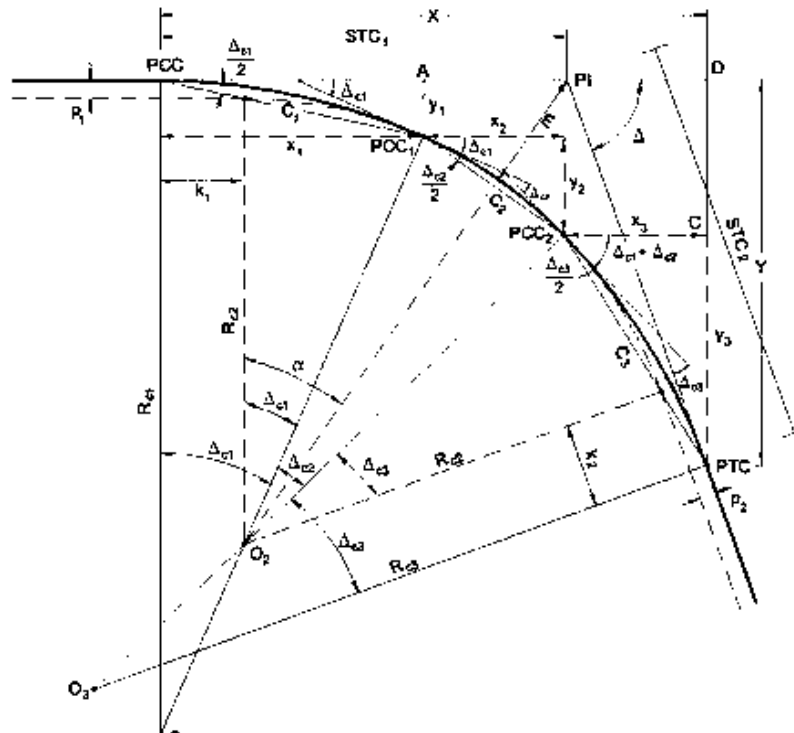
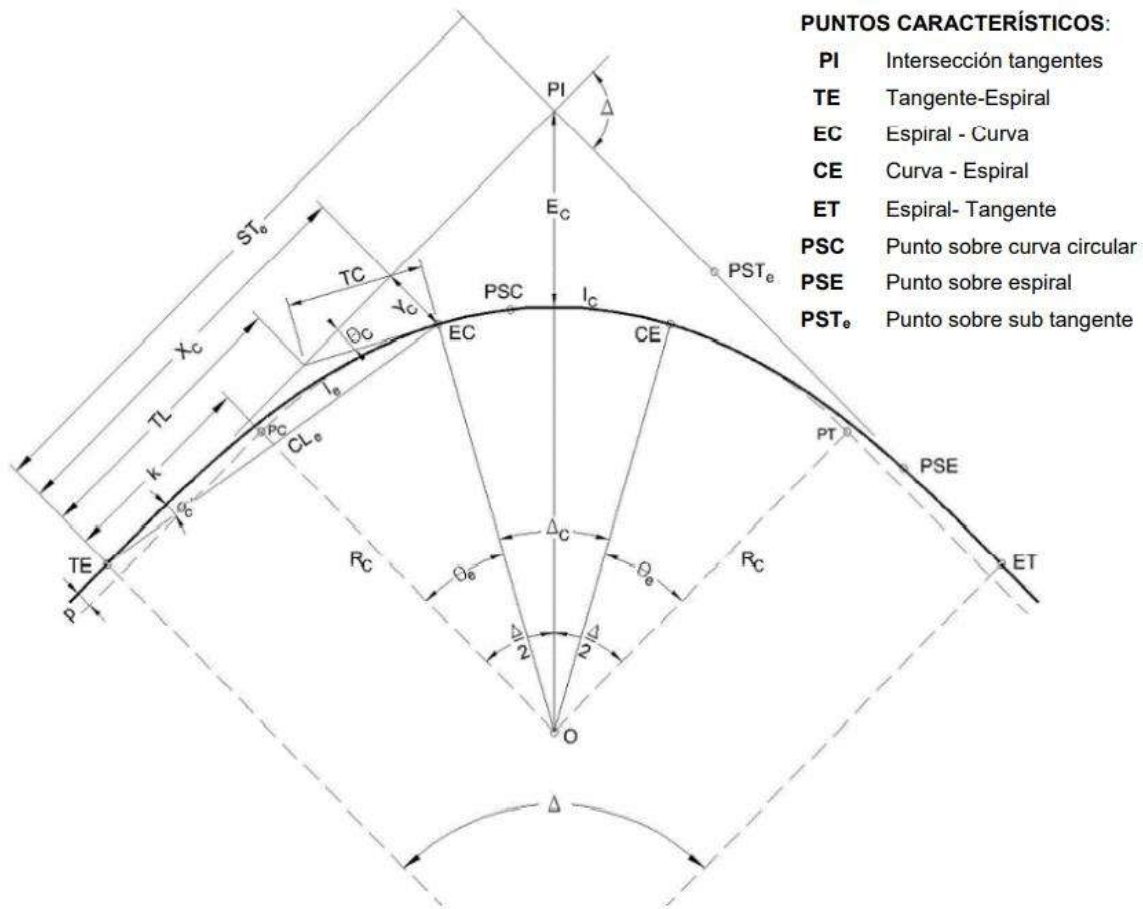


Figura 3 Elementos de la curva circular compuesta Fuente: SCT, 2018

- Curvas circulares con espirales de transición. – La espiral de Euler, conocida también como “clotoide”, tiene características ideales para usarse como curva de transición, toda vez que su radio aumenta proporcionalmente a su longitud; por lo que su grado varía desde cero, en la tangente hasta el grado de curva circular, la Figura 4 muestra las características que conforman la curva circular con espirales de transición o “Clotoide”.



PUNTOS CARACTERÍSTICOS:

PI	Intersección tangentes
TE	Tangente-Espiral
EC	Espiral - Curva
CE	Curva - Espiral
ET	Espiral- Tangente
PSC	Punto sobre curva circular
PSE	Punto sobre espiral
PST_e	Punto sobre sub tangente

Figura 4 Elementos de la curva circular con espirales de transición. Fuente: SCT, 2018

El alineamiento vertical corresponde al perfil de la carretera o proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la sub corona o “Línea Sub Rasante” (SCT, 2018). Al igual que el alineamiento horizontal, el vertical está formado por tangentes y curvas.

- Tangentes. – Las tangentes del alineamiento vertical, también conocidas como “Rampas”, son las rectas que unen las curvas verticales y se caracterizan por su longitud e inclinación o pendiente, medida por la relación entre el desnivel y la distancia entre dos de sus puntos. La intersección entre dos rampas consecutivas se les designa como PIV, la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa con la letra A.
- Curvas verticales. – Tiene como propósito unir dos tangentes del alineamiento vertical, de manera que la componente de la aceleración centrífuga sea uniforme; lo que da lugar a la forma parabólica que les caracteriza. Pueden ser en cresta si



son convexas o en columpio si son cóncavas. El criterio principal para determinar la longitud de las curvas verticales es la seguridad. Su longitud debe ser tal, que siempre se tenga, al menos, la distancia de visibilidad de parada correspondiente a la velocidad de proyecto (SCT, 2018). En la Figura 5 se muestra una curva vertical en cresta, con los elementos que la conforman.

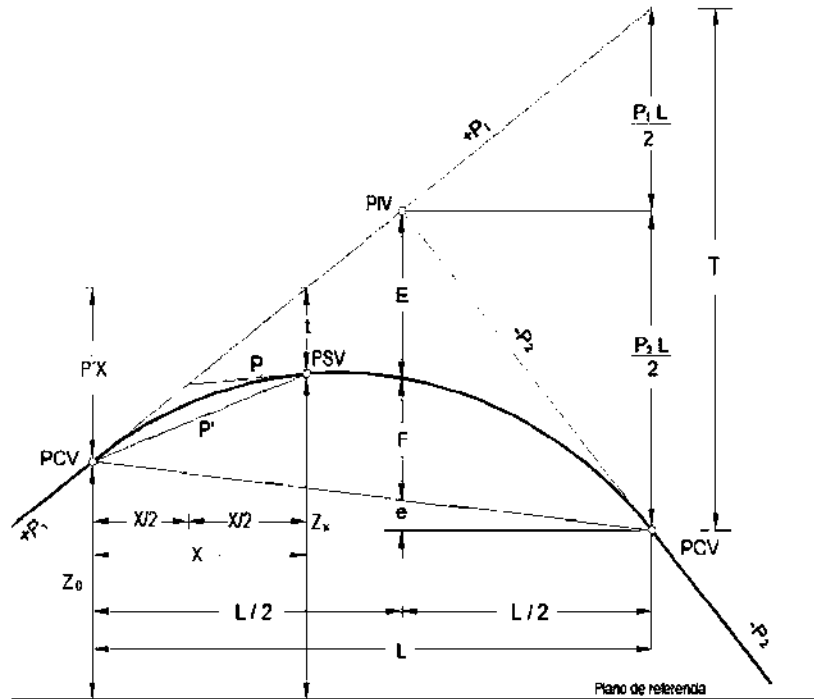


FIGURA II.9. Elementos de la curva vertical

PUNTOS CARACTERÍSTICOS:

- PIV Intersección tangentes verticales
- PCV Comienzo curva
- PTV Terminación curva
- PSV Punto sobre curva vertical

PARÁMETROS:

- P_1 Pendiente de entrada
- P_2 Pendiente de salida
- A Diferencia de pendientes $A=P_1 - (-P_2)$
- L Longitud de curva
- K Variación de longitud $K=L/A$

ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL:

- X Distancia del PCV a un PSV
- Z_0 Elevación del PCV
- P Pendiente en un PSV $P = P_1 - A \left(\frac{X}{L}\right)$
- p' Pendiente cuerda a PSV $P' = \frac{1}{2} (P_1 + P)$
- E Externa $E = \frac{AL}{8}$
- F Flecha $F = E$
- t Desviación a un PSV $t = \frac{AX^2}{2L}$; $T = \frac{AL}{2}$
- Z_x Elevación de un PSV $Z_x = Z_0 + \left(P_1 - \frac{AX}{L}\right) X$

Figura 5 Elementos de la curva vertical. Fuente: SCT, 2018

La sección transversal es la proyección de la carretera sobre un plano vertical normal al alineamiento horizontal. De acuerdo con la posición del alineamiento vertical con relación al terreno natural, hay tres tipos de sección: en corte, en terraplén o en balcón, la cual



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM



tiene una parte en corte y otra parte en terraplén, que puede llegar a ser nula. Se proyectan a cada veinte metros, puntos intermedios de quiebre de terreno incluyendo inicio y final de las curvas del alineamiento horizontal porque se usan tanto para calcular los movimientos de tierras, como para especificar el proyecto constructivo.

Las características de la sección transversal dependen del tipo de carretera. Así, las autopistas y las carreteras multicarriles pueden tener un solo cuerpo, con sentidos de circulación divididos, o cuerpos separados de diferente alineamiento vertical.

En la Figura 6 se muestran los elementos que conforman una sección transversal en balcón en una carretera tipo A4.

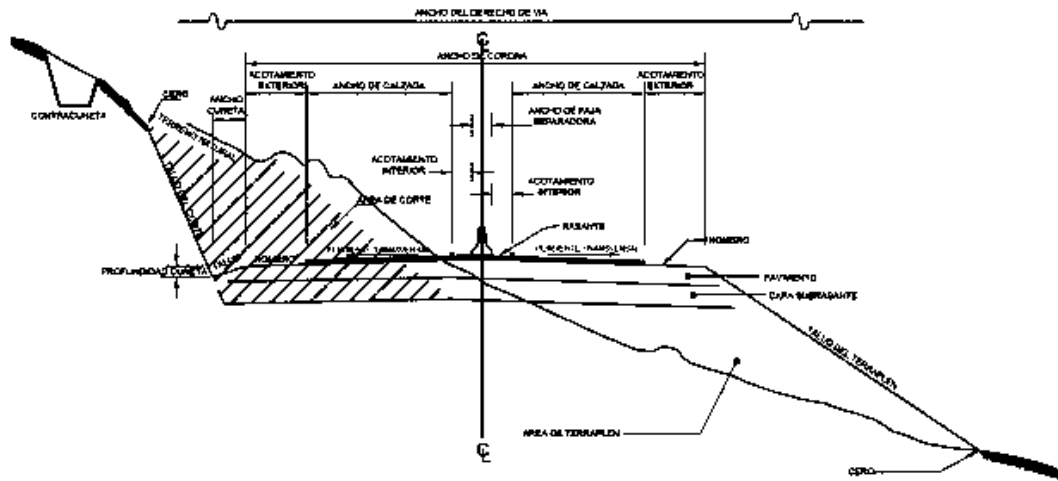


Figura 6 Sección de carretera de cuatro carriles, dos carriles por sentido, dividida por la barrera central de concreto.
 Fuente: SCT, 2018

La Figura 7 ilustra los elementos que conforman una sección transversal para una carretera tipo A4S.

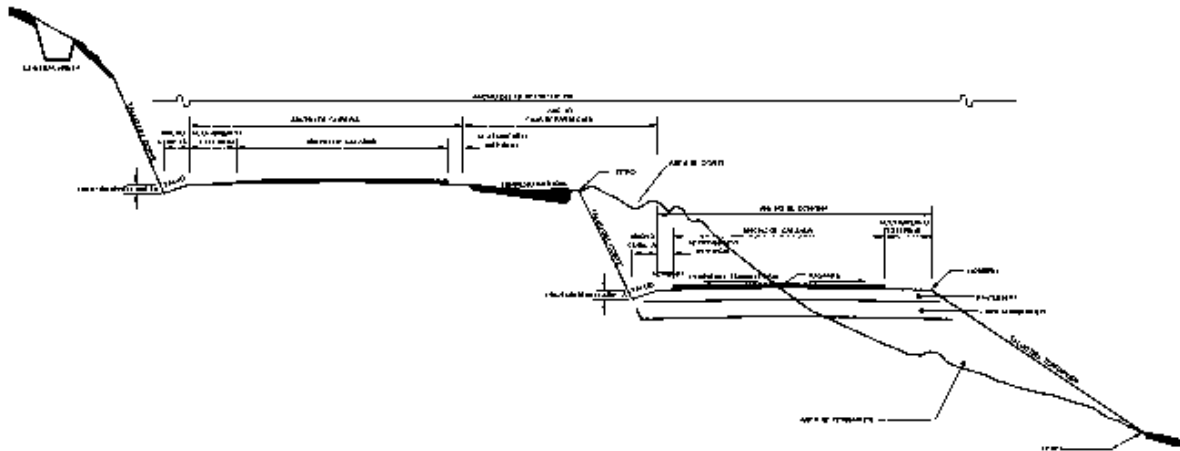


Figura 7 Sección de carretera de cuatro carriles, dos por sentido, en cuerpos separados (A4S) Fuente: SCT, 2018

Finalmente, en la Figura 8 aparecen los elementos que conforman una sección transversal para una carretera tipo A2.

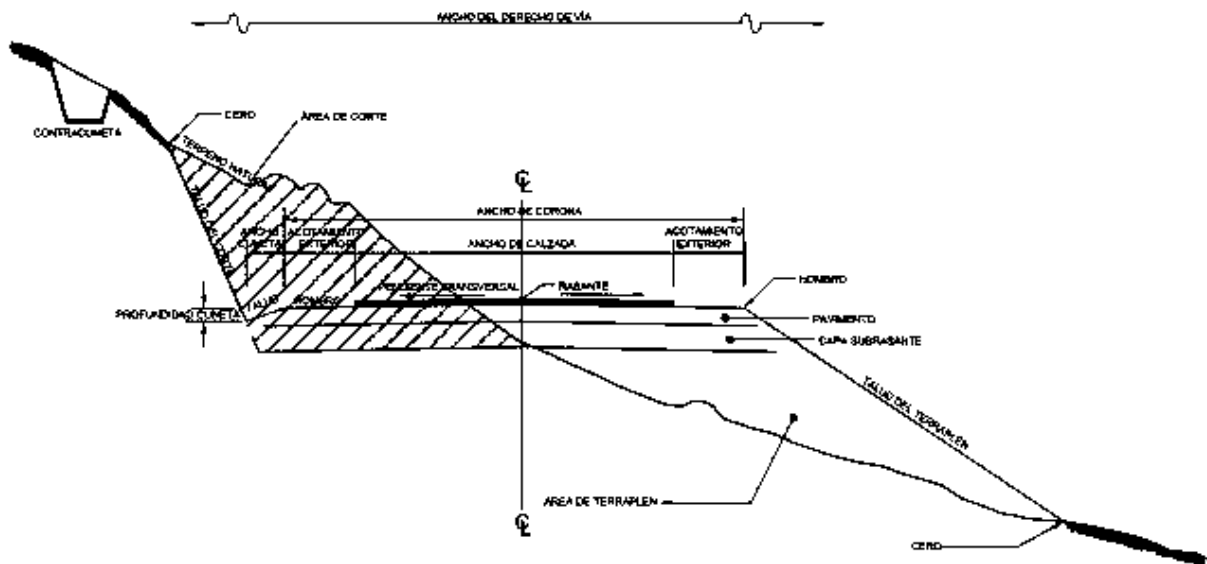


Figura 8 Sección de carretera de dos carriles, uno por sentido (A2).

Fuente: SCT, 2018.

Una característica importante que forma parte de la sección transversal de la carretera es el bombeo, definido como la pendiente transversal hacia los lados de la corona en las tangentes horizontales, su principal finalidad es desalojar el agua que cae sobre la carretera. En México, el bombeo de 2% (significa que, si recorremos transversalmente 10 metros, deberá haber un desnivel de 20 centímetros) ha dado buenos resultados para el correcto flujo de agua, este porcentaje aplica únicamente en las tangentes del camino, para las curvas horizontales, la pendiente transversal se calcula de acuerdo al grado de curvatura, se le conoce como "Sobreelevación" y su valor máximo es del 10% en el centro de la curva. La transición desde el bombeo en tangente a la sobreelevación en curva, se hace en la espiral de transición, si este no existiera, se haría en un tramo de las tangentes aledañas que, por ello, recibe el nombre de tangente de transición.

La Figura 9 muestra el procedimiento de la transición entre el bombeo en tangente, a la sobreelevación en curva, con vista en sección transversal y en perfil.

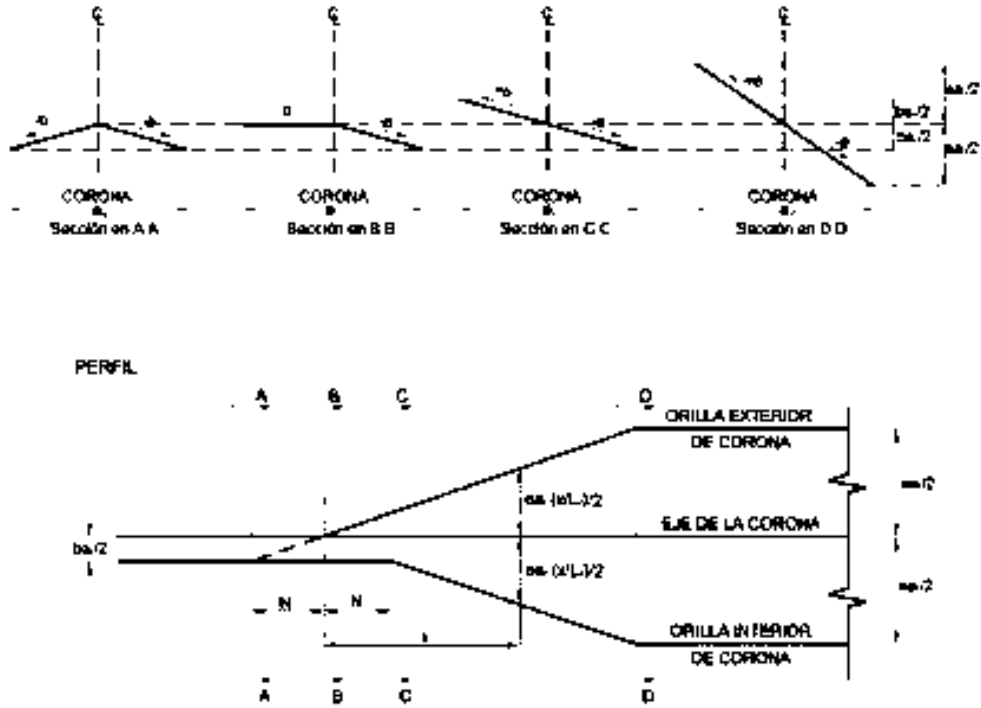


Figura 9 Transición de bombeo en tangente a sobreelevación en curva. Fuente: SCT, 2018.



Proyectistas expertos en el trazo y diseño geométrico de carreteras, mencionan que, para lograr un Proyecto Geométrico coherente, además de usar la Norma de Servicios Técnicos de la SCT y el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, la experiencia del propio proyectista, sus criterios obtenidos con el continuo trabajo en proyectos a lo largo de los años, complementado con el software adecuado, crearía un Proyecto Geométrico de calidad, es decir, la suma entre conocimiento más experiencia más el software que toma en cuenta consideraciones del tipo constructivas, generan, por inercia, un Proyecto Geométrico de alto nivel, bajo los lineamientos de la normativa mexicana.

Cabe mencionar que el método tradicional para realizar el dibujo del proyecto geométrico no es una herramienta BIM, si no el “Diseño Asistido por Computadora” o CAD. Esta herramienta te permite dibujar un eje en planta con sus hombros, calcular el perfil de acuerdo a la topografía y dibujar las secciones de construcción a cada veinte metros, pero no te permite insertar información extra, como las características del terreno (que composición tiene el suelo de acuerdo a la geotecnia), cubicación de cuñas de afinamiento, diseño de bermas para taludes, entre otros. Una herramienta BIM, además de permitir hacer lo anteriormente mencionado, lo compone un modelo en 2D (coordenadas xy) y un modelo 3D (xyz), es decir, BIM permite visualizar en tres dimensiones la carretera, con datos de geotecnia, unión de carretera-estructura (Obras de drenaje, PIV, PSV, PSF, PIP con todos sus componentes), un recorrido virtual para una mejor exhibición, etc.

El método tradicional, usado actualmente, es la suma de un proyectista rudimentario (con software limitado) más un experto constructor (conocimiento adquirido a través de la experiencia), en cambio, la metodología BIM ofrece un Proyectista con todo el poder de la información en su dibujo, aunado al constructor con toda la experiencia en el trabajo de campo.

De acuerdo al Comité Nacional de Estándares para Proyectos de Modelado de la Información (NBIMSPC U.S.) BIM es la representación digital de las características físicas y funcionales de una obra civil, es la fuente de información de la obra, generando

conocimiento confiable para la toma de decisiones durante su ciclo de vida, desde la concepción de la idea hasta la demolición.

Tabla 2 La importancia del BIM para el Diseño, construcción y mantenimiento de las carreteras Fuente: Zuh, 2017

Fases del proyecto		
Diseño	Construcción	Mantenimiento
Creación del esquema	Diferencias encontradas	Mejor disponibilidad de datos
Detección de interferencias	Mejor gestión	Gestion del ciclo de vida de los activos
Programa de obra	Vision en conjunto de cambios rapidamente	Gestión de la condición de los activos
Análisis y simulaciones	Monitoreo de los avances	Simulación del tránsito y variantes

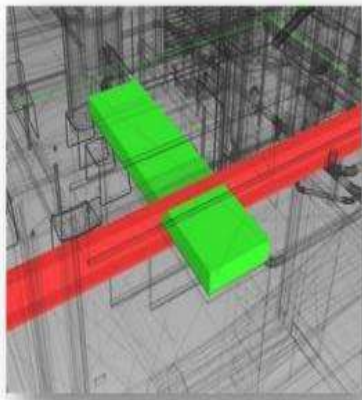


Figura 10 La importancia del BIM para el Diseño, construcción y mantenimiento de las carreteras; Fuente: Zuh, 2017

Zhou y Qin (Zhou & Qin, 2018) muestran que la tecnología BIM para túneles es mayormente aplicada en la fase de diseño, su aplicación en la fase de construcción, operación y mantenimiento está en una etapa de madurez baja.



Chu Tiangang (Tiangang, 2018) menciona que la simulación BIM (recorrido virtual) permite la visualización del proyecto mucho antes de comenzar la fase de construcción, previendo futuros problemas al construirlo, reduciendo el impacto de mermas, asegurando la alta eficiencia y seguridad en todo el proceso constructivo. También permite a los técnicos familiarizarse con los criterios de construcción y procesos técnicos antes de iniciar con la obra (Peng et al, 2020).

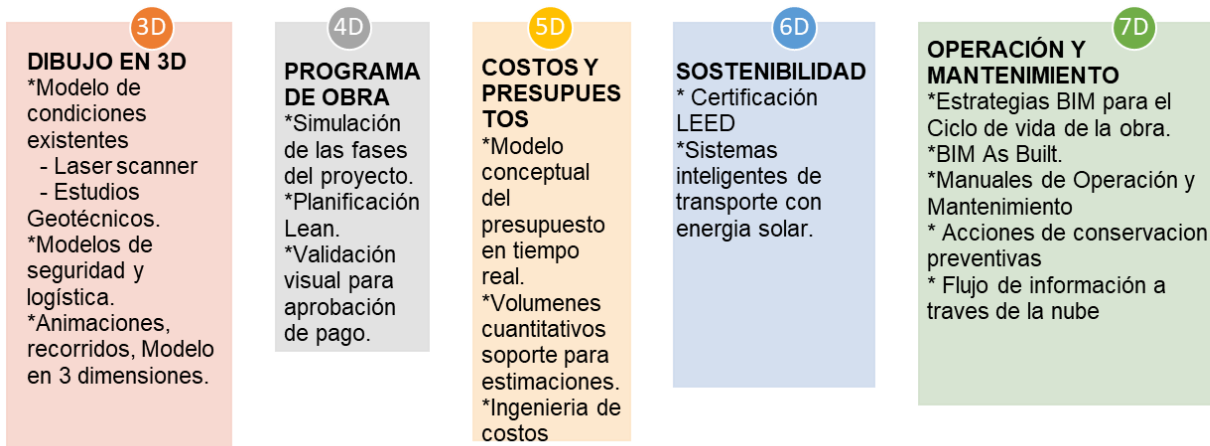


Figura 11 Ciclo de vida del proyecto; Fuente: Miller&Co, 2020

BIM usa la información del modelo como base de datos para monitorear y gestionar el programa de obra, es decir, combina la información de espacio y tiempo en un modelo 4D (etapa de construcción), mostrando intuitiva y concretamente el proceso de construcción de inicio a fin, proporciona una eficiencia en la colaboración y el flujo de información entre los agentes participantes de la construcción (Peng et al, 2020).

4. Metodología

La metodología figura como una serie de pasos e instrucciones ordenadas de manera específica con el propósito de cumplir con un objetivo y brindar solución al problema existente o planteado. La metodología para realizar el Proyecto Geométrico de la carretera es de carácter iterativo, al pasar de lo general a lo específico, en 3 etapas: Selección de ruta, anteproyecto geométrico y proyecto ejecutivo, como se muestra en el diagrama de la Figura 12.

Es importante recalcar que, el desarrollo del proyecto geométrico carretero, se hará totalmente en una herramienta de modelado BIM, ISTRAM ISPOL.

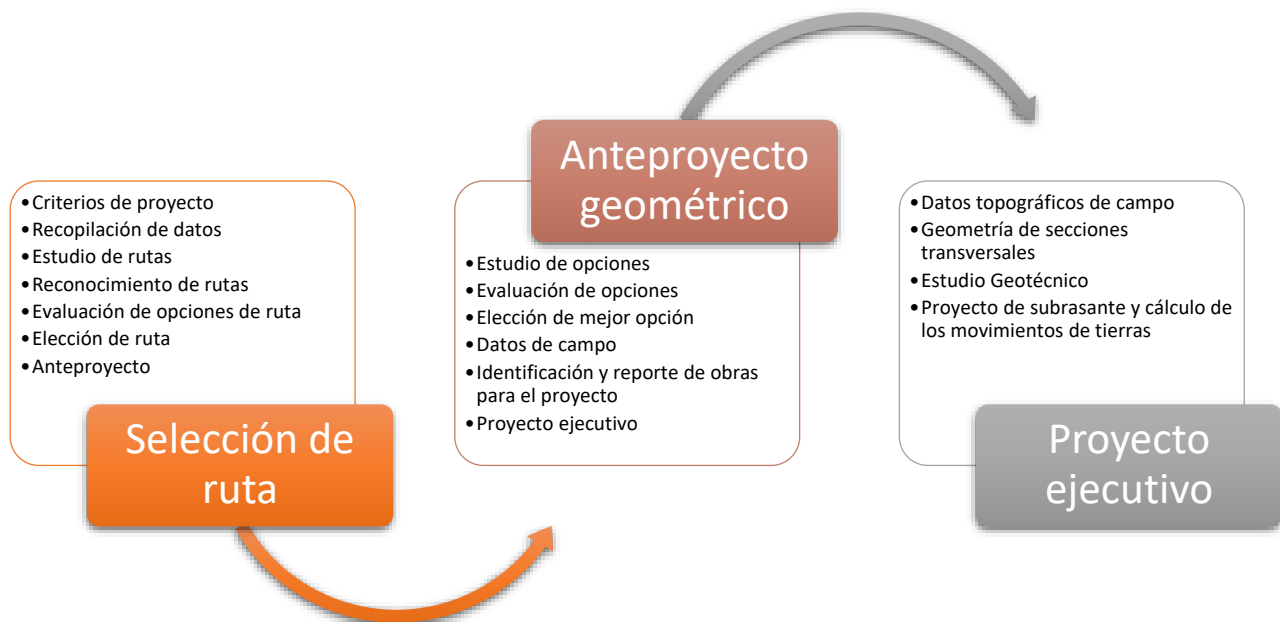


Figura 12 Metodología a seguir para el Proyecto Geométrico de carreteras

Fuente: Propia

La selección de ruta, así como el anteproyecto son etapas medulares del diseño geométrico de un camino, para el presente trabajo de investigación únicamente se abarcará de manera detallada el proyecto ejecutivo.



4.1 Proyecto ejecutivo

El proyecto ejecutivo tiene por objeto determinar las características de la carretera, del alineamiento horizontal y vertical, así como las secciones transversales de construcción (SCT, 2018), utilizando el levantamiento topográfico definitivo y considerando las obras de drenaje menor, las obras complementarias de drenaje, así como el subdrenaje. Incluye, además, información sobre terracerías, volúmenes de desmonte y despalme, cortes y terraplenes, capa subyacente y capa subrasante, entre otros, así como los movimientos de tierra. En su caso, incluye el proyecto de muros, puentes, túneles, intersecciones, entronques y pasos.

4.1.1 Recolección de datos Topográficos

4.1.1 La información topográfica se puede obtener por medios tradicionales como trazo y nivelación de puntos o una Estación Total, la Metodología BIM demanda datos de campo más precisos los cuales son resultado de hacer la topografía con Escaneo Laser o al utilizar Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV). La Figura 13 corresponde al resultado de trabajar más de 141 millones de puntos de un Escaneo Laser.

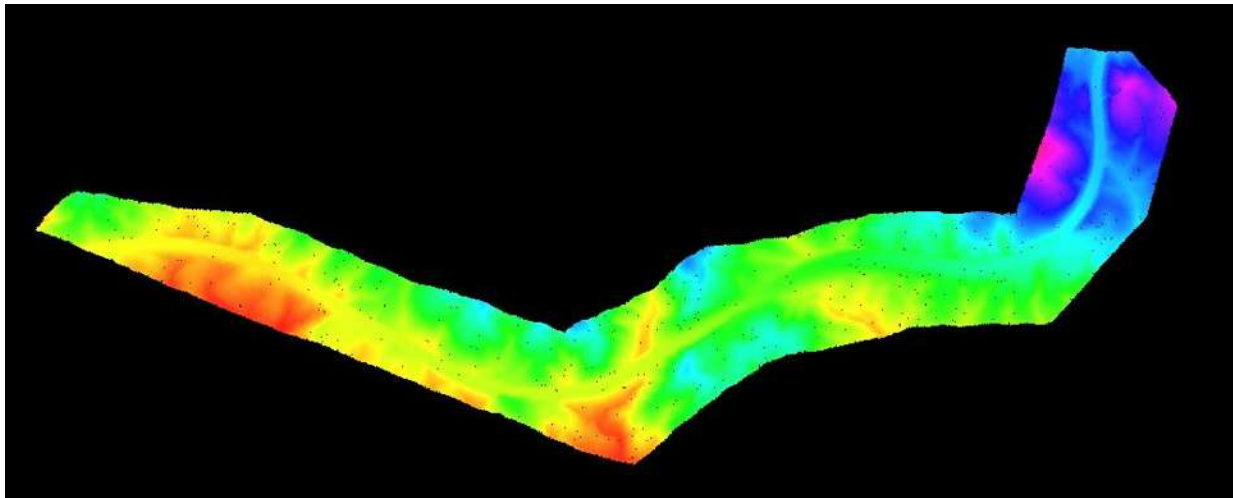


Figura 13 Levantamiento topográfico realizado con Escáner Laser (LiDAR, Light Detetction and Ranging, Detección y Medición de Luz). Fuente: Propia



4.4.1.2 Se carga la zona geográfica en donde se trabajará la información (Figura 14).

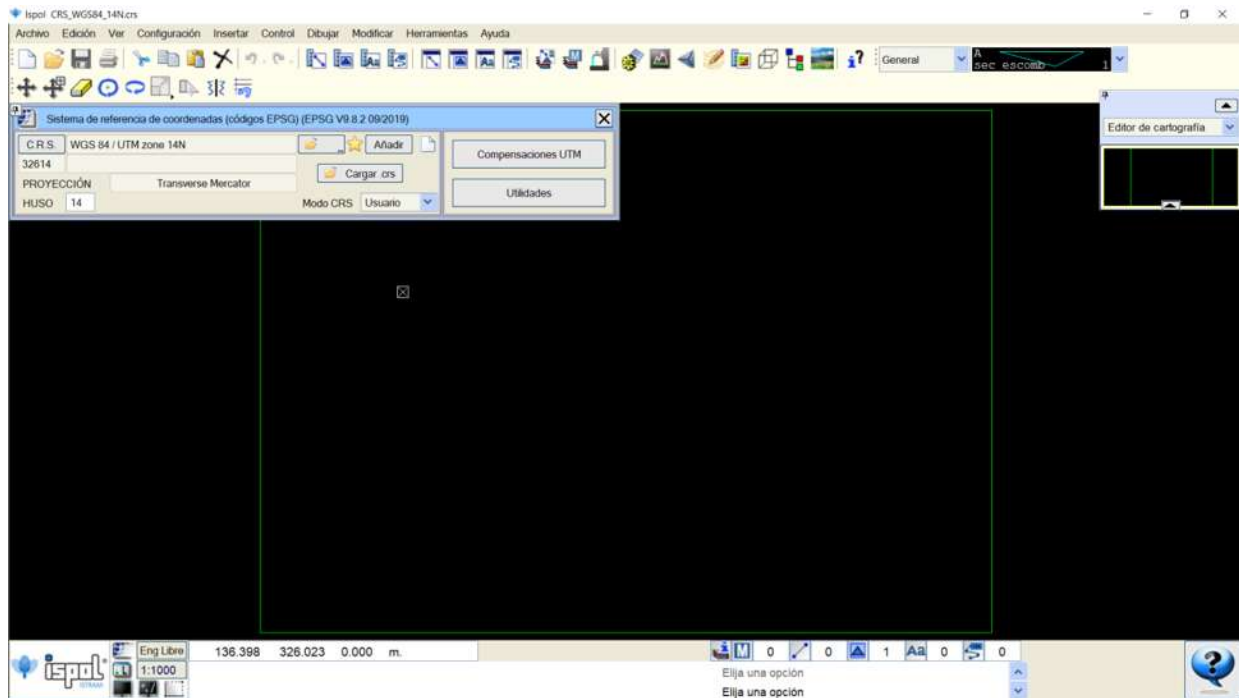


Figura 14 Zona Geográfica referenciada en el programa ISTRAM ISPOL

Fuente: Propia

4.4.1.3 Posteriormente, en el módulo “editor de cartografía” (Figura 16) se sube el LiDAR dentro del programa ISTRAM ISPOL (Figura 16), el cual servirá como modelo de terreno para dibujar el Alineamiento Horizontal, Alineamiento Vertical y Secciones Transversales de Construcción, de los puntos se obtuvieron las curvas de nivel a cada metro y se descargó una ortofoto de “Google Earth” para una referencia adicional.

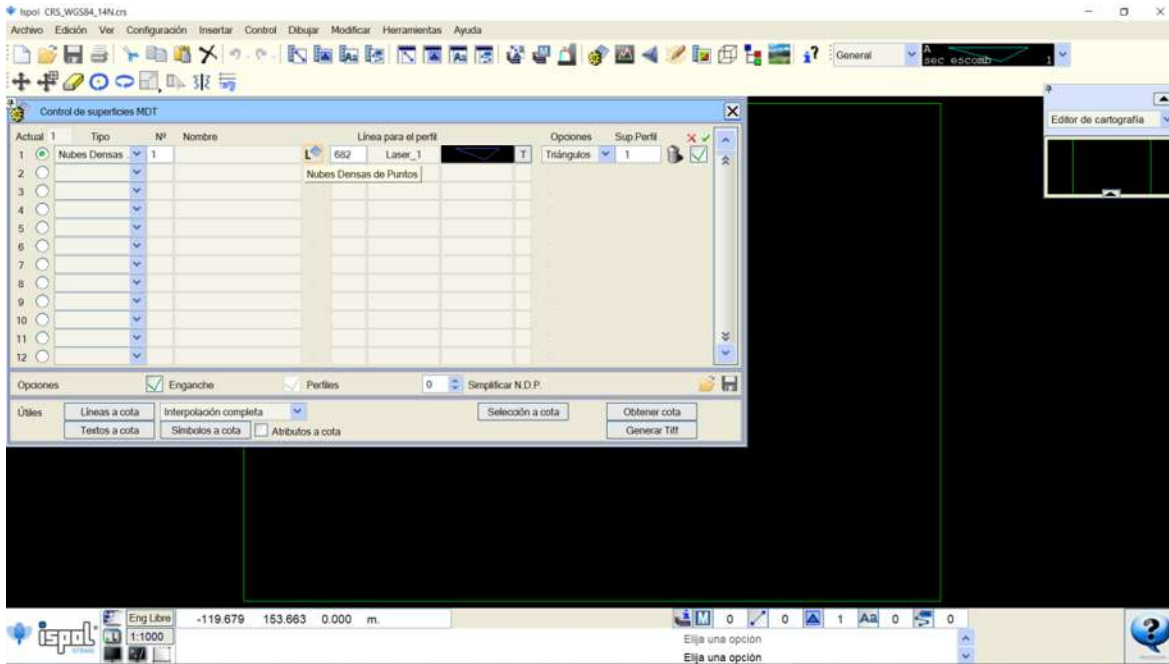


Figura 15 Módulo "Editor de Cartografía"

Fuente: Propia

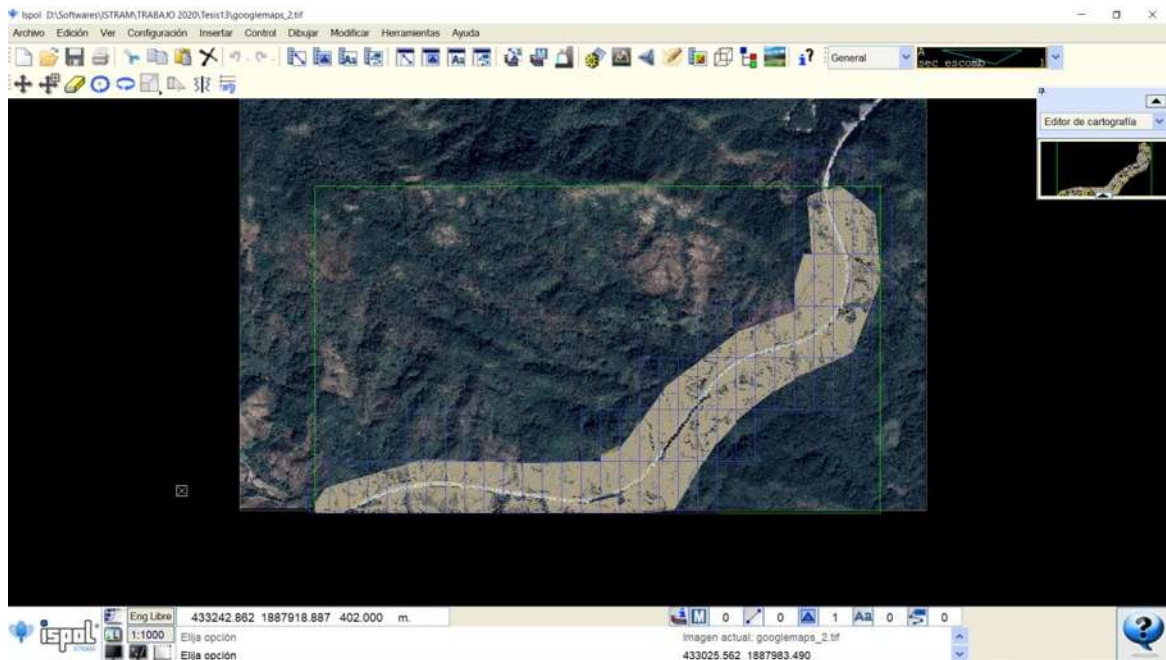


Figura 16 Modelo de Terreno LiDAR con curvas de Nivel a cada metro y ortofoto de referencia adicional. Fuente: Propia



4.1.2 Alineamiento Horizontal

4.4.2.1 Una vez trabajada la topografía dentro del programa, entramos al módulo de Obra lineal (Figura 17).

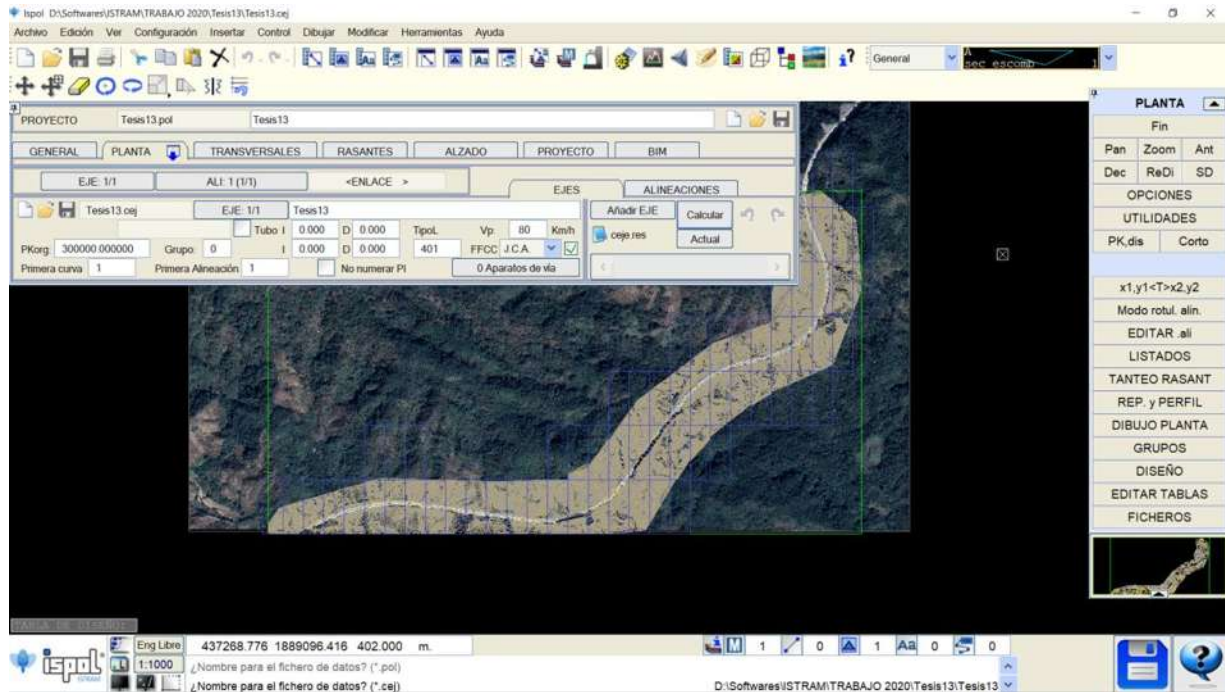


Figura 17 Módulo de Obra Lineal

Fuente: Propia

4.4.2.2 En la pestaña de “General” se insertan las especificaciones por normativa, seleccionando la mexicana (Figura 18) para un camino A4 del tipo Lomerío y velocidad de proyecto de 100 km/h, la cual nos servirá como guía para determinar la calidad del proyecto.



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

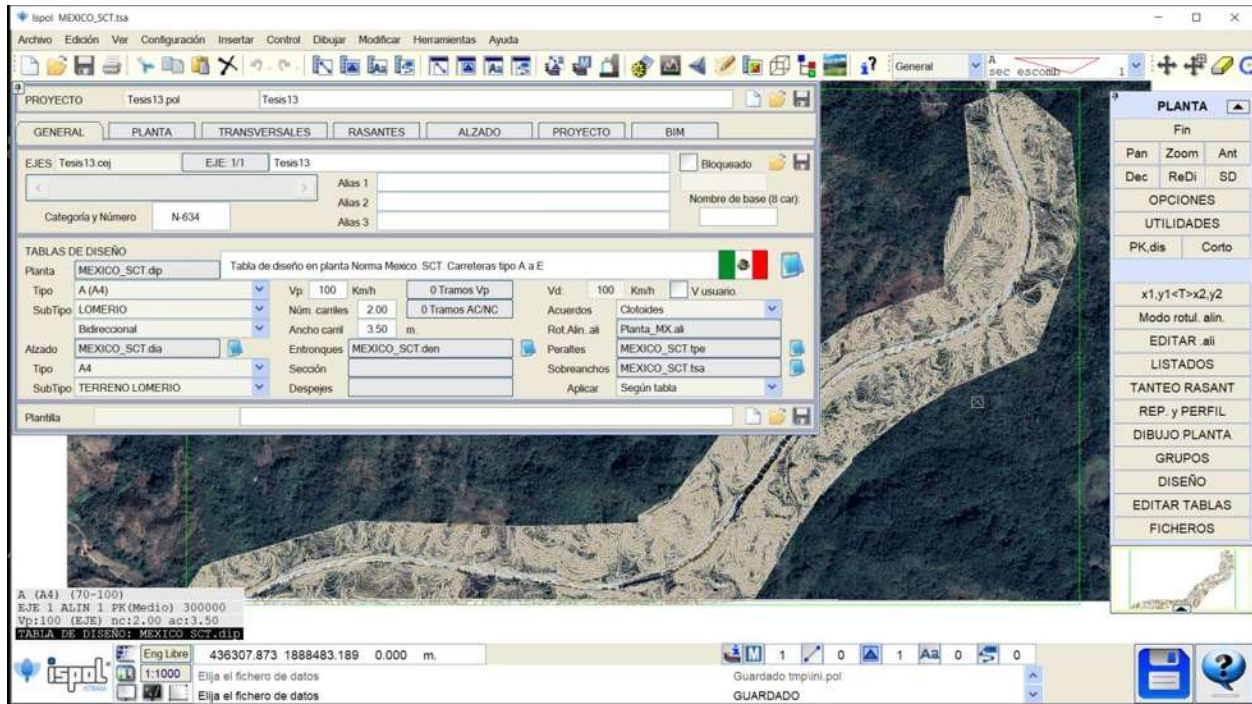


Figura 18 Pestaña "General" con la Normativa Mexicana para el diseño de carreteras Propia

Fuente:

4.4.2.3 La pestaña de Planta (Figura 19) trabaja todo lo relativo al alineamiento horizontal, de acuerdo a los lineamientos establecidos en la Selección de Ruta y Anteproyecto Geométrico, se agregan los ejes necesarios.



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

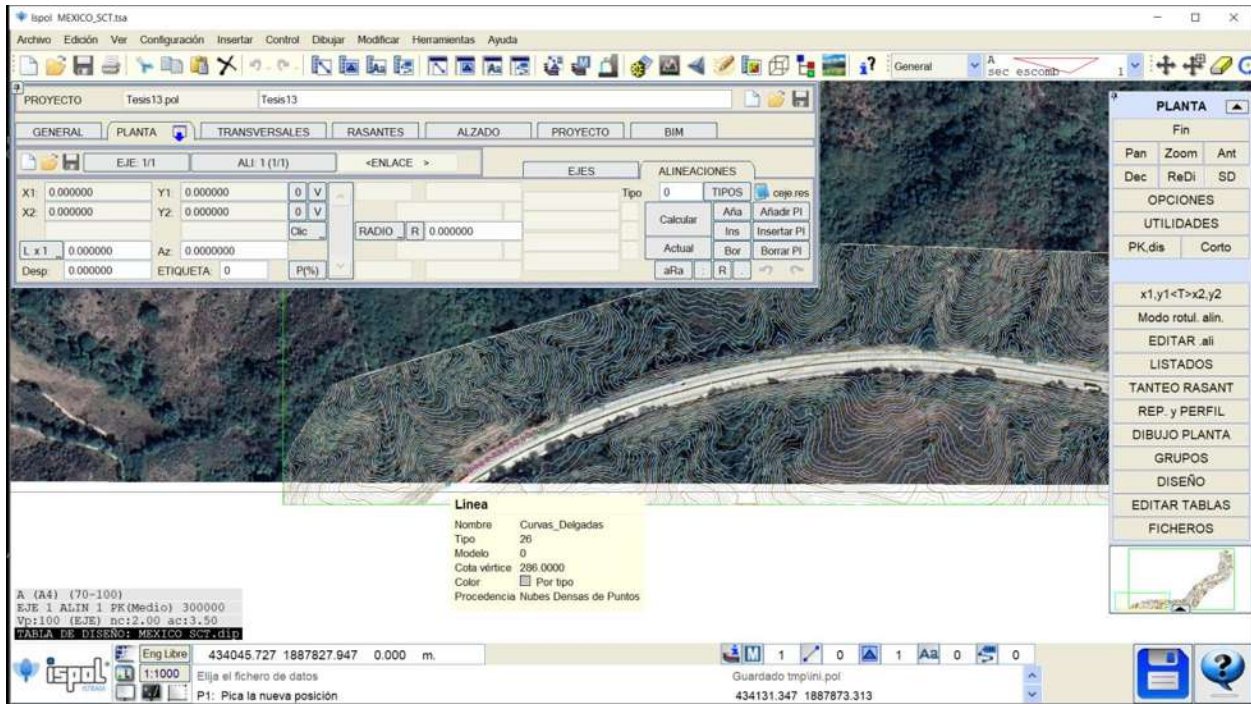


Figura 19 Pestaña "Planta"

Fuente: Propia

4.4.2.4 El programa permite dibujar ya sea por tipo de alineación o por puntos de inflexión (Figura 20), se modifica lo necesario para optimizar los costos finales.



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

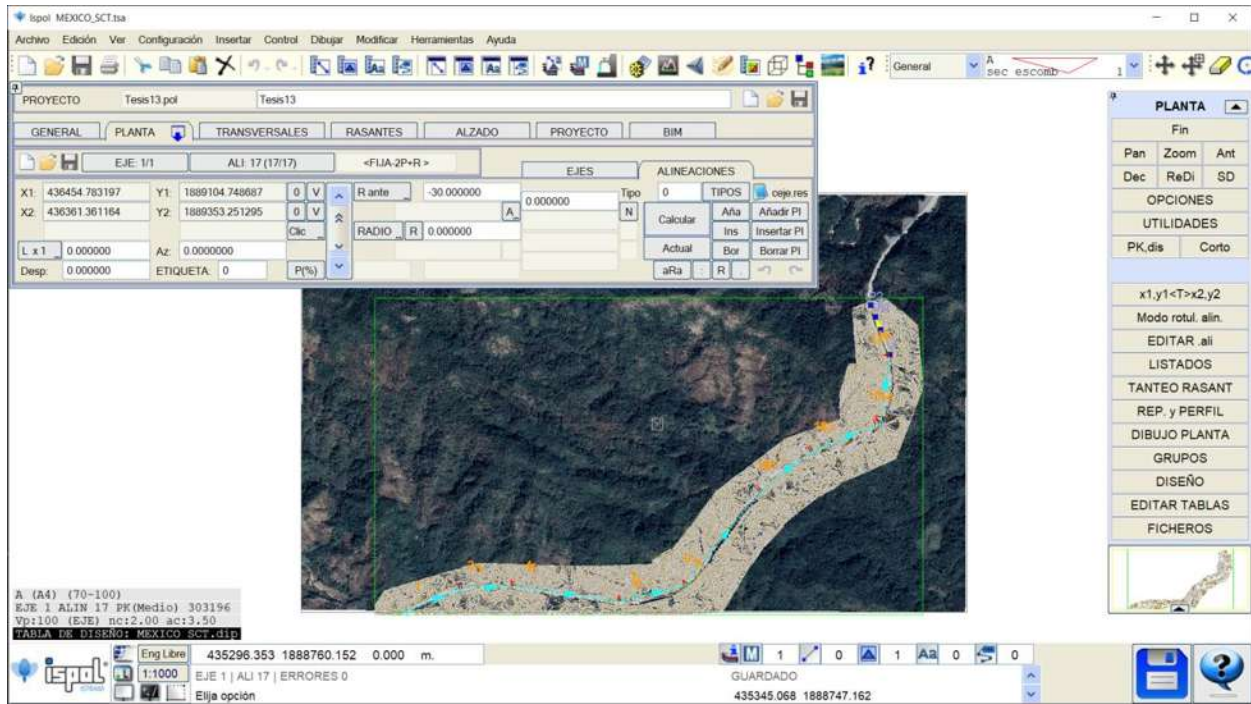


Figura 20 Eje de carretera dibujada con Puntos de Inflexión.

Fuente: Propia

4.4.2.5 Posteriormente se calcula el proyecto y automáticamente se obtienen los PC, PT, radio de curva o grado de curvatura, longitud de la curva, velocidad de proyecto de la misma, así como el cadenamamiento del camino (Figura 21).

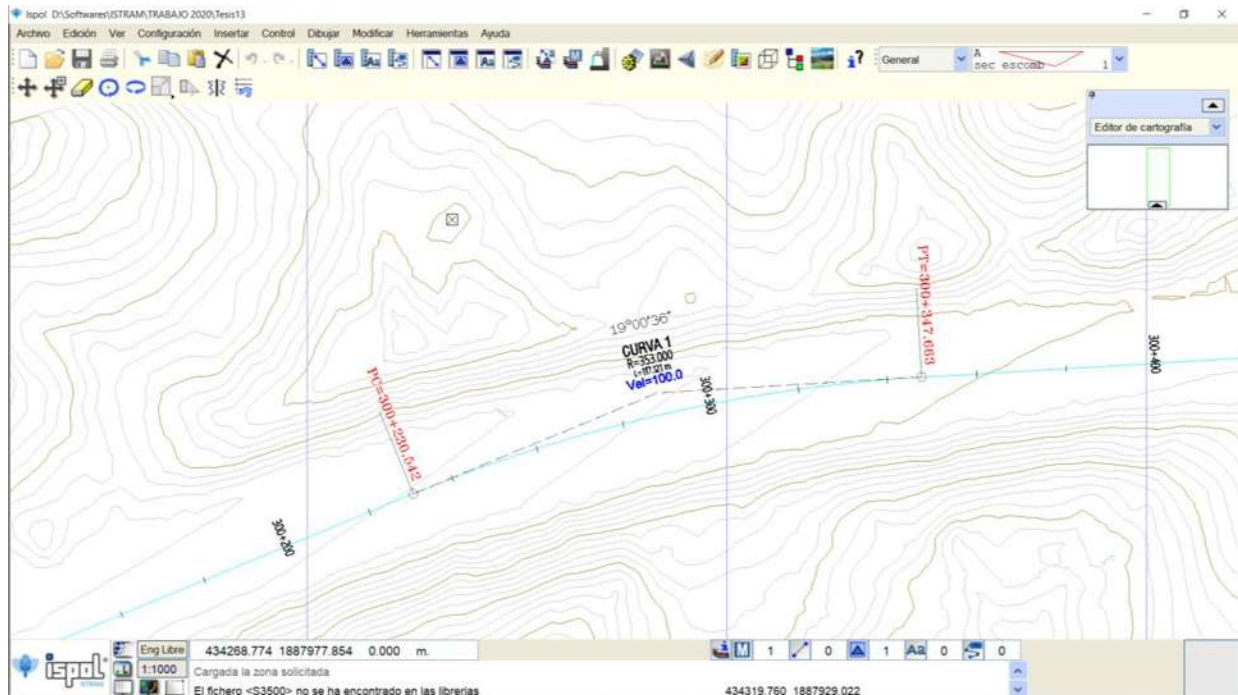


Figura 21 Características básicas del Alineamiento Horizontal

Fuente: Propia

4.1.3 Secciones Transversales

4.4.3.1 Las secciones transversales se trabajan en la pestaña “Transversales” (Figura 22), en donde, primeramente, se selecciona la superficie sobre la cual se dibujarán las secciones en el botón de Control de Superficies y Modelos de Terreno (MDT), posteriormente, se especifica la distancia a la cual estarán las secciones, usualmente se calcula cada una de las secciones transversales, así como los puntos singulares seleccionados para una mayor precisión, generalmente se calculan a cada 20 metros.



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

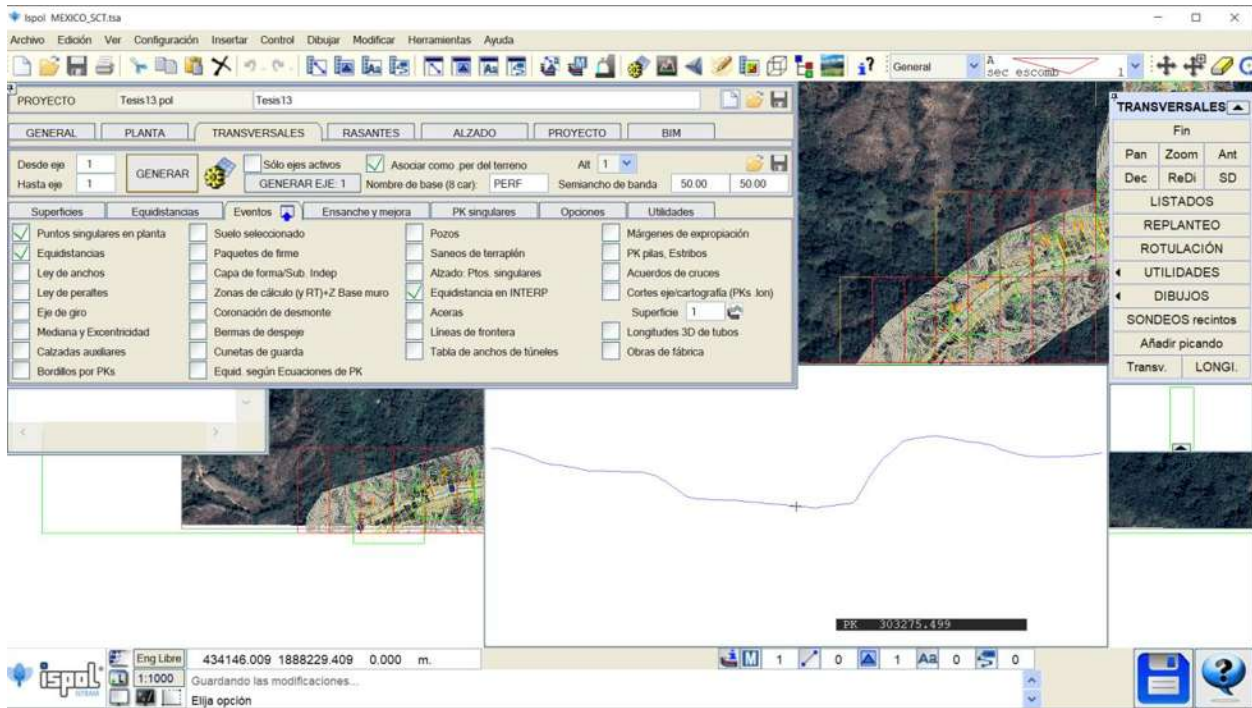


Figura 22 Secciones transversales obtenidas con la Superficie seleccionada (LiDAR).
Propia

Fuente:

4.4.3.2 La herramienta genera automáticamente la rotulación de los cadenamientos en la vista “planta”, eligiendo las equidistancias de acuerdo al proyecto, usualmente se dibujan a cada 100 y 1,000 metros (Figura 23)



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

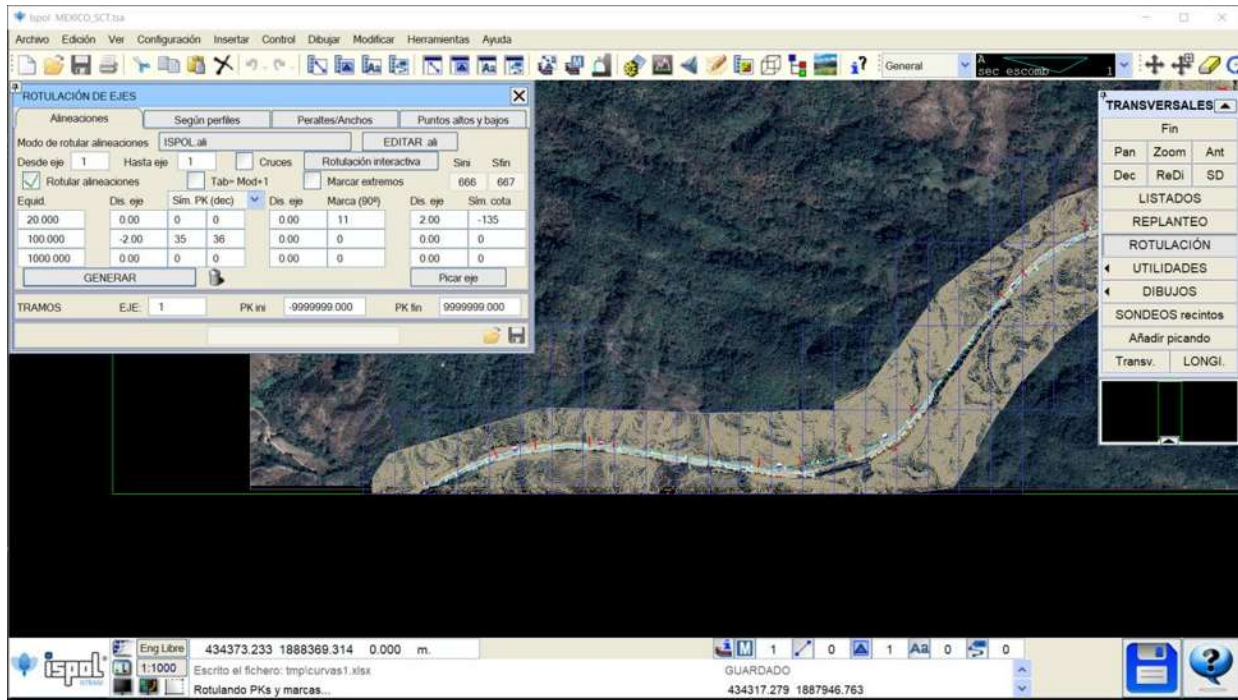


Figura 23 Comando para generar la rotulación de cadenamientos.

Fuente: Propia

4.4.3.3 Al presionar “Generar” (Figura 24) el software realiza el cálculo de las secciones transversales automáticamente, las pestañas inferiores servirían para detallar aún más las características del camino (Figura 24).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

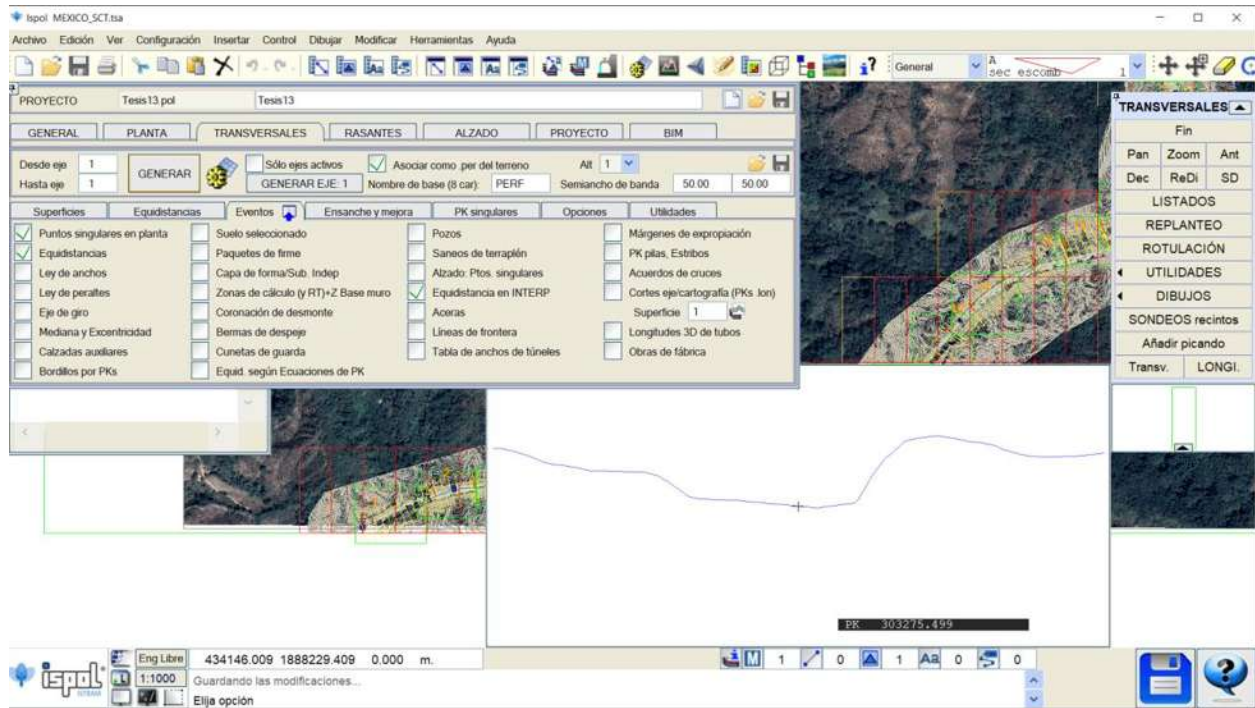


Figura 24 Comando para generar las secciones transversales

Fuente: Propia

4.1.4 Alineamiento Vertical

4.4.4.1 La parte del Alineamiento vertical se elabora en la pestaña de Rasantes (Figura 25), misma que se trabaja ya sea agregando puntos de inflexión vertical o añadiendo vértices sobre la recta ya dibujada.

Figura 24

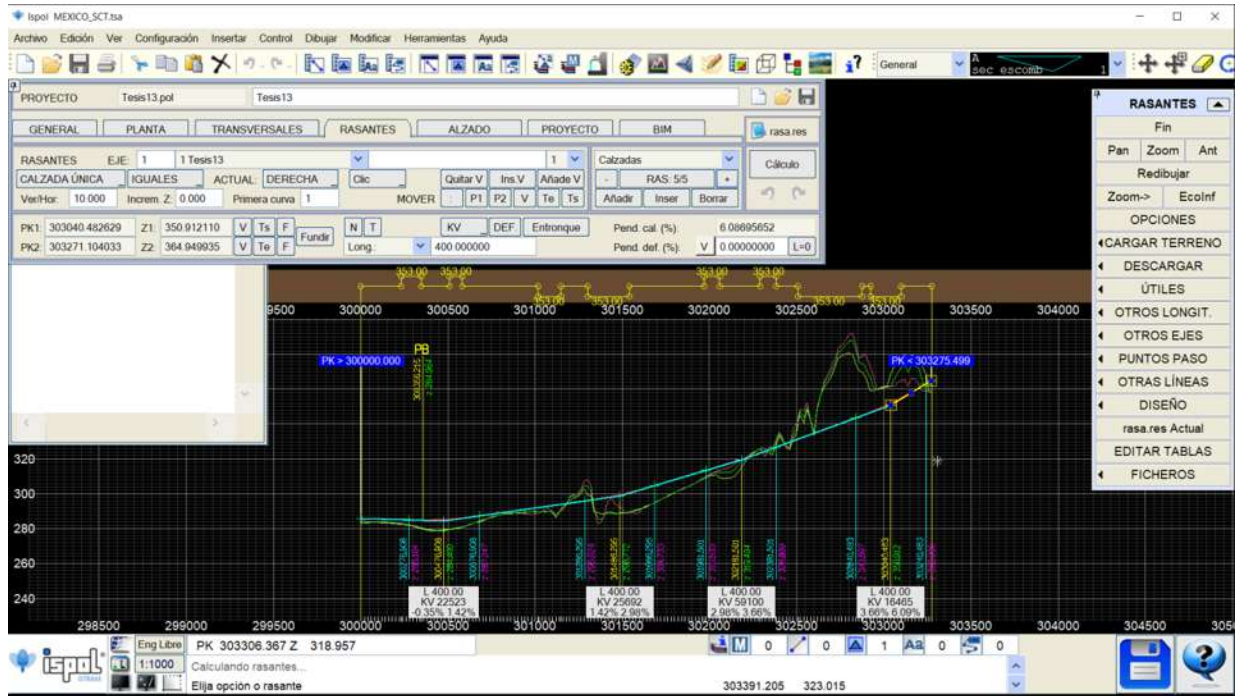


Figura 25 Pestaña de Rasantes con el Terreno sobre el que se dibujará el Alineamiento Vertical. Fuente: Propia

4.4.4.2 Al presionar el botón “Cálculo” se dibujan las curvas con sus características, como lo es la altura del PC y PT, pendiente inicial, pendiente final y longitud de la curva (Figura 26 y Figura 27).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

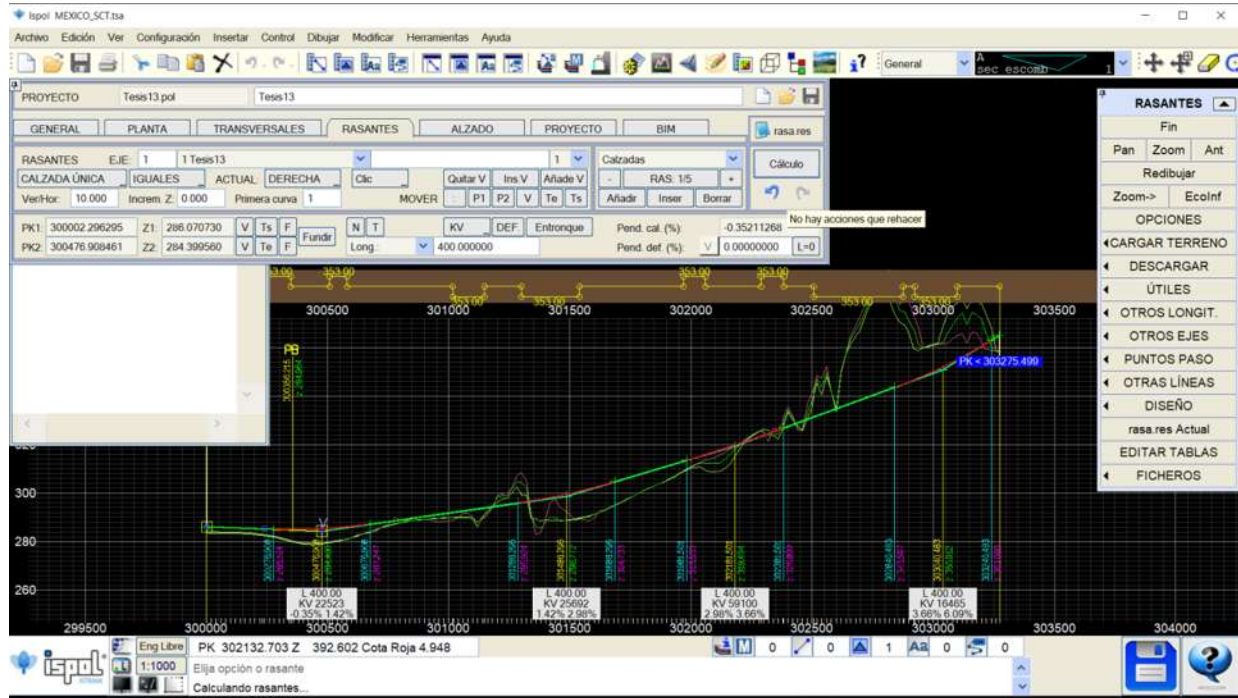


Figura 26 Cálculo de Alineamiento Vertical

Fuente: Propia

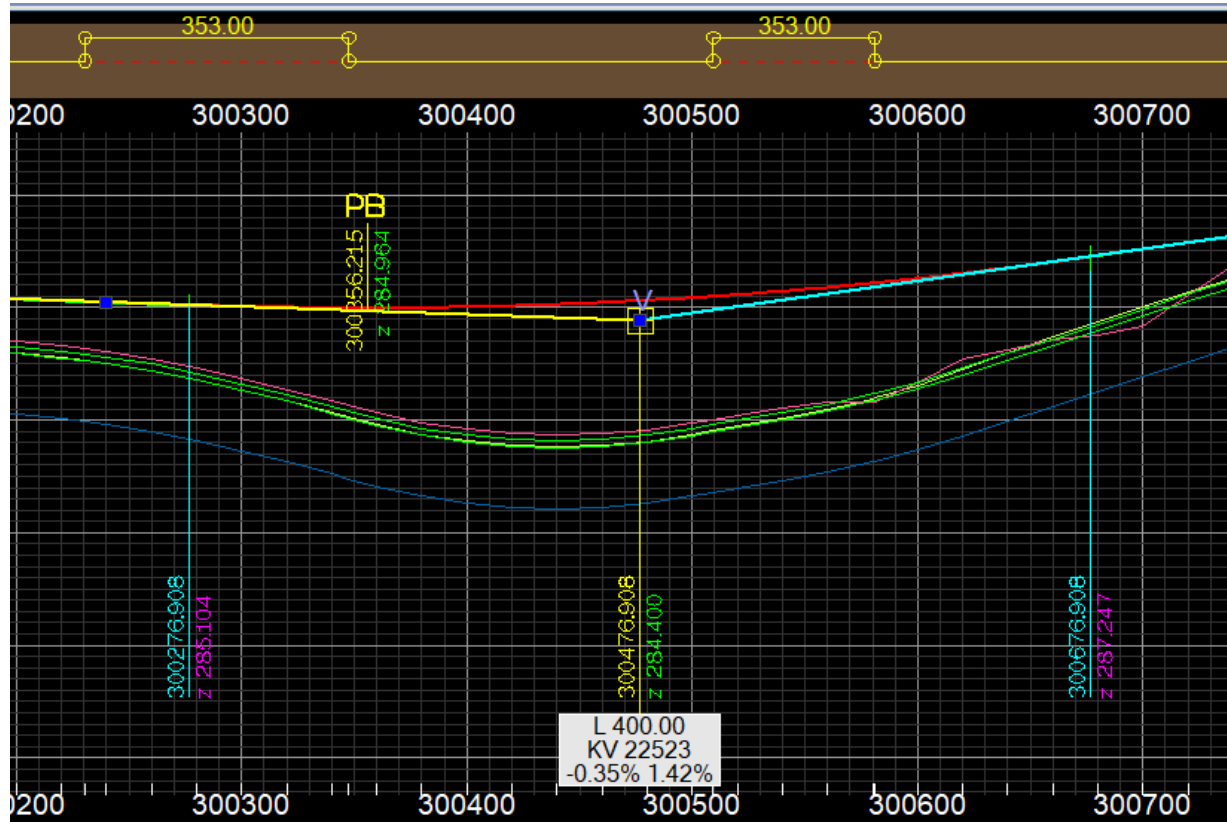


Figura 27 Características básicas del Alineamiento Vertical

Fuente: Propia

4.1.5 Aplicación BIM

4.4.5.1 Dentro de la pestaña de “Alzado” se insertan las características físicas del camino, es decir, en este apartado se introducen los espesores de las capas, las características del terreno natural, cortes, taludes, bermas, cunetas, acotamientos, etc. Para fines de la presente investigación, solo se mencionarán los valores introducidos en algunas secciones del “Alzado”, cabe mencionar que, para un diseño adecuado, el especialista en proyecto geométrico deberá hacer un análisis riguroso sobre los valores que se deben insertar, con el fin de optimizar lo máximo posible los activos viales (Figura 28).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

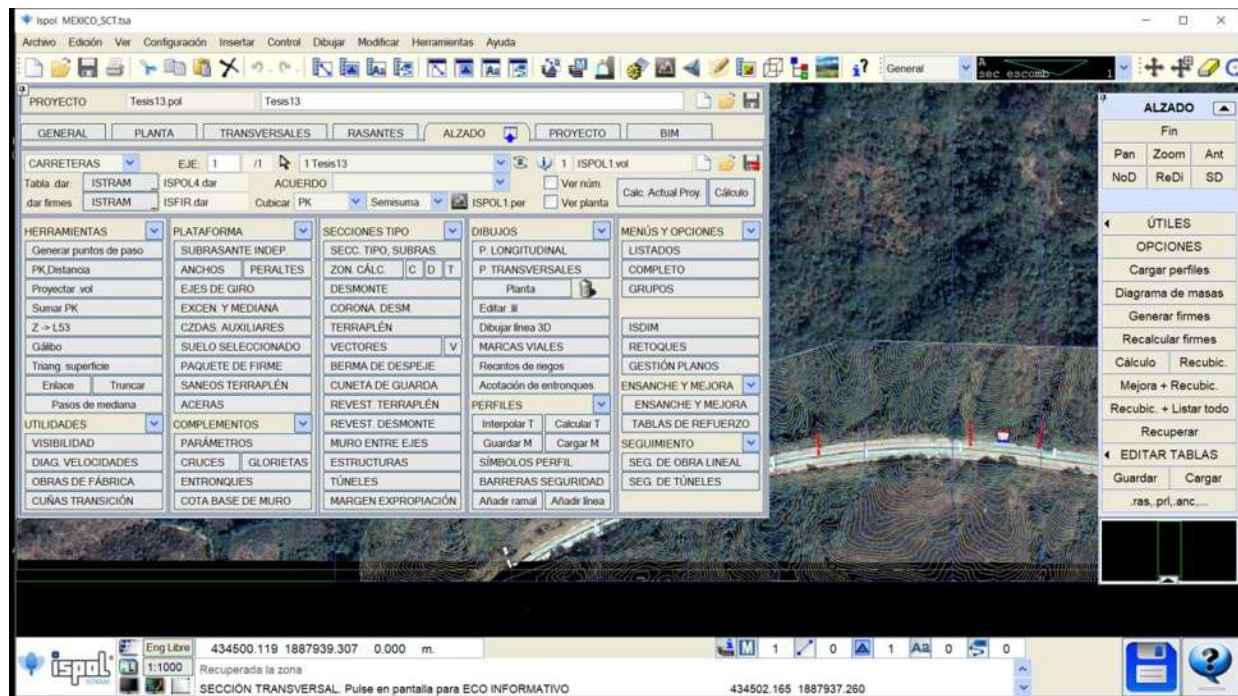


Figura 28 Pestaña "Alzado" del programa ISTRAM

Fuente: Propia

4.4.5.2 Las secciones tipo se refiere al proyecto de pavimentos, en donde se insertarán valores como el espesor, la pendiente transversal y el ancho del mismo (Figura 29).

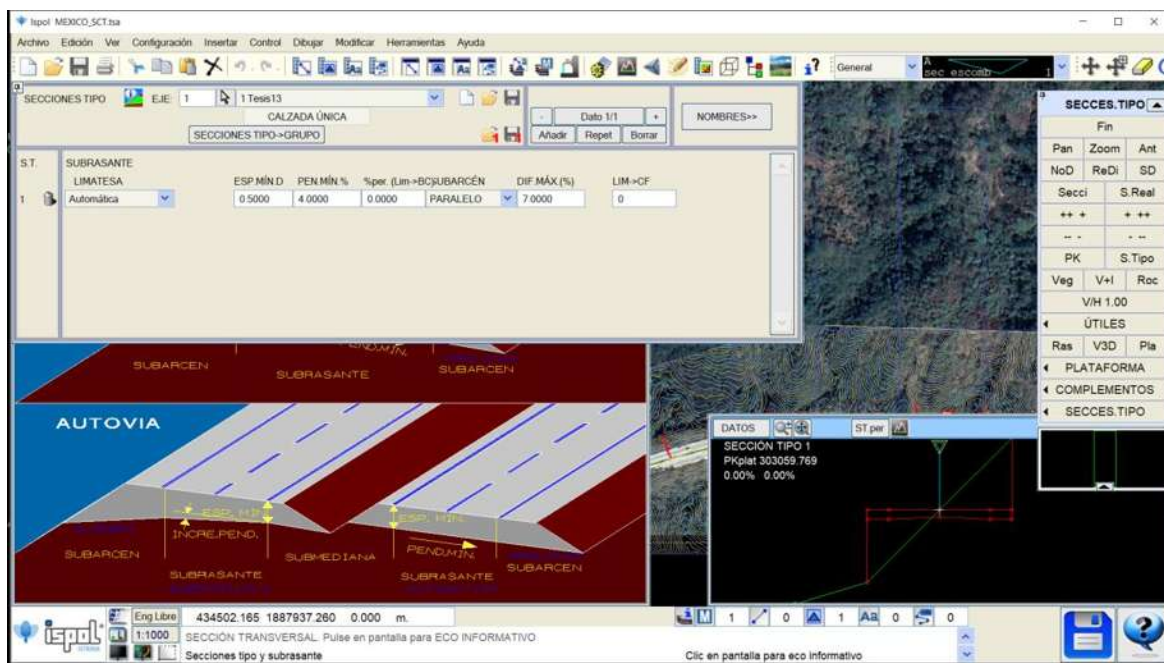


Figura 29 Secciones tipo de la capa "Pavimento"

Fuente: Propia



4.4.5.3 La zona de cálculo hace referencia a los espesores de los estratos del terreno natural, es decir, se clasifica directamente el terreno natural por cubierta vegetal (despalme) terreno inadecuado, terreno competente y las diferentes fajas de roca por medio de la asignación de un espesor a cada elemento, se representa con líneas transversales de color verde y azul (Figura 30). Identificar los espesores de los estratos mencionados anteriormente, impactan de manera directa en los volúmenes de los movimientos de tierras, así como en el costo de la obra.

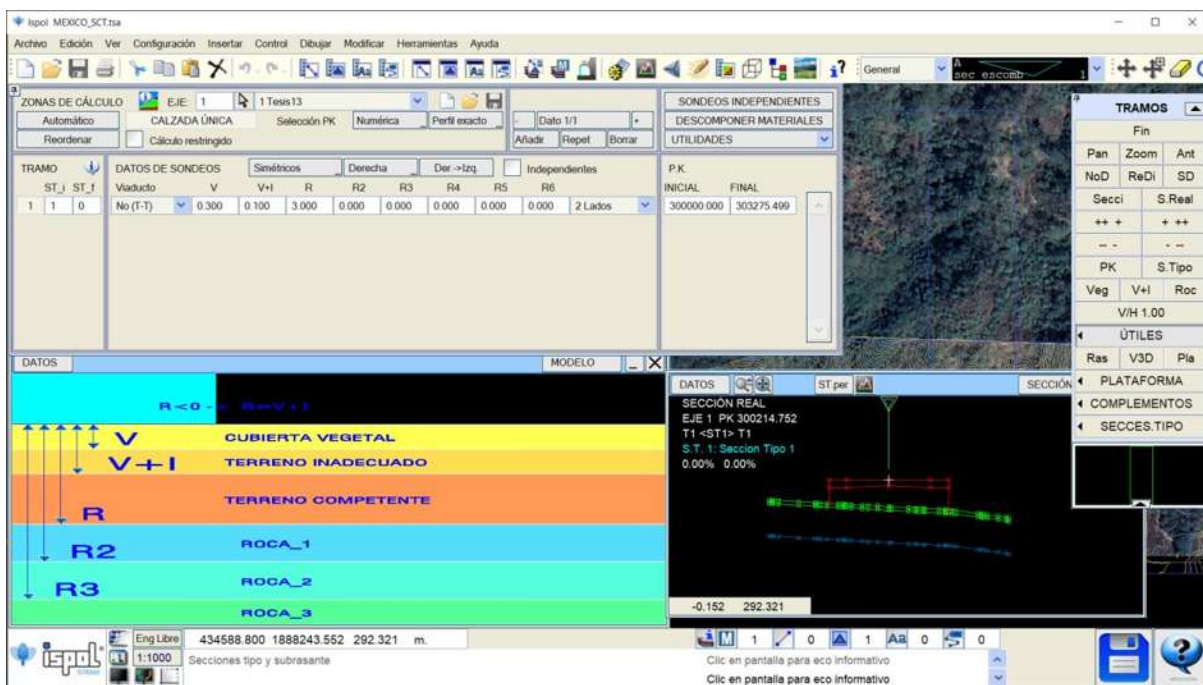


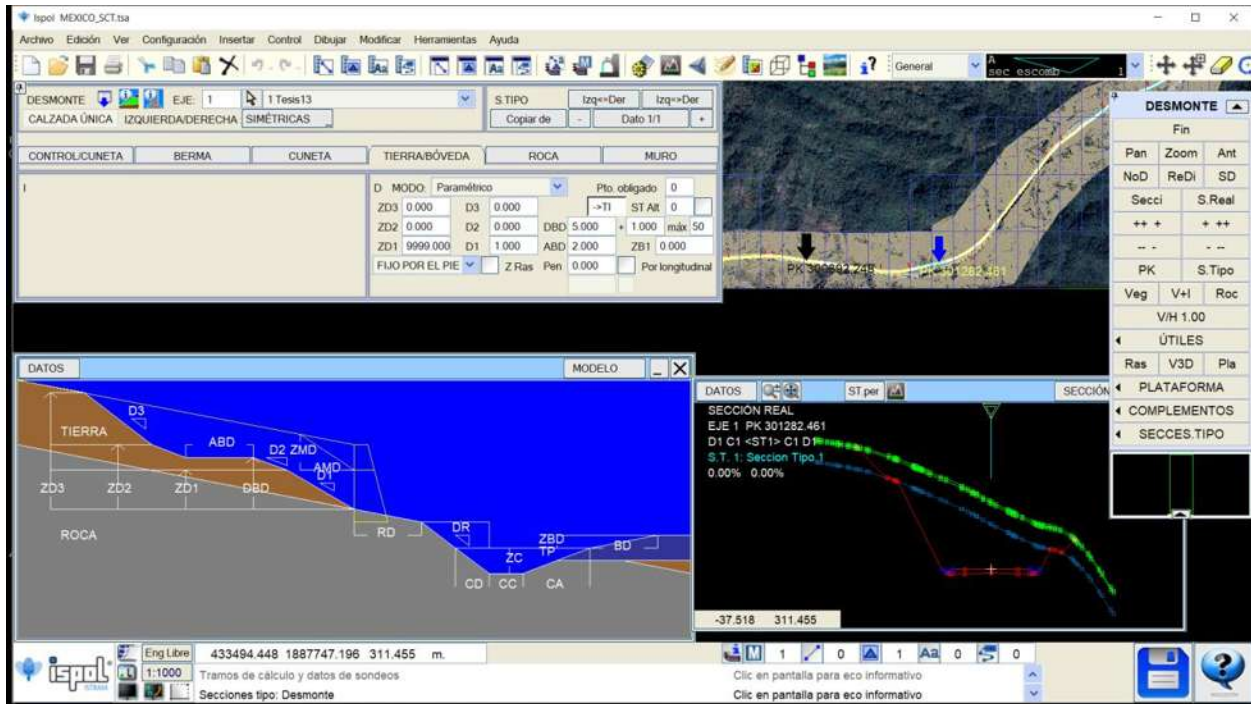
Figura 30 Zona de cálculo

Fuente: Propia

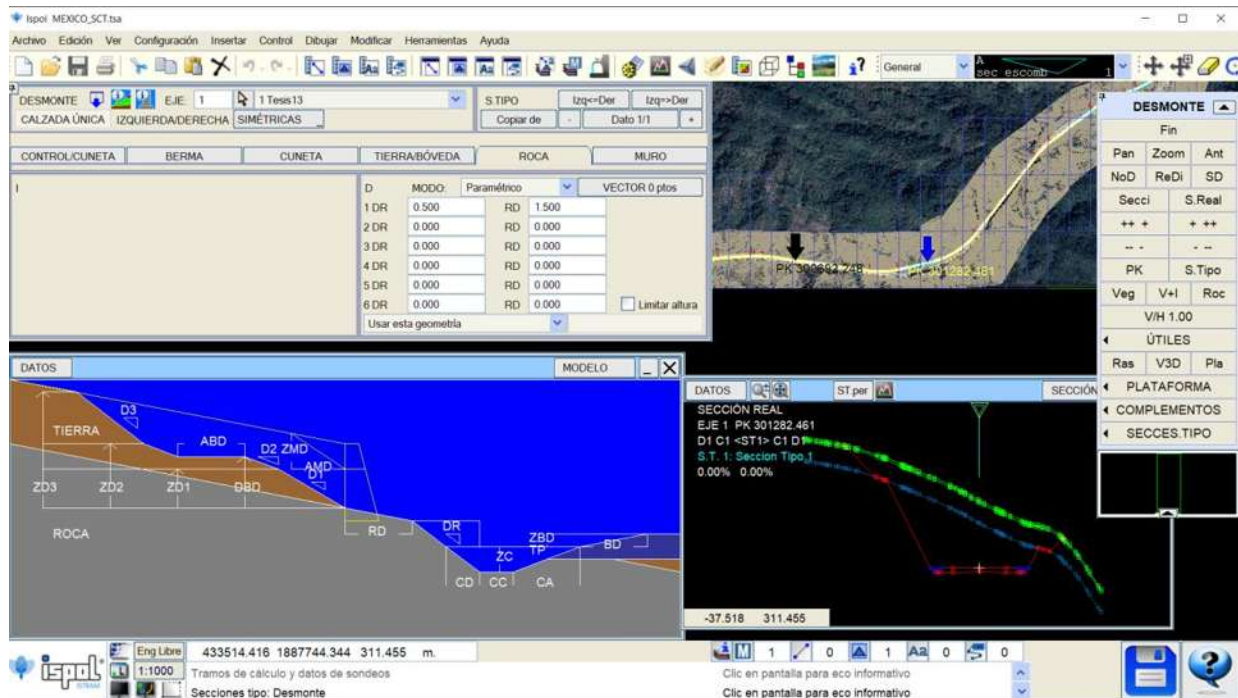
4.4.5.4 El desmote especifica las características de los cortes a lo largo del proyecto, es decir, se configura los taludes que tendrían los cortes, en el estrato de suelo, así como en el estrato de roca (Figura 31 y Figura 32).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO, EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM



Fuente: Propia



Fuente: Propia

4.4.5.5 Además, en este apartado también se trabajan las características propias de la cuneta, desde su forma geométrica hasta el espesor de la plantilla (Figura 33).

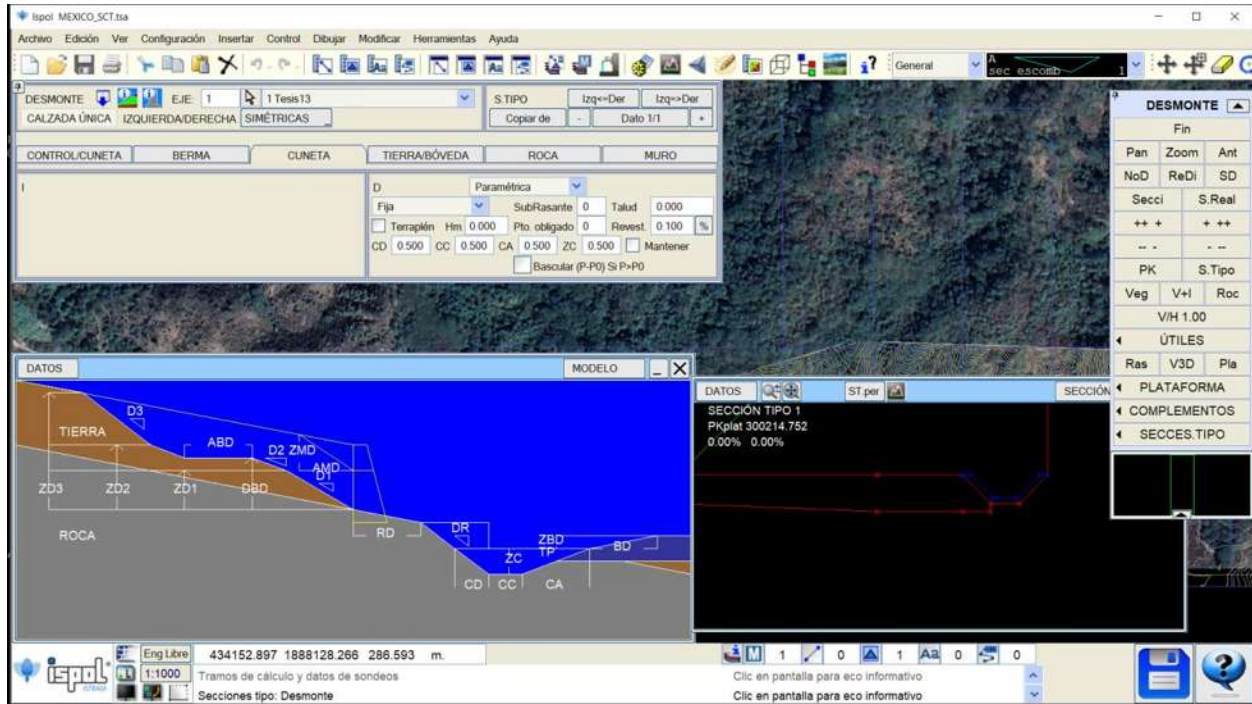


Figura 33 Características de la Cuneta

Fuente: Propia

4.4.5.6 Las particularidades de los terraplenes se darán en el botón “Terraplén”, donde se puede considerar la cuña de afinamiento o cuña de sobre ancho, la forma del talud del terraplén y si por cuestiones de derecho de vía se necesita o no un muro de contención (Figura 34 y Figura 35).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

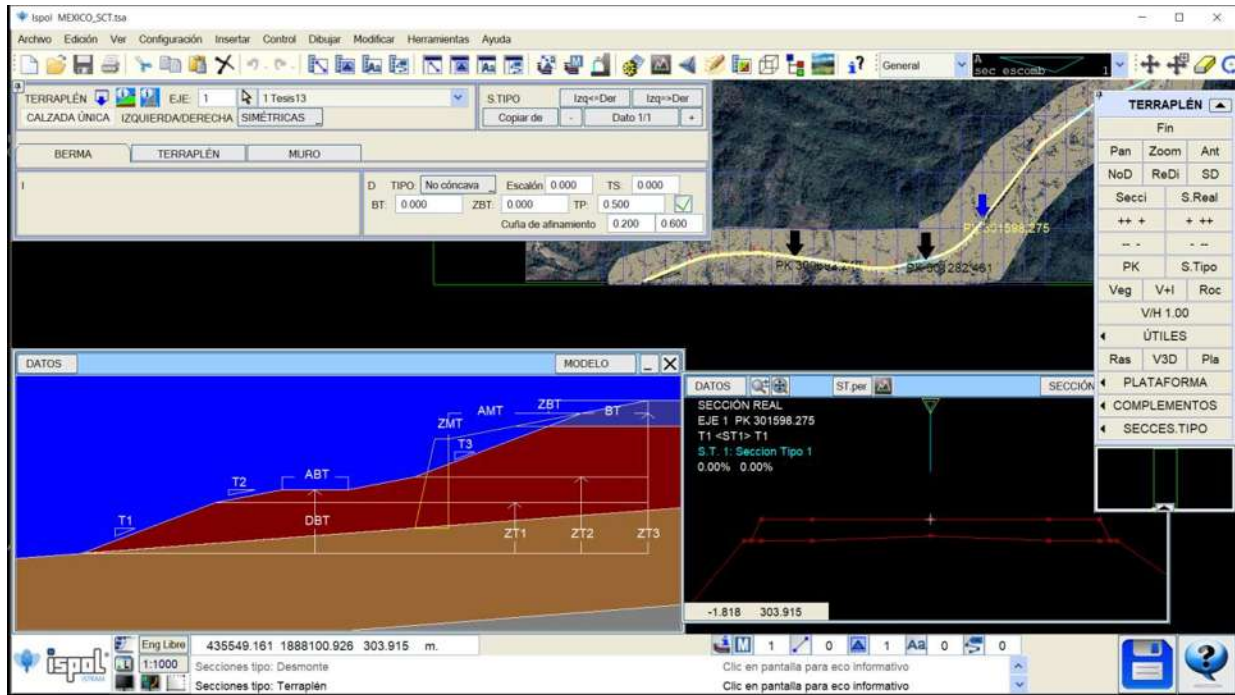


Figura 34 Consideraciones para la Cuña de Sobre Ancho

Fuente: Propia

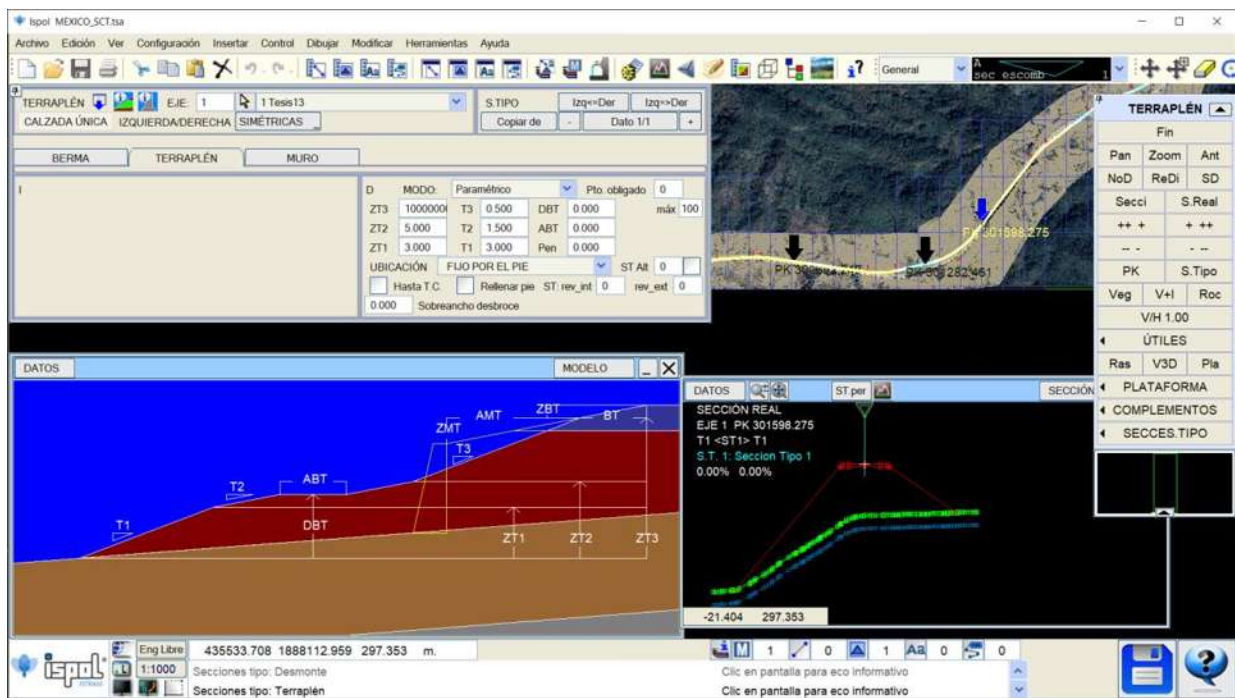


Figura 35 Propiedades del Talud del Terraplén

Fuente: Propia



4.4.5.7 El sobre ancho y la sobre elevación (Anchos y Peraltes) de las curvas horizontales se darán de alta en los apartados de “Anchos” y “Peraltes”, respectivamente, calculando automáticamente, de acuerdo al Alineamiento Horizontal, los valores de dichos conceptos (Figura 36 y Figura 37).

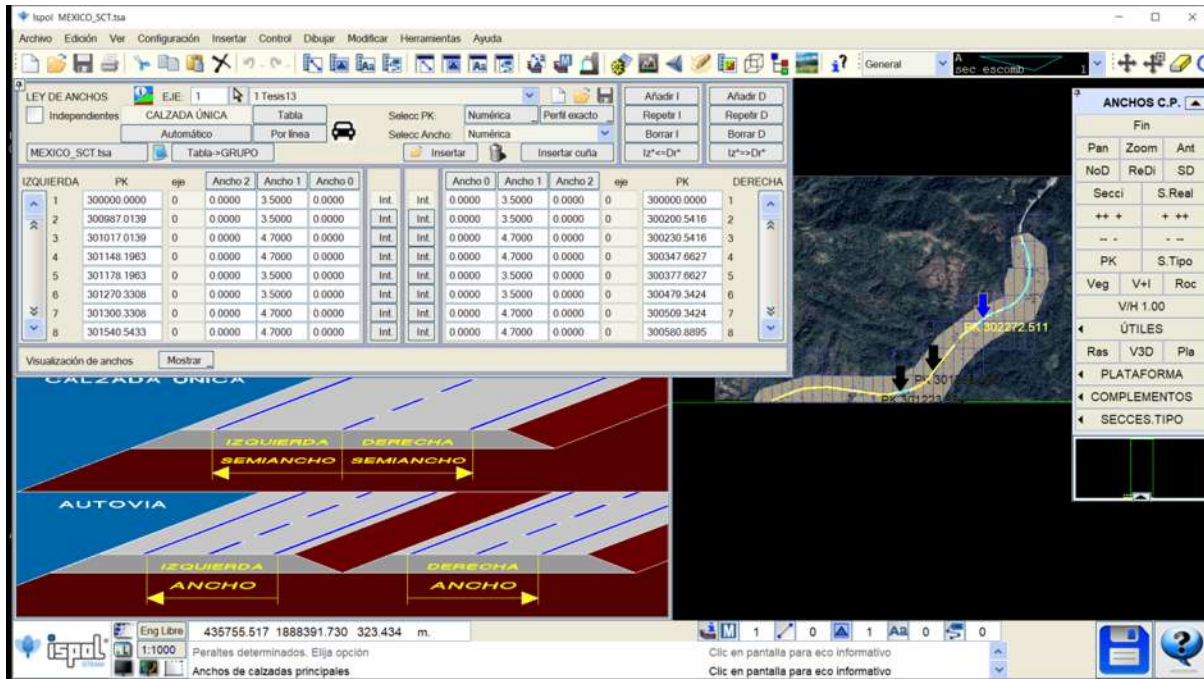


Figura 36 Tabla de Sobre Anchos

Fuente: Propia



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

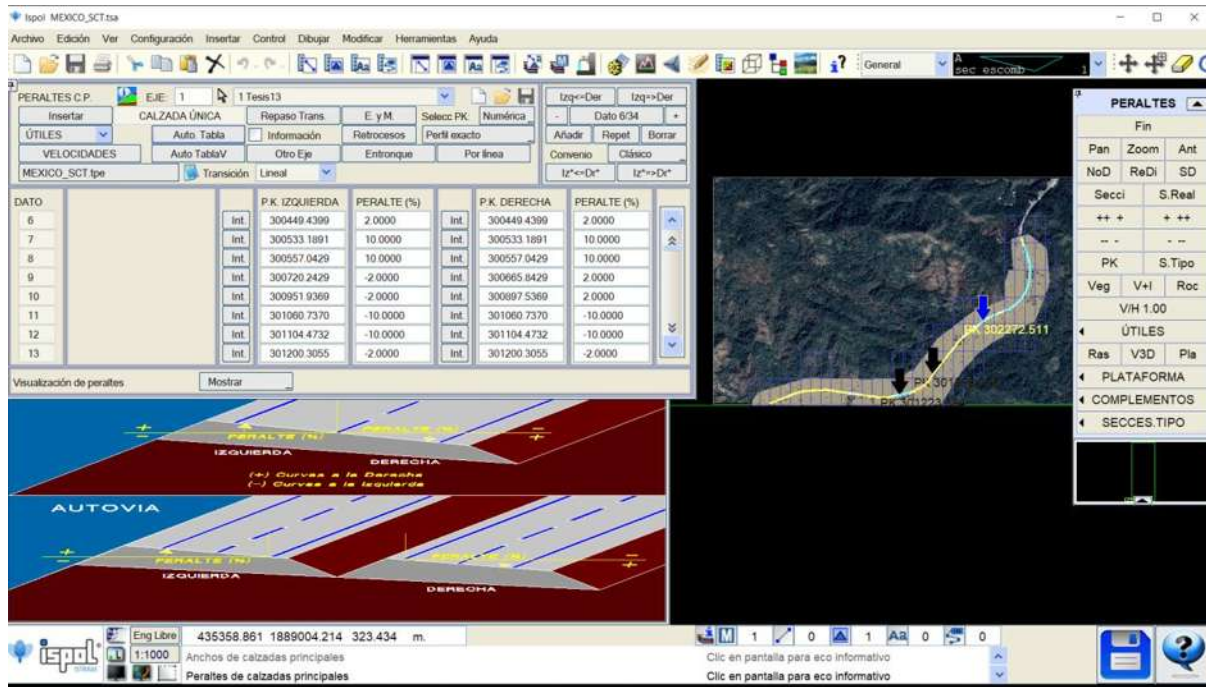


Figura 37 Tabla de Peraltes (Sobre elevación)

Fuente: Propia

4.4.5.8 La sección tipo para las terracerías se especificará en el “Suelo Seleccionado”, insertando las características que tendrían las capas inferiores a la subrasante en los suelos, así como en los estratos de roca, si el proyecto lo requiere, se podrían diferenciar (a partir del eje) los espesores de cada capa para el Lado Izquierdo como para el lado derecho (Figura 38).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

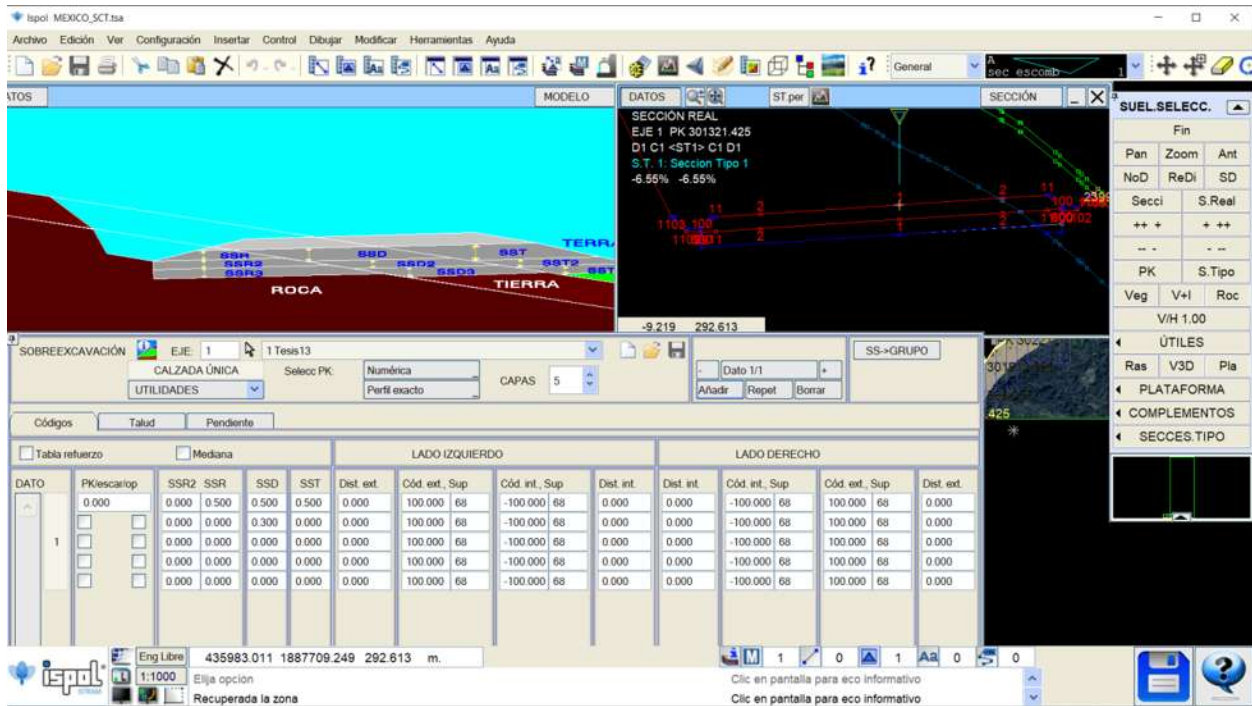


Figura 38 Espesores de las capas inferiores a la Subrasante (Suelo Seleccionado).
Propia

Fuente:

4.4.5.9 Los Pavimentos se cargarán en la pestaña “Paquete de Firmes”, de acuerdo al diseño realizado previamente por el Método de preferencia, de manera general, para los pavimentos flexibles serán 3 capas, la Base Hidráulica, Base Asfáltica (Base Negra) y la superficie de rodamiento o carpeta asfáltica, para los Pavimentos Rígidos, se coloca, usualmente, la sub base y la carpeta de concreto hidráulico, es decir, es aquí donde se colocan los espesores y tipos de capas a utilizar dentro de nuestro Proyecto (Figura 39).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

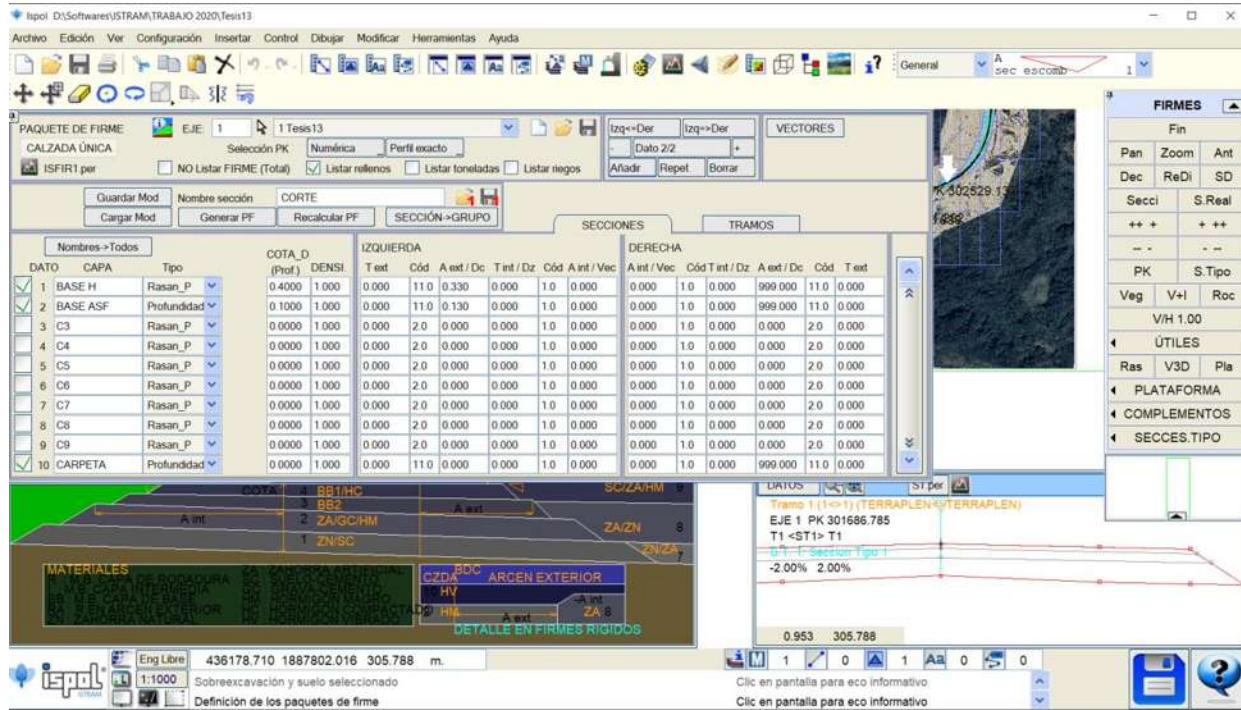


Figura 39 Pestaña de los Pavimentos (Paquete de Firmes).

Fuente: Propia

4.4.5.10 De esta manera, el Proyecto geométrico estaría cargado con propiedades básicas que todo Proyecto Ejecutivo debe de contener, Lo siguiente escalona a calcular todas las volumetrías producto de los parámetros insertados en las fases previas (Figura 40).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO, EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

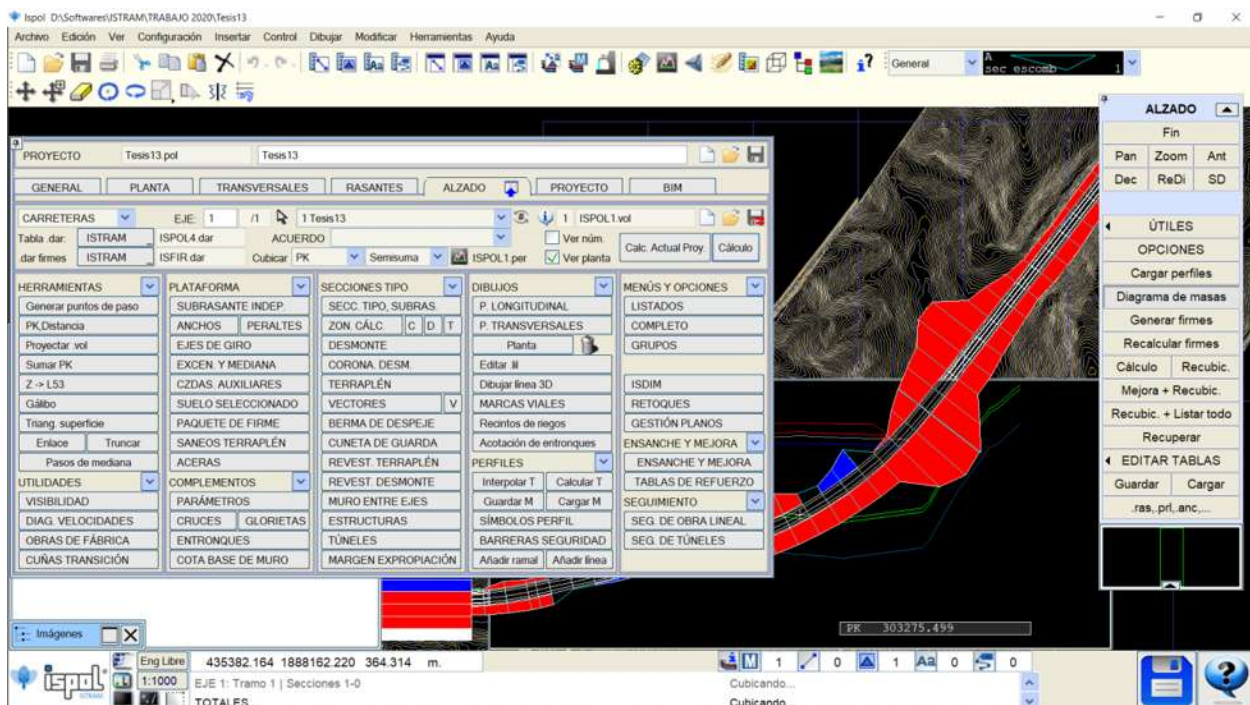


Figura 40 Cálculo del Proyecto Geométrico

Fuente: Propia

4.4.5.11 Procediendo a la fase “BIM”, en donde, primeramente, debemos seleccionar los volúmenes a considerar en el Cálculo de Proyecto (Figura 41). Se Genera el Proyecto en la plataforma y se podrá visualizar el renderizado del camino, de acuerdo a las especificaciones insertadas en las fases previas (Figura 42, Figura 43, Figura 44). Es en esta etapa, en donde se exporta el Proyecto a un formato “Universal” para continuar con las etapas consecuentes de la Metodología “BIM”.



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO, EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

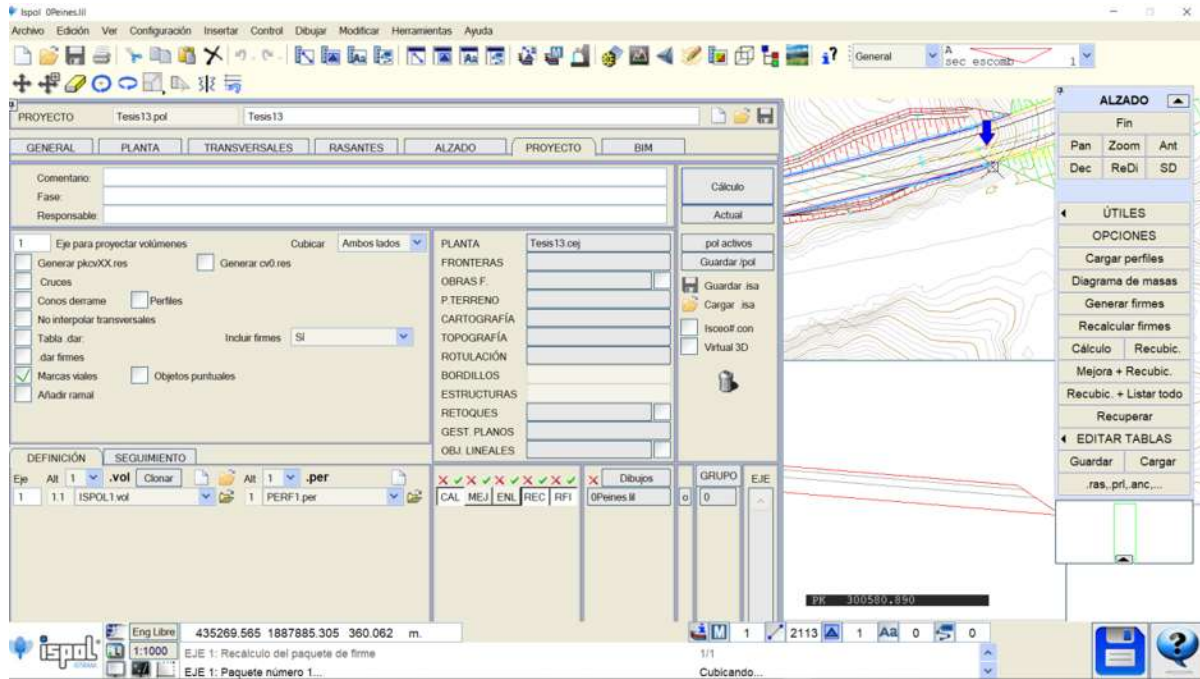


Figura 41 Cálculo del Proyecto con sus secciones de construcción.

Fuente: Propia

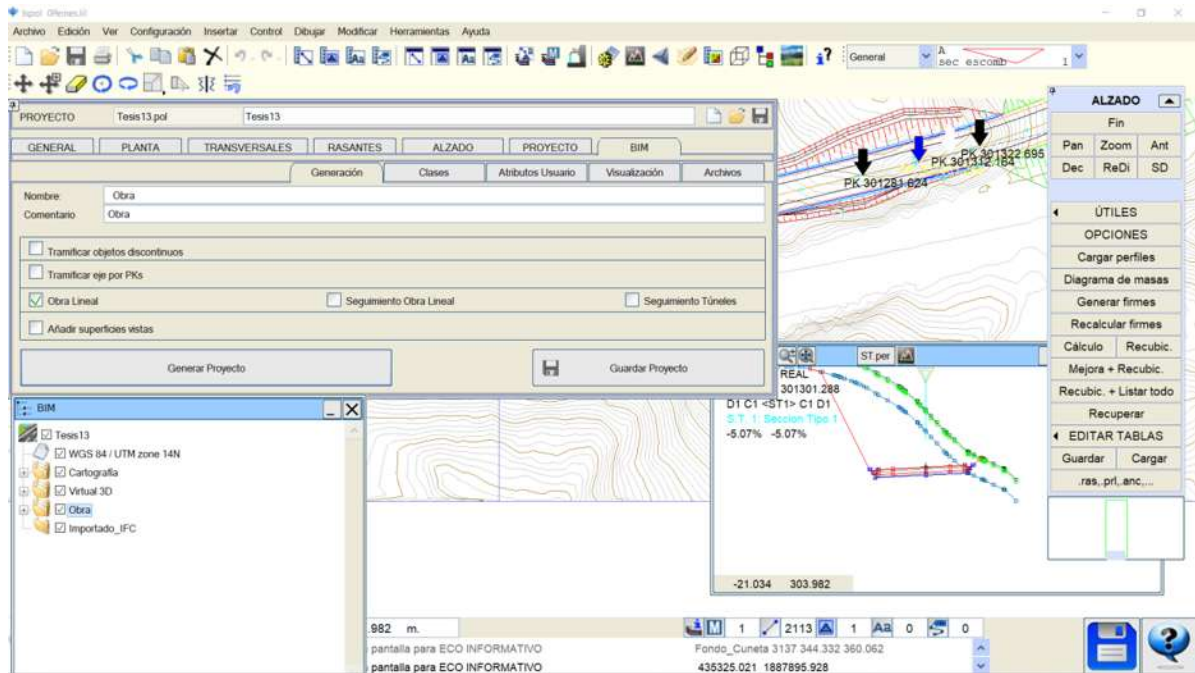


Figura 42 Generador de Proyecto con las propiedades de la carretera

Fuente: Propia



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

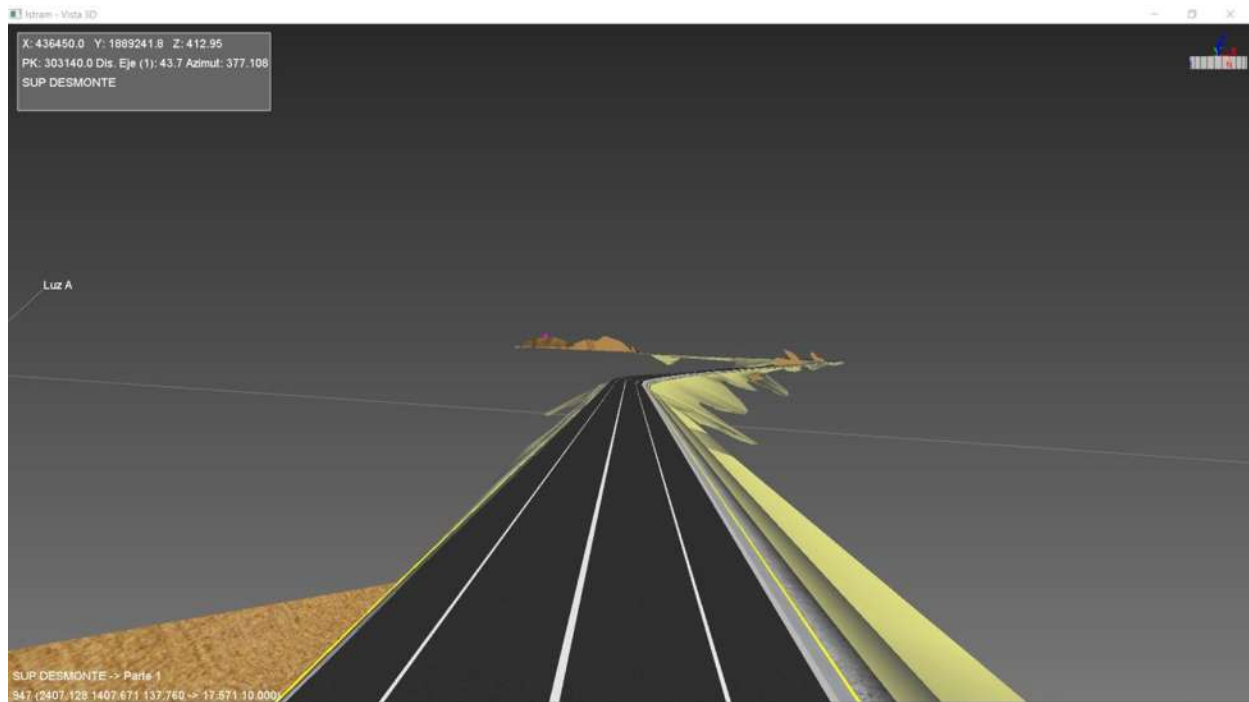


Figura 43 Render de Proyecto con los elementos que conforma una carretera

Fuente: Propia

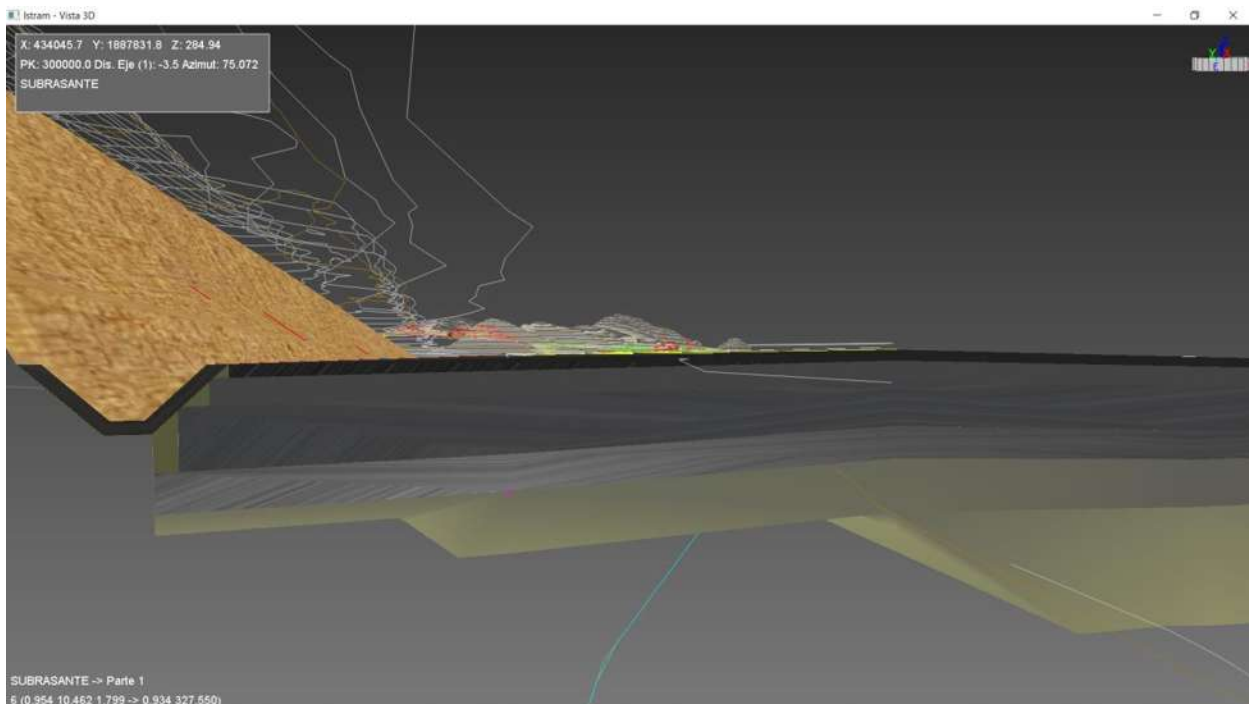


Figura 44 Capas del Pavimento visualizadas en el Render

Fuente: Propia



5. Análisis de resultados

La zona de estudio se encuentra en la carretera federal de altas especificaciones ruta 95D “México – Acapulco” en el tramo “Cuernavaca - Acapulco” del km 333+780 al km 337+060 entre los centros urbanos “Omitlán” y “Dos Arroyos” (Figura 45).

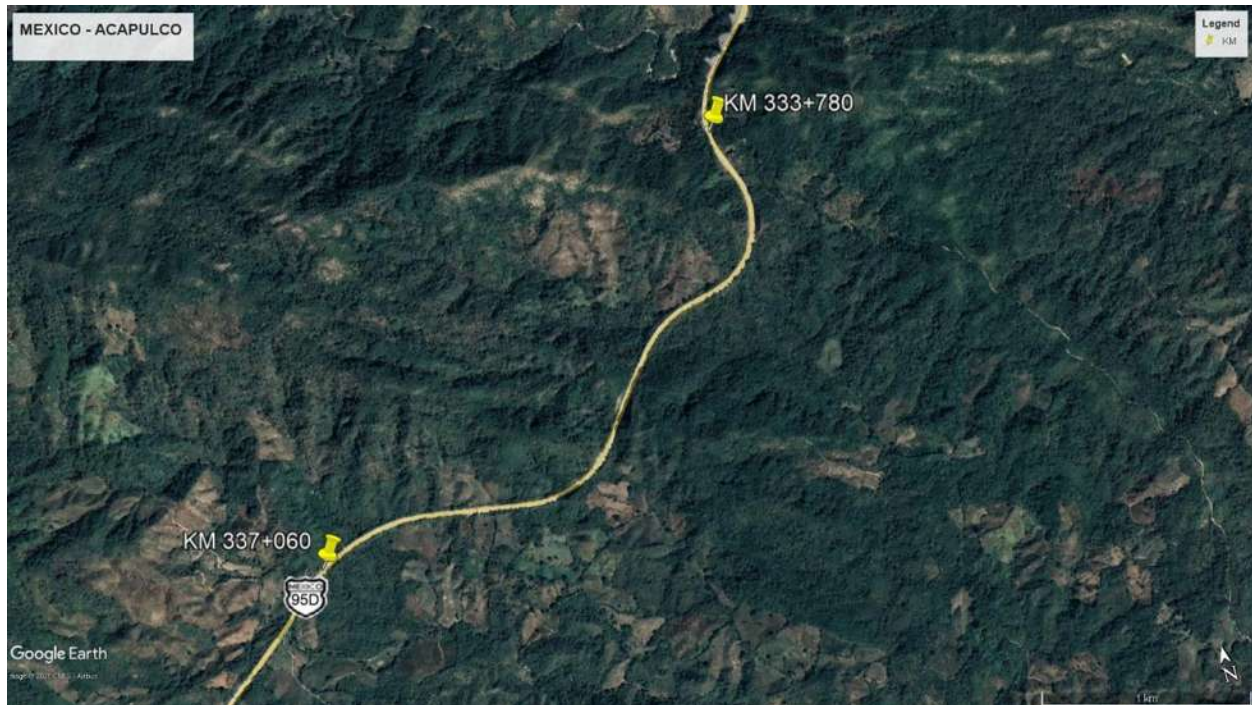


Figura 45 Localización geográfica de la zona de estudio Fuente: Propia

Se cuenta con el Levantamiento topográfico realizado con Escáner Laser, cargando más de 141 millones de puntos a lo largo de la Autopista, recortando dichos puntos a los encontrados del km 333+780 al km 337+060, siendo la cantidad de 169,665 puntos (Figura 46).

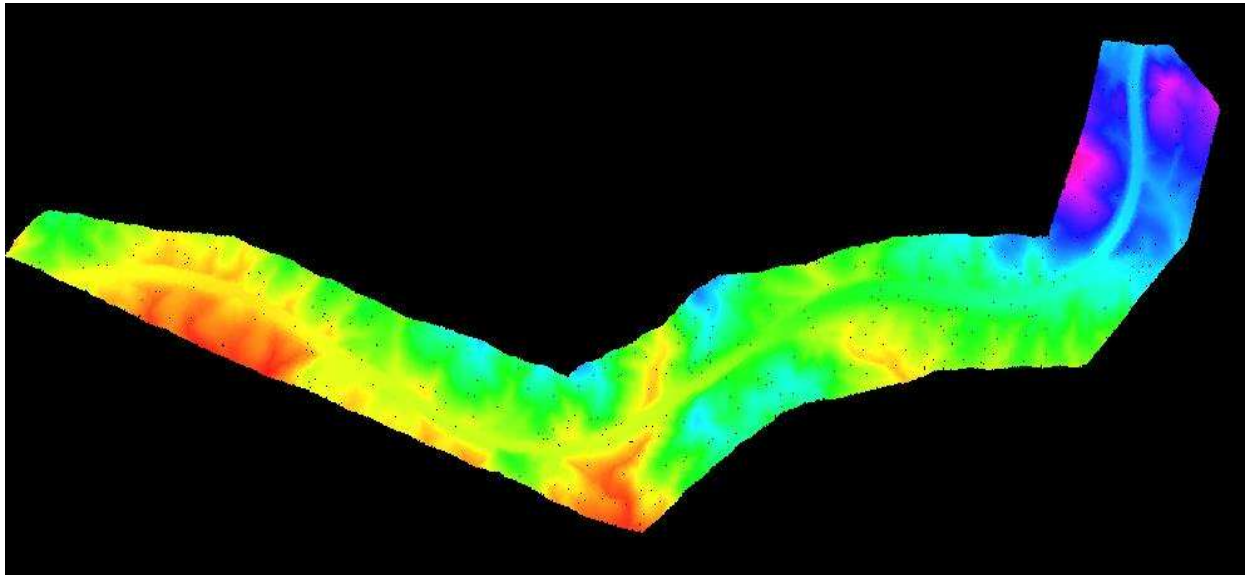


Figura 46 Levantamiento topográfico con Escaner Laser Fuente: Propia

En este caso, se referencio en el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zona 14; para una mejor visualización de la topografía, se obtienen las curvas de nivel a cada metro y se carga una ortofoto descargada de la base de datos de Google Earth (Figura 47).



Figura 47 Curvas de Nivel a cada metro y Ortofoto de Google Earth Fuente: Propia



Después de asignar la normativa de la SCT para la revisión del Trazo Horizontal, Vertical y Secciones transversales de construcción, se dibuja el Alineamiento Horizontal con todas sus características geométricas, resultando 8 curvas horizontales, el Radio Máximo de curva es de $R= 353$ (Figura 48 y Figura 49).

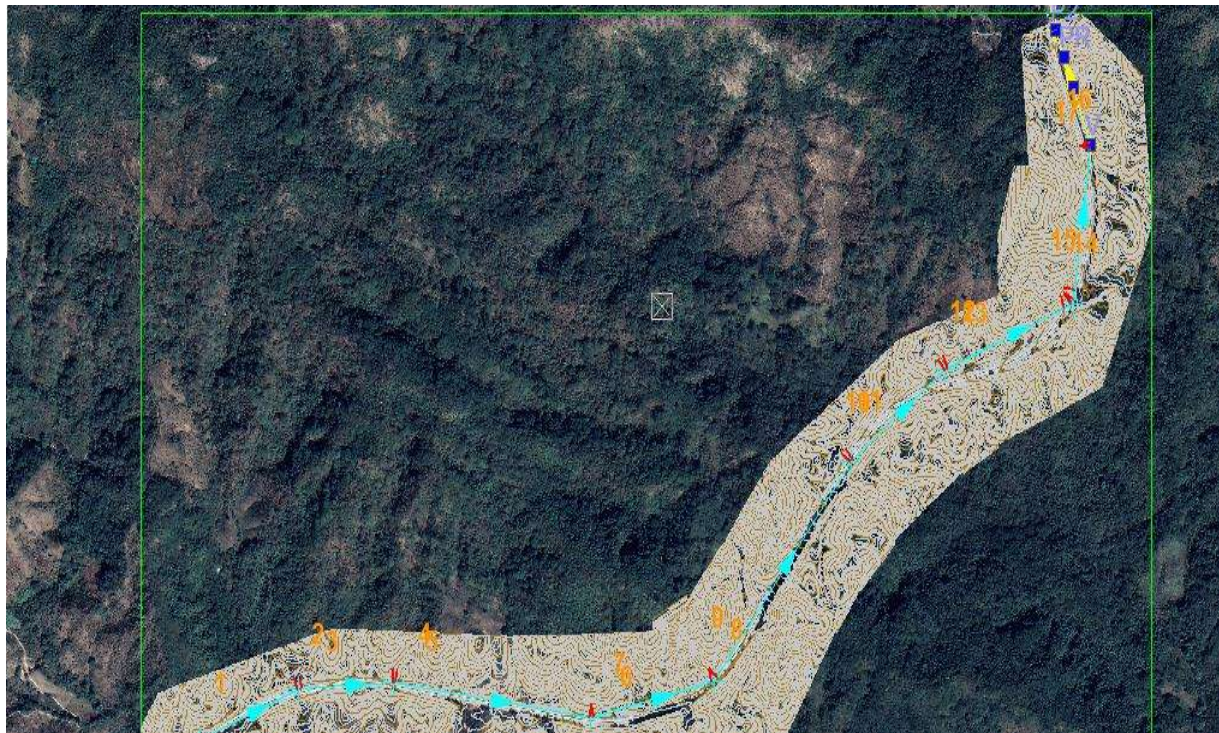


Figura 48 Trazo del Alineamiento Horizontal

Fuente; Propia

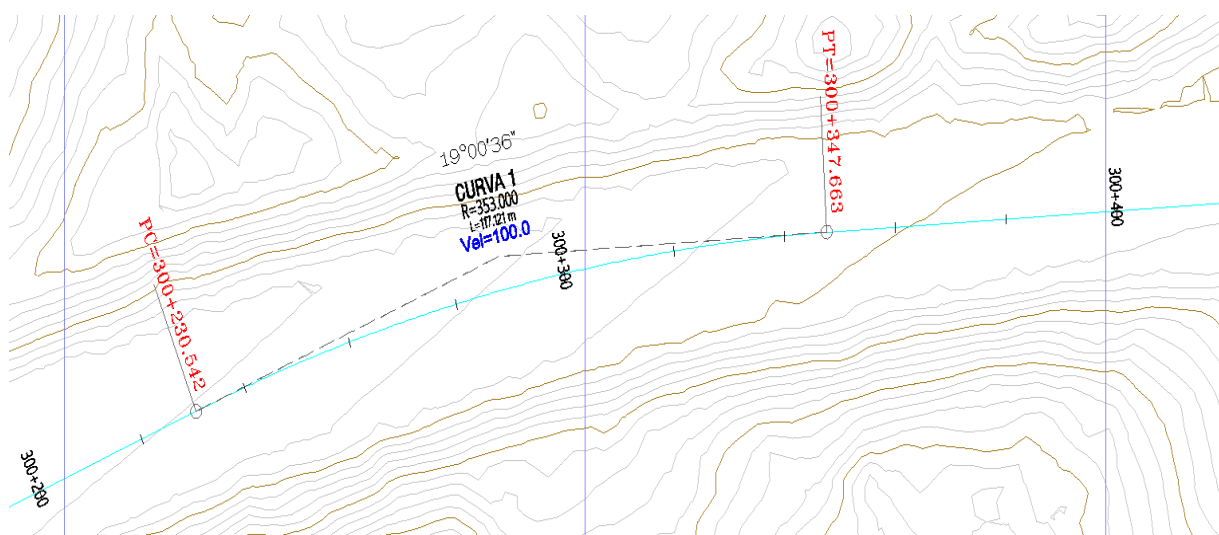


Figura 49 Características del Alineamiento Horizontal

Fuente: Propia



Se obtuvieron las Secciones transversales del camino, siendo 165 perfiles entre los cuales representan las equidistancias de 20 metros y los puntos singulares elegidos en la pestaña de “Transversales” (Figura 50).

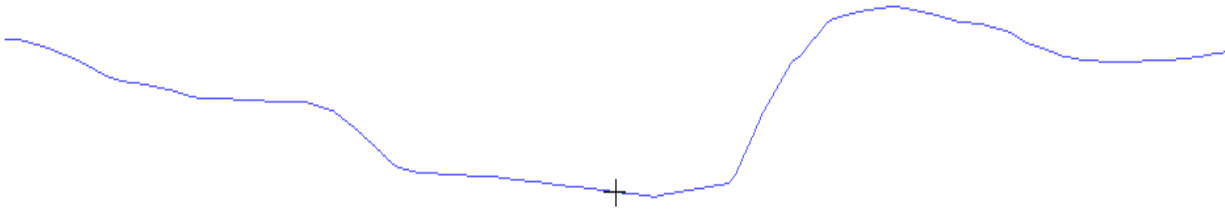


Figura 50 Secciones transversales

Fuente: Propia

Una vez generadas las Secciones Transversales, se procede a dibujar el Alineamiento Vertical, el programa te permite visualizar el terreno natural tanto en el eje del camino, así como paralelamente al eje, desde 1 metro hasta 20 metros (dependiendo de lo requerido), esto para ayudar a la toma de decisiones en cuanto al trazo del camino y, de esta manera, disminuir los Volúmenes de los Movimientos de Tierras. Se trazaron 4 Curvas Verticales, de las cuales la pendiente máxima es de 6.09% en la salida de la última curva en columpio (Figura 51).

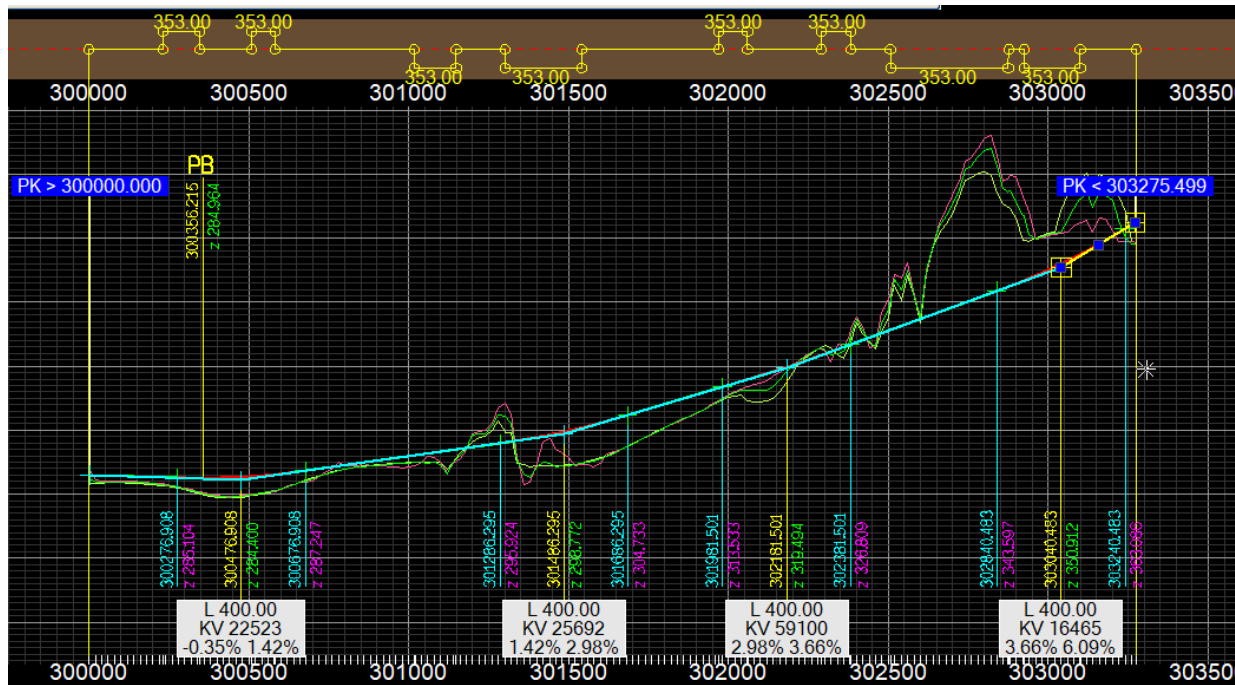


Figura 51 Alineamiento Vertical del tramo en estudio

Fuente: Propia

Hasta este punto, se cuenta con el Alineamiento Horizontal, Vertical y las Secciones Transversales, lo siguiente es la parte del detallado del Proyecto, se puede ser tan preciso como la obra lo demande, para fines de esta investigación, se introdujeron los datos más básicos que cualquier carretera requiere. Para ello, en los pavimentos se propuso una sección arbitraria que se considera recurrente en los caminos mexicanos dando un espesor mínimo de 60 centímetros, dividido en Base, Base asfáltica y Carpeta Asfáltica, de igual manera, para la Subrasante se considera un espesor mínimo de 50 centímetros (Figura 52).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM



Figura 52 Datos obtenidos del Diseño de Pavimentos

Fuente: Propia

De acuerdo a lo presentado en la literatura de la geología – geotecnia de la zona en estudio, se consideraron las profundidades de cada capa del terreno natural, en donde la cubierta vegetal (Despalme) se encuentra a 30 cm, terreno inadecuado a 40 cm y el Terreno Competente a 3 metros (Figura 53).

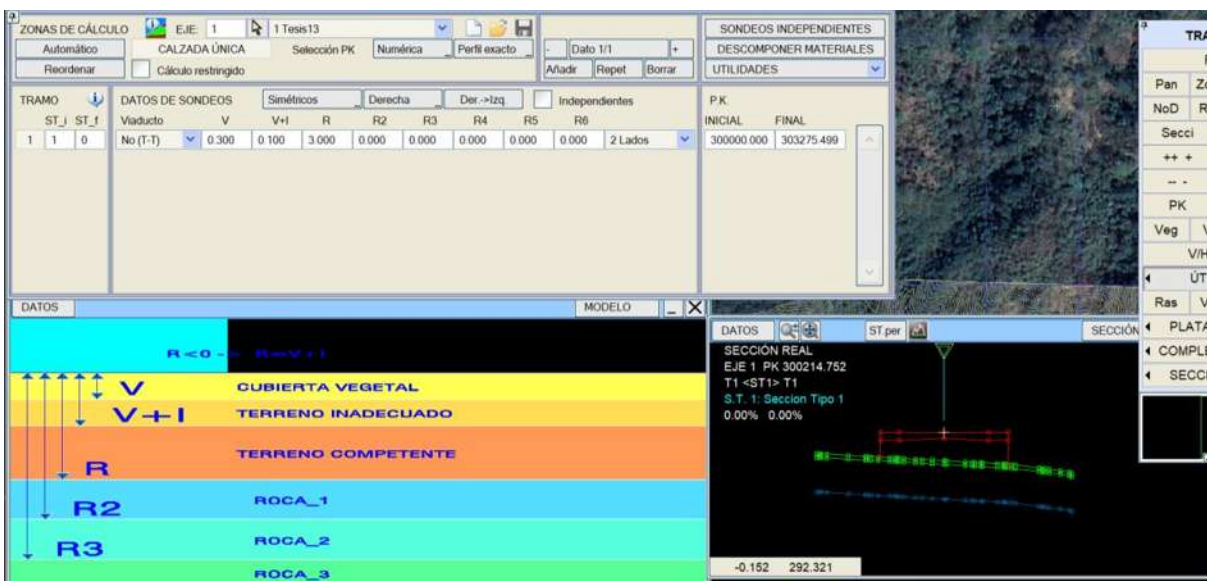


Figura 53 Profundidades de los estratos del suelo.

Fuente: Propia

Se caracterizan los Taludes de los cortes en suelo blando, así como debajo de la capa de la roca, siendo estos de 1:1 y 0.5:1.5, respectivamente (Figura 54 y Figura 55).

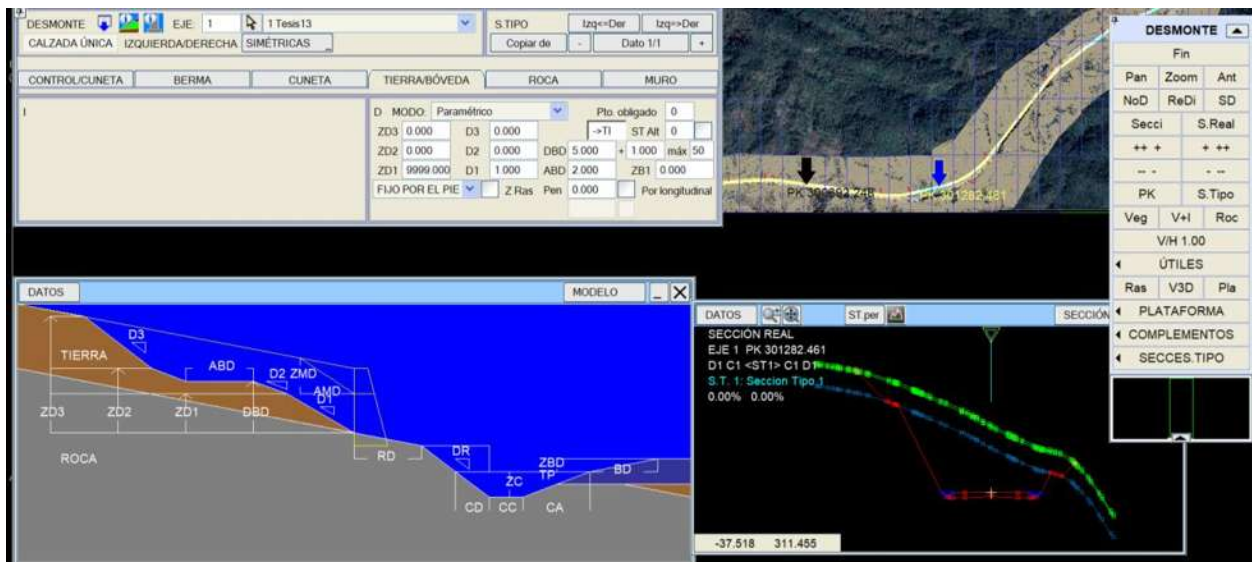


Figura 54 Talud del Corte en la capa de Suelo Blando

Fuente: Propia

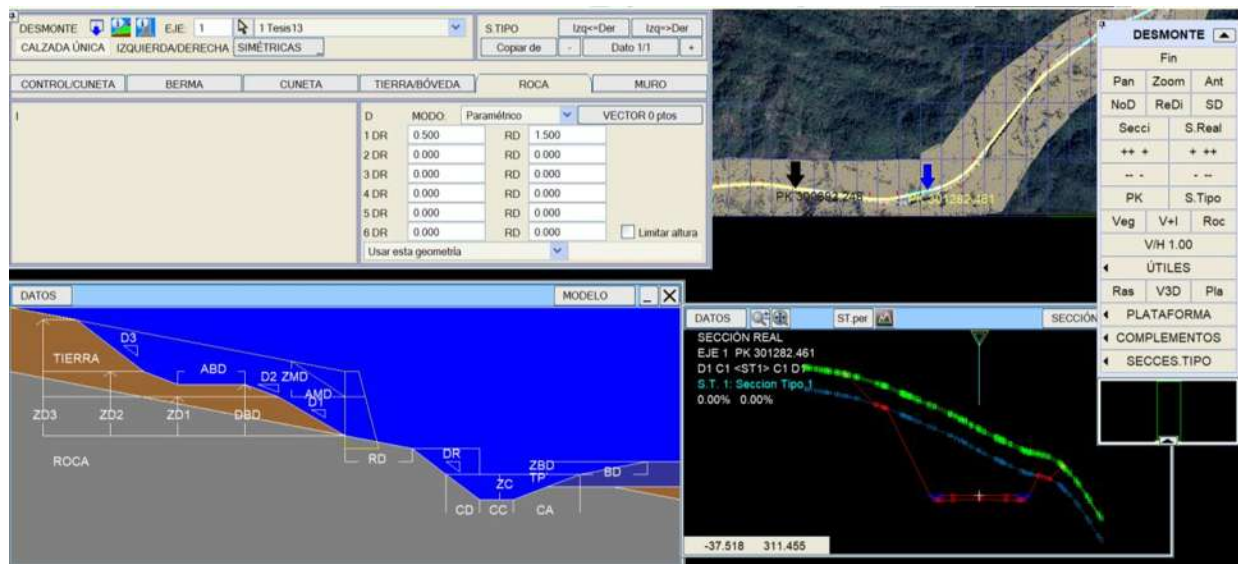


Figura 55 Características del Talud del corte debajo de la capa de roca

Fuente: Propia

Se especifican los Taludes hallados en los Terraplenes, en donde hasta en 3 metros de altura el talud será de 3:1, en una altura mayor a 3 metros, pero menor a 5 metros un talud de 1.5:1 y para alturas mayores a 5 metros será de 0.5:1 (Figura 56).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO, EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

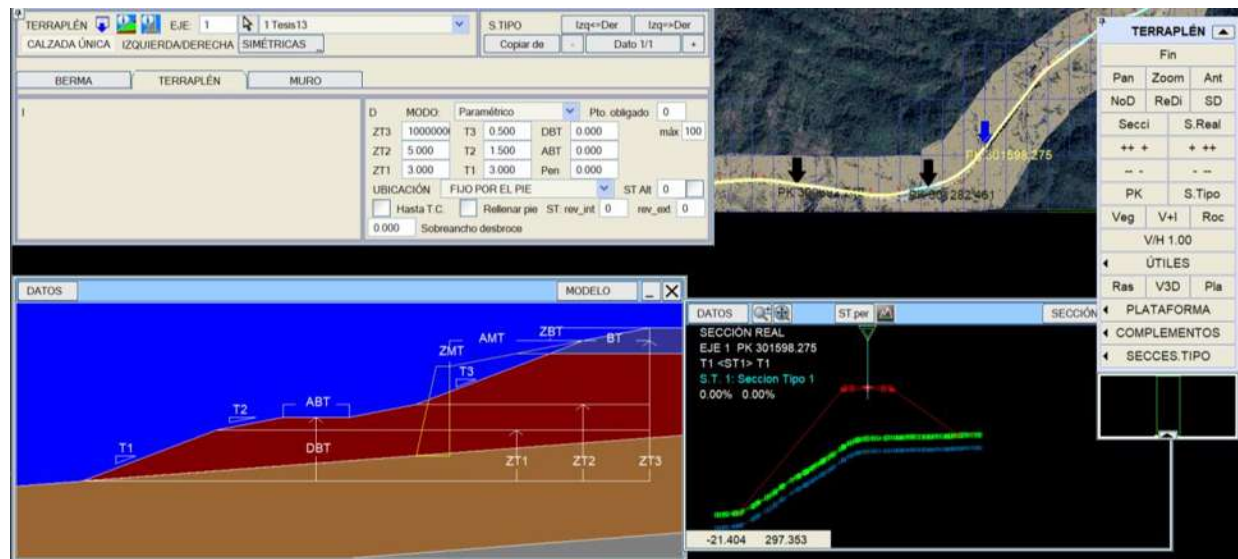


Figura 56 Características del Talud del Terraplén. Fuente: Propia

Calculando el proyecto con los datos anteriormente vaciados dentro del programa, se obtienen los volúmenes producto de los cortes, terraplenes, despalmes, subyacente, subrasante y pavimentos, es decir, las capas de nuestra obra. En la Tabla 3 y Tabla 4 se observan los listados generados sobre lo mencionado.

Tabla 3 Volumetrías resultado del movimiento de tierras Fuente: Propia

PERFIL	MEDICIONES DE LOS PERFILES TRANSVERSALES												DESPALME				TERRAPLEN				
	CORTE E1			CUNETAS			CORTE E2			SUBYACENTE			SUBRASANTE			DESPALME		TERRAPLEN			
	AREA PERFIL	VOL PARCIAL	VOL ACUMUL.	AREA PERFIL	VOL PARCIAL	VOL ACUMUL.	AREA PERFIL	VOL PARCIAL	VOL ACUMUL.	AREA PERFIL	VOL PARCIAL	VOL ACUMUL.	AREA PERFIL	VOL PARCIAL	VOL ACUMUL.	AREA PERFIL	VOL PARCIAL	VOL ACUMUL.			
333.780.000	10.854	0.00	0.00	0.153	0.00	0.00	31.439	0.00	0.00	8.960	0.00	0.00	6.138	0.00	0.00	9.566	0.00	0.00	19.696	0.00	0.00
333.800.000	0.483	113.37	113.4	0.153	3.06	3.1	18.587	500.26	500.3	10.551	194.91	194.9	6.138	122.76	122.8	9.544	191.11	191.1	22.384	420.80	420.8
333.820.000	1.962	24.45	137.8	0.153	3.06	6.1	19.843	384.30	884.6	10.653	211.84	406.8	6.137	122.75	245.5	9.798	193.42	384.5	20.172	425.56	846.4
333.840.000	0.000	19.62	157.4	0.000	1.53	7.6	0.227	200.70	1.085.3	11.008	216.61	623.4	6.237	123.74	369.2	7.602	174.00	558.5	18.229	384.00	1.230.4
333.860.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.127	3.54	1.088.8	11.506	235.14	848.5	6.521	127.58	496.8	7.636	152.58	710.9	15.609	338.38	1.568.7
333.880.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.479	6.06	1.094.9	11.758	232.64	1.081.1	6.579	130.99	627.8	8.063	157.00	867.9	15.068	306.77	1.875.5
333.900.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.427	9.06	1.103.9	11.848	236.06	1.317.2	6.602	131.80	759.6	7.894	159.57	1.027.5	13.491	285.59	2.161.1
333.920.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	4.27	1.108.2	11.884	237.32	1.554.5	6.491	130.92	890.5	9.784	176.78	1.204.3	30.637	441.28	2.602.4
333.940.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.913	237.96	1.792.5	6.500	129.91	1.020.5	10.348	201.33	1.405.6	35.794	664.31	3.266.7
333.960.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.646	235.59	2.028.1	6.408	129.08	1.149.5	13.515	238.63	1.644.2	40.580	1.163.74	4.430.4
333.980.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.542	231.88	2.260.0	6.364	127.72	1.277.2	16.110	296.24	1.940.5	119.066	1.996.46	6.426.9
334.000.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.361	229.03	2.489.0	6.335	126.99	1.404.2	25.416	415.25	2.355.7	195.869	3.149.35	9.576.2
334.020.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.357	227.18	2.716.2	6.337	126.72	1.531.0	27.017	524.32	2.880.0	218.135	4.140.04	13.716.3
334.040.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.396	227.53	2.943.7	6.346	126.85	1.657.8	24.037	510.54	3.390.6	212.605	4.307.40	18.023.7
334.060.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.493	228.89	3.172.6	6.364	127.10	1.784.9	18.901	429.38	3.820.0	144.360	3.569.65	21.593.3
334.080.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.495	229.88	3.402.5	6.364	127.28	1.912.2	19.122	380.23	4.200.2	165.060	3.094.20	24.687.5
334.100.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.473	229.68	3.632.1	6.359	127.23	2.039.4	19.101	382.23	4.582.4	188.968	3.540.28	28.227.8
334.120.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.388	228.61	3.860.7	6.342	127.00	2.166.4	23.327	424.29	5.006.7	273.509	4.624.76	32.852.6
334.140.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.359	227.47	4.088.2	6.335	126.77	2.293.2	25.110	484.38	5.491.1	371.708	6.452.16	39.304.7
334.160.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.367	227.26	4.315.5	6.335	126.70	2.419.9	24.313	494.24	5.985.3	386.089	7.577.97	46.882.7
334.180.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.108.2	11.509	228.76	4.544.2	6.425	127.59	2.547.5	23.639	479.53	6.464.8	356.429	7.425.18	54.307.9
334.200.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.268	2.68	1.110.9	11.609	231.17	4.775.4	6.442	128.67	2.676.1	18.620	422.59	6.887.4	208.690	5.651.19	59.959.1
334.220.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	2.68	1.113.6	12.086	236.94	5.012.4	6.579	130.21	2.806.3	12.926	315.46	7.202.9	146.687	3.553.77	63.512.8
334.240.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.113.6	12.115	242.01	5.254.4	6.564	131.43	2.937.8	11.676	246.02	7.448.9	141.256	2.879.43	66.392.3
334.260.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.113.6	11.963	240.78	5.495.1	6.568	131.32	3.069.1	15.747	274.23	7.723.1	187.978	3.292.34	69.684.6
334.280.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.113.6	11.557	235.20	5.730.3	6.391	129.59	3.198.7	19.258	350.05	8.073.2	262.830	4.508.08	74.192.7
334.300.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.113.6	11.565	232.23	5.961.6	6.371	127.62	3.326.3	14.153	334.11	8.407.3	135.036	3.978.66	78.171.4
334.320.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.113.6	11.656	231.21	6.193.8	6.391	127.62	3.453.9	13.097	272.50	8.679.8	125.283	2.603.20	80.774.5
334.340.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.113.6	11.510	231.86	6.425.4	6.366	127.57	3.581.5	19.184	322.81	9.002.6	175.925	3.012.09	83.786.6
334.360.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.113.6	11.402	229.12	6.654.6	6.346	127.12	3.708.6	24.435	436.19	9.438.8	298.828	4.747.53	88.534.2
334.380.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.000	0.00	1.113.6	11.532	229.33	6.883.9	6.365	127.10	3.835.7	20.707	451.43	9.850.2	365.298	4.641.26	93.175.4
334.400.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	0.294	2.94	1.116.5	11.292	228.24	7.112.1	6.369	127.33	3.963.0	16.373	370.80	10.261.0	90.026	2.553.24	95.728.7
334.420.000	0.000	0.00	157.4	0.000	0.00	7.6	1.060	13.54	1.130.0	10.567	218.59	7.330.7	6.085	124.54	4.087.6	15.455	318.20	10.579.3	68.810	1.588.36	97.317.0



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM



Tabla 4 Volumetrías resultado de las capas de pavimento Fuente: Propia

AREA PERFIL	BASE H		BASE ASF			CARPETA		
	VOL. PARCIAL	VOL. ACUMUL.	AREA PERFIL	VOL. PARCIAL	VOL. ACUMUL.	AREA PERFIL	VOL. PARCIAL	VOL. ACUMUL.
9.395	0.00	0.0	3.688	0.00	0.0	1.808	0.00	0.0
9.395	187.90	187.9	3.688	73.76	73.8	1.808	36.16	36.2
9.397	187.92	375.8	3.687	73.75	147.5	1.808	36.16	72.3
9.622	190.19	566.0	3.723	74.10	221.6	1.816	36.23	108.5
9.692	193.14	759.1	3.724	74.47	296.1	1.815	36.31	144.9
9.692	193.83	953.0	3.724	74.48	370.6	1.816	36.31	181.2
10.164	198.55	1,151.5	3.723	74.47	445.0	1.815	36.31	217.5
9.151	193.15	1,344.7	3.722	74.44	519.5	1.815	36.30	253.8
9.865	190.16	1,534.8	3.721	74.42	593.9	1.815	36.30	290.1
8.638	185.03	1,719.9	3.720	74.41	668.3	1.815	36.31	326.4
7.803	164.40	1,884.3	3.721	74.41	742.7	1.815	36.31	362.7
7.806	156.09	2,040.4	3.721	74.41	817.1	1.815	36.30	399.0
7.807	156.13	2,196.5	3.722	74.43	891.5	1.816	36.31	435.3
7.812	156.19	2,352.7	3.722	74.44	966.0	1.815	36.31	471.6
7.813	156.25	2,508.9	3.723	74.45	1,040.4	1.816	36.31	507.9
7.814	156.27	2,665.2	3.723	74.46	1,114.9	1.816	36.31	544.2
7.811	156.25	2,821.5	3.723	74.45	1,189.4	1.815	36.31	580.6
7.808	156.19	2,977.7	3.722	74.44	1,263.8	1.815	36.31	616.9
7.804	156.12	3,133.8	3.721	74.43	1,338.2	1.815	36.31	653.2
7.802	156.06	3,289.8	3.720	74.41	1,412.6	1.815	36.30	689.5
9.688	174.90	3,464.7	3.720	74.41	1,487.0	1.815	36.30	725.8
9.328	190.16	3,654.9	3.721	74.42	1,561.5	1.816	36.31	762.1
10.182	195.10	3,850.0	3.722	74.44	1,635.9	1.816	36.31	798.4
9.692	198.74	4,048.7	3.724	74.46	1,710.4	1.816	36.31	834.7
10.413	201.05	4,249.8	3.723	74.47	1,784.8	1.815	36.31	871.0
8.562	189.75	4,439.5	3.720	74.43	1,859.3	1.815	36.30	907.3
7.809	163.71	4,603.2	3.721	74.41	1,933.7	1.815	36.31	943.6
7.813	156.22	4,759.5	3.723	74.44	2,008.1	1.815	36.31	979.9

Así mismo, se generaron los volúmenes máximos de cada partida (Tabla 5 y Tabla 6).

Tabla 5 Volúmenes máximos de las terracerías Fuente: Propia

CORTE E3	AREA PERFIL (m2)	0.000
	VOL. PARCIAL (m3)	0.00
	VOL. ACUMUL. (m3).	543,103.3
CUNETAS	AREA PERFIL (m2)	0.000
	VOL. PARCIAL (m3)	1.19
	VOL. ACUMUL. (m3).	381.5
CORTE E2	AREA PERFIL (m2)	0.000
	VOL. PARCIAL (m3)	25.59
	VOL. ACUMUL. (m3).	125,295.7
SUBYACENTE	AREA PERFIL (m2)	12.089
	VOL. PARCIAL (m3)	177.79



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM



	VOL. ACUMUL. (m3).	28,901.2
SUBRASANTE	AREA PERFIL (m2)	6.566
	VOL. PARCIAL (m3)	98.45
	VOL. ACUMUL. (m3).	20,137.2
DESPALME	AREA PERFIL (m2)	9.534
	VOL. PARCIAL (m3)	145.09
	VOL. ACUMUL. (m3).	46,148.5
TERRAPLEN	AREA PERFIL (m2)	141.639
	VOL. PARCIAL (m3)	1,797.77
	VOL. ACUMUL. (m3).	435,335.5

Tabla 6 Volúmenes máximos producto de las capas del pavimento Fuente: Propia

BASE H	AREA PERFIL (m2)	9.693
	VOL. PARCIAL (m3)	148.46
	VOL. ACUMUL. (m3).	27,943.0
BASE ASF	AREA PERFIL (m2)	3.723
	VOL. PARCIAL (m3) (m3)	57.54
	VOL. ACUMUL. (m3).	12,115.9
CARPETA	AREA PERFIL (m2)	1.816
	VOL. PARCIAL (m3)	28.12
	VOL. ACUMUL. (m3).	5,932.1
Rellenos	AREA PERFIL (m2)	0.001
	VOL. PARCIAL (m3)	0.01
	VOL. ACUMUL. (m3).	115.2

Resultado de los Movimientos de Tierras, se visualiza el Diagrama de Masas generado (Figura 57), dando como resultado DM= 225,805.838 (Tabla 7).



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

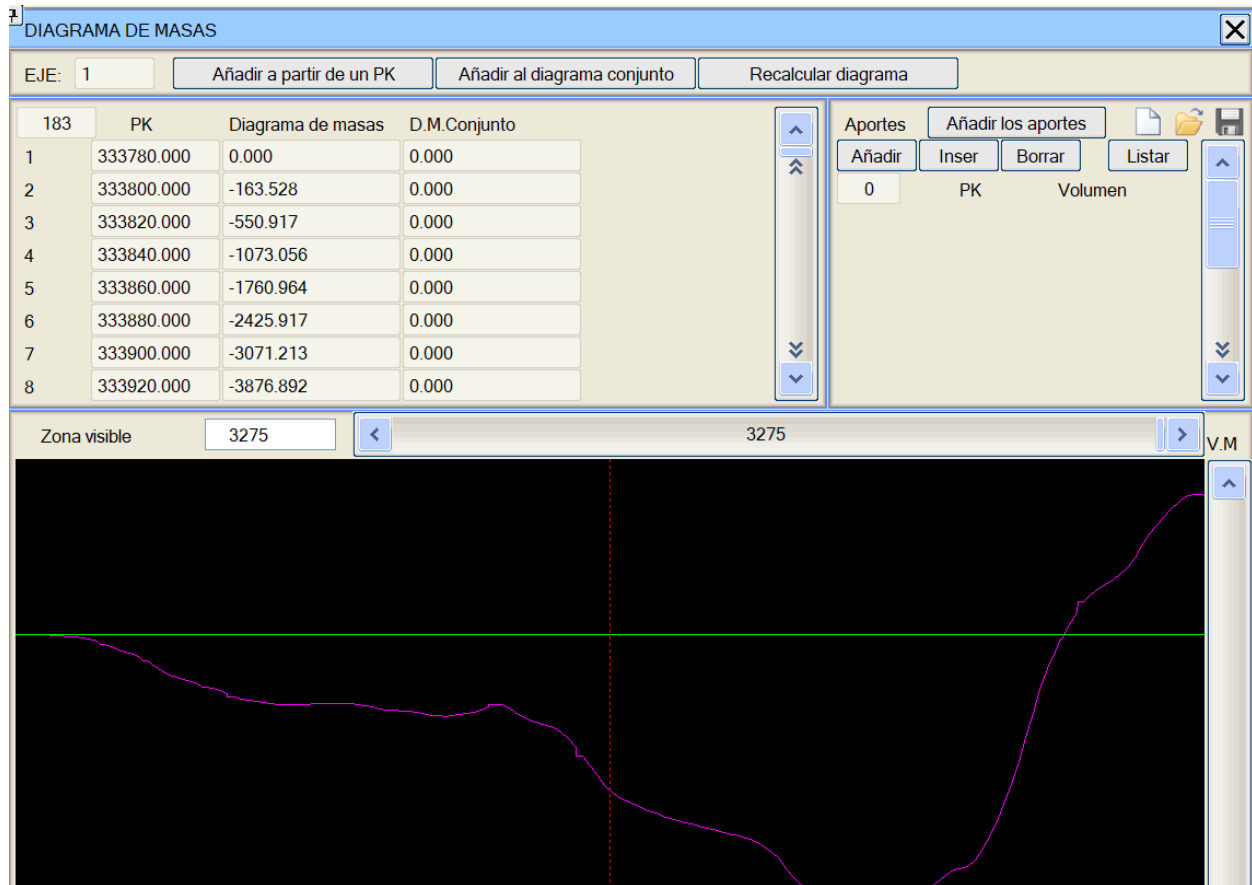


Figura 57 Diagrama de Masas Fuente: Propia

Tabla 7 Resultado del Diagrama de Masas Fuente: Propia

DIAGRAMA DE MASAS = 225805.838

Adicionalmente, se generaron las Plantas de Kilómetro adecuando las características de la misma a las necesidades del Proyecto, con la posibilidad de exportar al formato deseado (Figura 58), siendo 5 Plantas generadas en total para los 3.28 km de longitud de nuestro tramo.



KEVIN RICARDO HERRERA WENCES
 DESARROLLO DE PROYECTO GEOMÉTRICO CARRETERO,
 EMPLEANDO SOFTWARE DE MODELADO BIM

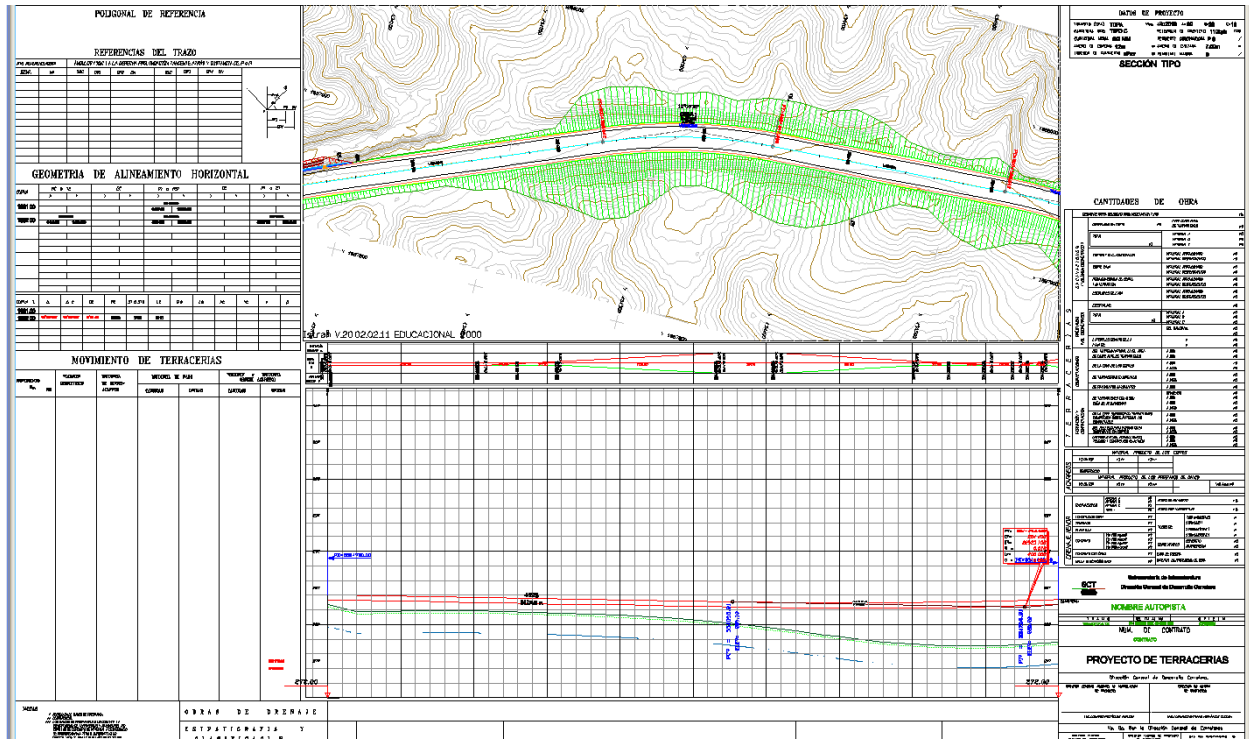


Figura 58 Planta Kilómetro generada por ISTRAM Fuente: Propia



6. Conclusiones

- El estado del arte arrojó que la utilización de la Metodología BIM reduce costos a través de acertadas estimaciones de los volúmenes producto del movimiento de tierras y los pavimentos.
- La metodología BIM permite manejar grandes cantidades de datos, por lo que optimiza los tiempos, ya que hay mayor correlación entre ellos, al igual que los resultados son aún más acertados.
- Permite repasar la normativa de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, por lo que aseguramos el apego a la misma, desde el diseño geométrico hasta el formato a utilizar.
- Existen diversos criterios constructivos que son aceptados por la herramienta, (como la cuña de afinamiento, entre otros) los cuales impactan de manera directa en las volumetrías del proyecto.
- El diagrama de masas nos arroja un valor de 225,805.838 M3, por lo que el volumen de terraplén está muy por encima del volumen de corte.
- Hubo una importante reducción en el tiempo que se empleó para el procesamiento del proyecto ejecutivo desde la selección de la normativa a aplicar, hasta los entregables en forma de Plantas de Kilometro, ya que simplifica procesos, reprocesos y modificaciones que surgen en todo proyecto ejecutivo.
- La hipótesis sugiere que al utilizar poca información en la etapa de modelado con el método tradicional resulta en problemas económicos y constructivos, la presente investigación demuestra que el software de modelado BIM permite introducir grandes cantidades de información, desde el tipo constructivas hasta criterios de diseño, evitando los problemas anteriormente mencionados.



Bibliografía

SCT, (1984). Normas de Servicios Técnicos “Proyecto Geométrico”.

SCT, (2018). Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018.

Aziz, Z., et al, (2017). Leveraging BIM and big data to deliver well Maintained Highways.

Zhiliang, M., Yuan, R., (2017). Integrated Application of BIM and GIS: An Overview.

Mehmet Y., Vishal S., (2015). Patterns and trend in building information modeling (BIM) research: a latent Semantic Analysis.

Qinghua, H. (2015). Mapping the managerial areas of Building Information Modeling (BIM) using scientometric analysis.

Santos, R, et al, (2017). Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015.

Rico, A., De Buen, O. (1988). El transporte terrestre y la descentralización.

Agudelo, J., (2002) Diseño geométrico de vías.

Soto, R., (2008). Un análisis económico sobre el uso del concepto de confiabilidad, en relación con algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras.

Hay, W. (1983) Ingeniería del transporte

Lijuan, C., et al, (2018). Research on BIM-Based highway tunnel design, construction and maintenance management platform.

Liu, B., et al, (2019). Research on application of BIM technology in municipal road construction.

Liu, B., et al, (2018). Application Analysis of BIM Technology in Metro Rail Transit.

Tiangang, C., (2018). Based on the development status of British BIM, exploring China's BIM road.



Dong, P., (2020). Application Research of BIM Technology in Highway Reconstruction and Extension Project.

Costina, A., (2018). Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations.

Fanlong, T., et al, (2020). Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM.

Gryttinga, I., et al, (2017). Use of LoD decision plan in BIM-projects.

Othman, I., et al, (2020). The level of Building Information Modelling (BIM) Implementation in Malaysia.

Subhav, S., Kaushal, K., (2020). A study of lean construction and visual management tools through cluster analysis.



Anexos