



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Aplicación del vehículo de inspección Hawkeye Serie 2000 para el proyecto geométrico de carreteras

Isaac Sarmiento Castellanos
Wendy Alejandra Casanova Zavala
Emilio Abarca Pérez
Alberto Mendoza Díaz

Publicación Técnica No. 647
Sanfandila, Qro.
2021

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, por el Ing. Isaac Sarmiento Castellanos, la M. en I. Wendy Alejandra Casanova Zavala, el M. en I. Emilio Abarca Pérez y el Dr. Alberto Mendoza Díaz.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna SI-13/20: "Aplicación del vehículo de inspección Hawkeye Serie 2000 para el proyecto geométrico de carreteras".

Se agradece la colaboración de la M. en I. Nadia Gómez González, investigadora de la Coordinación Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte.

Contenido

	Página
Índice de figuras	v
Índice de tablas	vii
Sinopsis.....	ix
Abstract	xi
Resumen Ejecutivo	xiii
Introducción.....	1
Objetivo.....	3
Alcances	3
Metodología	4
Beneficios esperados.	4
1. Selección del tramo a inspeccionar.....	5
1.1 Levantamiento.....	6
1.2 Características de la vía.....	8
2. Medición de velocidades	9
3. Recopilación de datos.....	13
3.1 Cartografía (DGPS y GPS)	13
3.2 Proceso de datos en AutoCAD	17
3.3 Sección transversal de un proyecto geométrico.....	18
4. Comparación de los datos.....	21

4.1	Perfil longitudinal	21
4.2	Curvas horizontales.....	25
4.3	Sección vertical y sobreelevación	31
5.	Conclusiones.....	35
	Bibliografía	37

Índice de figuras

Figura I.1 Vehículo Hawkeye y sus componentes	2
Figura I.2 Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto.....	4
Figura 1.1 Tramo en estudio, km3+00 al 12+000 Carretera Estatal 431 El Colorado – Galindo.....	5
Figura 1.2 Vehículo de inspección Hawkeye 2000 del IMT	7
Figura 1.3 Visualizador geocartográfico de la Red Nacional de Caminos (RNC)....	8
Figura 3.1 Tabla de resumen para obtener datos	13
Figura 3.2 Cartografía de la carretera	14
Figura 3.3 Perfiles	14
Figura 3.4 Resultado de sobreelevación de la sección transversal del levantamiento.....	15
Figura 3.5 Sección transversal de una carretera.....	18
Figura 4.1 Perfil longitudinal.....	22
Figura 4.2 Perfil longitudinal en CivilCAD.....	25
Figura 4.3 Alineamiento horizontal.....	26
Figura 4.4 Tramo levantado en AutoCAD (Base de datos Hawkeye).....	27
Figura 4.5 Tabla de Ampliación de corona, sobreelevación y Longitud de transición	28
Figura 4.6 Posición geográfica y dibujo en AutoCAD de la Curva 3.....	29
Figura 4.7 Posición geográfica y dibujo en AutoCAD de la Curva 2.....	29
Figura 4.8 Posición geográfica y dibujo en AutoCAD de la Curva 1.....	29
Figura 4.9 Posición geográfica y dibujo en AutoCAD de la Curva 4.....	30
Figura 4.10 Posición geográfica y dibujo en AutoCAD de la Curva 5.....	30
Figura 4.11 Tabla I.11 del MPGC 2018.....	31
Figura 4.12 Alineamiento vertical	31
Figura 4.13 Tabla de pendientes del MPGC 2018	32
Figura 4.14 Perfil longitudinal en Civil CAD con cadenamamiento	32
Figura 4.15 Perfil longitudinal en Civil CAD con pendientes en el tramo.....	33
Figura 4.16 Sección transversal del km 7+000 en tangente.....	33
Figura 4.17 Street view Del km 7+000	33
Figura 4.18 Sección transversal del km 4+770 en curva.....	34
Figura 4.19 Street view del km 4+770.....	34

Índice de tablas

Tabla 1.1. Características del tramo analizado.	8
Tabla 2.1 Resumen de estudio de velocidad	10
Tabla 3.1 Resumen de las variables	16
Tabla 4.1 Datos utilizados	21
Tabla 4.2 Resumen de datos obtenidos por el Hawkeye	22
Tabla 4.3 Resumen de datos obtenidos por el Hawkeye	24
Tabla 4.4 Datos obtenidos.....	27
Tabla 4.5 Grados de curvatura.....	28

Sinopsis

El presente estudio muestra los resultados del procesamiento de los datos obtenidos por medio del vehículo de inspección Hawkeye serie 2000 para la reconstrucción geométrica de una carretera, los cuales nos dan como resultado una base de datos y mapas que muestran el diseño geométrico de la infraestructura inspeccionada. Estos datos son analizados como un sistema de información de posición geográfica ya que en conjunto con las herramientas que lo integran podemos encontrar componentes como: punto kilométrico de la vía, pendiente longitudinal y transversal, grado de curvaturas por kilómetro, posicionamiento en X, Y y Z, pendiente transversal por medio del HDM4, latitud, longitud y altitud. Con la finalidad de que la infraestructura pueda ser evaluada conforme a su diseño y construcción, esto para su funcionalidad o inspección para fines específicos como una alternativa tecnológica menos costosa y compleja en comparación a los vuelos “Lidar” hecho con drones.

Abstract

The present study shows the results of a processing of the data to be obtained by means of the Hawkeye 2000 series inspection vehicle for the geometric reconstruction of a road; which give us as a result a database and maps that show the geometric design of the inspected infrastructure. These data are analyzed as a geographic position information system since in its integrated set of tools we can find components such as: kilometer point of the road, longitudinal and transversal slope, degree of curvatures per kilometer, positioning in X, Y and Z, transversal slope by means of the HDM4, latitude, longitude and altitude. In order that the infrastructure can be evaluated according to its design and construction, this for its functionality or inspection for specific purposes as a less expensive and complex technological alternative compared to the "Lidar" flights made with drones.

Resumen ejecutivo

Este estudio forma parte del programa de desarrollo de investigaciones en pro de la seguridad vial, el alcance de este trabajo puede presentarse como una alternativa económica en comparación con otros métodos de levantamiento de diseño geométrico, pero surge con prioridad a la utilización del vehículo de inspección Hawkeye Serie 2000 el cual posee el Instituto Mexicano del Transporte, si bien es utilizado para realizar Auditorías de Seguridad Vial también ofrece un servicio por medio de sus equipos que tienen una capacidad de realizar levantamientos por medio de datos de geolocalización referenciada.

Este estudio analizó todos los resultados que se obtiene en un levantamiento de inspección con el vehículo Hawkeye para su procesamiento y obtención de datos relacionados a la configuración geométrica de la carretera.

Debido a que en México muchas carreteras fueron construidas hace algunos años atrás y tanto la capacidad que éstas como su trazado han cambiado con el paso de los años se pretende tener una herramienta actualizada y de uso fácil para obtener un levantamiento confiable para su evaluación.

Se realizó el análisis de los datos de una carretera tipo C que presentó características geométricas bastante aceptables para estudiar el comportamiento de los usuarios, la confiabilidad del trazado, oportunidades de rebase y sus distancias de visibilidad.

Se presentaron resultados satisfactorios ya que hemos comprobado que los dispositivos como el Gipsi-Trac y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) dieron datos confiables, por lo que da paso a poder utilizar esta herramienta como alternativa en los procesos de auscultación carretera.

Introducción

En México, como en otros países, las actualizaciones de los manuales de diseño geométrico de las carreteras han ido mejorando con los años, a medida que las condiciones vehiculares y ambientales han ido cambiando; de manera paralela, se ha pensado en construir o diseñar una carretera de acuerdo al comportamiento de los usuarios de estas.

Las normativas para el proyecto geométrico de carreteras a nivel mundial, se generaron a partir de suposiciones empíricas y pruebas de campo acerca del comportamiento vehicular y las condiciones prevalecientes, sin embargo, hoy en día las actualizaciones de la normativa o las mediciones de un proyecto geométrico pueden realizarse con tecnología, de tal manera que se busca más precisión y mejores herramientas para la utilización de los datos obtenidos.

Hoy en día, a nivel mundial, se espera alcanzar resultados positivos en materia de seguridad vial, por lo que las implementaciones de auditorías de seguridad vial en México se han incrementado, esto da paso a utilizar metodologías tales como la de la International Road Assessment Programme (iRAP), que es una institución que aplica un procedimiento que ayuda a evaluar las carreteras de acuerdo al nivel de seguridad en las carreteras en función a una clasificación por estrellas para diferentes usuarios.

El objetivo de tener un proyecto geométrico con el enfoque de carretera segura es principalmente para reducir la tasa de accidentes viales, en este proceso las propiedades geométricas juegan un papel importante, pues un proyecto geométrico que cuente con curvas horizontales con grados de curvatura y radios de giro adecuados, curvas verticales y pendientes de acuerdo al tipo de vehículo, resulta en una carretera que ofrezca seguridad y confiabilidad.

Con la ayuda de la tecnología, como el caso del vehículo de inspección Hawkeye 2000 (figura I.1), se pueden obtener datos que pueden ser de mucha utilidad para el proyecto geométrico. Este equipo, propiedad del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), tiene instalado las siguientes herramientas:

- Sistema de Adquisición de datos. Computadora con software sistematizado para el almacenamiento y procesamiento de datos levantados con las herramientas que posee el vehículo.
- Sistemas de imágenes digitales – Cámaras Digitales. Sirven para identificar y localizar visualmente las características de la carretera y el borde de la carretera con precisión. El sistema utiliza cámaras digitales y produce cuadros de vídeo de alta resolución, nítidos.

- Sistemas de navegación por satélites GPS. Proporciona datos recibidos por satélites, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición.
- Instrumento de medición de distancias. Calcula la distancia total o parcial recorrida, colocada en la rueda trasera y programada junto con los demás sistemas para la recolección de datos.
- Gipsi-Trac Road Mapping. Sistema que utiliza sensores de navegación por un receptor GPS, sistema basado en microprocesador que registra y combina datos de inercia que recibe de los giroscopios, los acelerómetros y un sensor de distancia con posición GPS.



Figura I.1 Vehículo Hawkeye y sus componentes

A nivel mundial, la serie 2000 de este vehículo de inspección ha sido utilizada en inspecciones de recopilación de datos de activos carreteros para proyectos y redes, inventario de mobiliario vial y gestión de activos, inspecciones de cartografía y geometría de infraestructuras varias, control de calidad del contratista, evaluación de seguridad vial y mantenimiento de pistas de aeropuertos.

Desde la obtención de este equipo por el IMT, se ha utilizado en proyectos relacionados con auditorías de seguridad vial y evaluaciones con la metodología de iRAP, en donde los datos geométricos obtenidos por el equipo no se han explotado en su totalidad, porque hasta el momento nunca ha sido solicitado por los clientes.

Sin embargo, desde el año 2019, la SCT publicó el Manual de Auditorías de Seguridad Vial, en donde uno de varios requisitos adicionales es medir en campo los parámetros geométricos de una carretera para llevar a cabo la Auditoría de Seguridad Vial.

El equipo Hawkeye 2000 del IMT cuenta con un paquete de geometría denominado Gipsi-Trac, descrito anteriormente, el cual es un sistema que utiliza sensores de

navegación por coordenadas y un receptor de GPS para recopilar información geométrica de la vía. La navegación por coordenadas integrada le permite registrar datos de posición incluso cuando se encuentre en túneles, bajo puentes y en otras zonas con poca o ninguna cobertura GPS. El sistema crea una base de datos topográfica de WGS84 y datos geométricos que se pueden exportar a otros sistemas o bases de datos.

Este estudio pretende explorar una alternativa tecnológica menos costosa y compleja que los vuelos Lidar y/o utilizando Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), comúnmente llamados “drones”, utilizando los datos obtenidos por el Hawkeye 2000 para la reconstrucción geométrica de una carretera para que pueda utilizarse en una Auditoría de Seguridad Vial como lo estipula el nuevo Manual de Auditorías de Seguridad Vial de la SCT.

Esta investigación se alinea con el objetivo prioritario 1 del Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024 “Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal”, a su estrategia prioritaria 1.2 y sus acciones puntuales “Mejorar la seguridad vial en la Red Carretera Federal para el bienestar de todos los usuarios”, así como también a la acción puntual 1.5.5 “Aumentar la investigación científica y capacidad tecnológica vinculadas a las necesidades del sector”

Objetivo

Explorar la utilización de los datos obtenidos por el Hawkeye 2000, propiedad del IMT, para la reconstrucción geométrica de una carretera para que pueda utilizarse en una Auditoría de Seguridad Vial como lo estipula el nuevo Manual de Auditorías de Seguridad Vial de la SCT, como una alternativa tecnológica menos costosa y compleja que los vuelos Lidar y/o utilizando “drones”.

Alcances

Elaborar una metodología del proceso de extracción y utilización de la información de la base de datos del equipo a partir de la realización de un levantamiento con el vehículo de inspección Hawkeye 2000, para determinar la precisión de los grados de curvatura en curvas horizontales, altimetría del perfil del alineamiento vertical de la carretera y otros atributos de la carretera basados en la metodología iRAP como curvatura y pendiente, que puedan ser utilizados como un elemento de evaluación de la seguridad vial como es la consistencia de los alineamientos para las Auditorías de Seguridad Vial, basados en el manual de la SCT y en las evaluaciones iRAP.

Metodología

A continuación, se presenta un esquema de la metodología propuesta para llevar a cabo el proyecto en la Figura I.2:

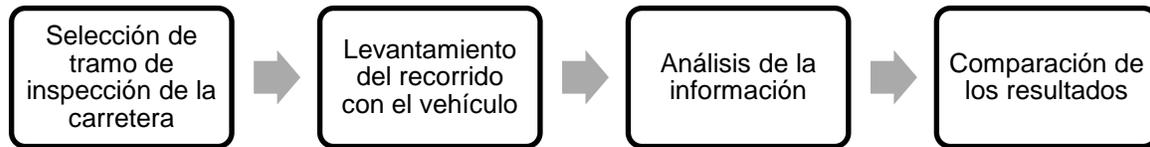


Figura I.2 Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto

Beneficios esperados.

Poder desarrollar una metodología para inspección de carreteras que contemple datos geométricos y operacionales de una vía, de manera que pueda ser más rápido identificar los puntos en dónde se deben realizar intervenciones de mejora.

Se espera que esta introducción a la utilización de los datos proporcionados por un vehículo de inspección con las características del Hawkeye ayude a fortalecer la metodología de levantamiento del proyecto geométrico de una carretera y pueda ser utilizado para futuras auditorías de seguridad vial.

Esta metodología de levantamiento e inspección de proyecto geométrico puede ser utilizada por la Dirección General de Servicios Técnicos para sus programas de conservación y auditorías de seguridad vial en carreteras federales.

1. Selección del tramo a inspeccionar

Por la cercanía al IMT, este estudio se realizó en la carretera estatal No.431 El Colorado Galindo, en el tramo comprendido entre el km 3+000 (entronque con la carretera estatal No.420 a el rosario y el km 12+000 (entrada al IMT). Cabe destacar que, en una auditoría realizada anteriormente a este tramo, la cual se puede consultar en la publicación No.600 del IMT, se detectaron varios comportamientos asociados a las velocidades de operación, características del tránsito y funcionamiento de la vía en los que el diseño geométrico tiene muchas oportunidades de mejora, específicamente en curvas horizontales.

La Figura 1.1 muestra el tramo inspeccionado y la ubicación de las 5 curvas en las que se revisaron los parámetros del proyecto geométrico, los datos obtenidos se muestran más adelante.

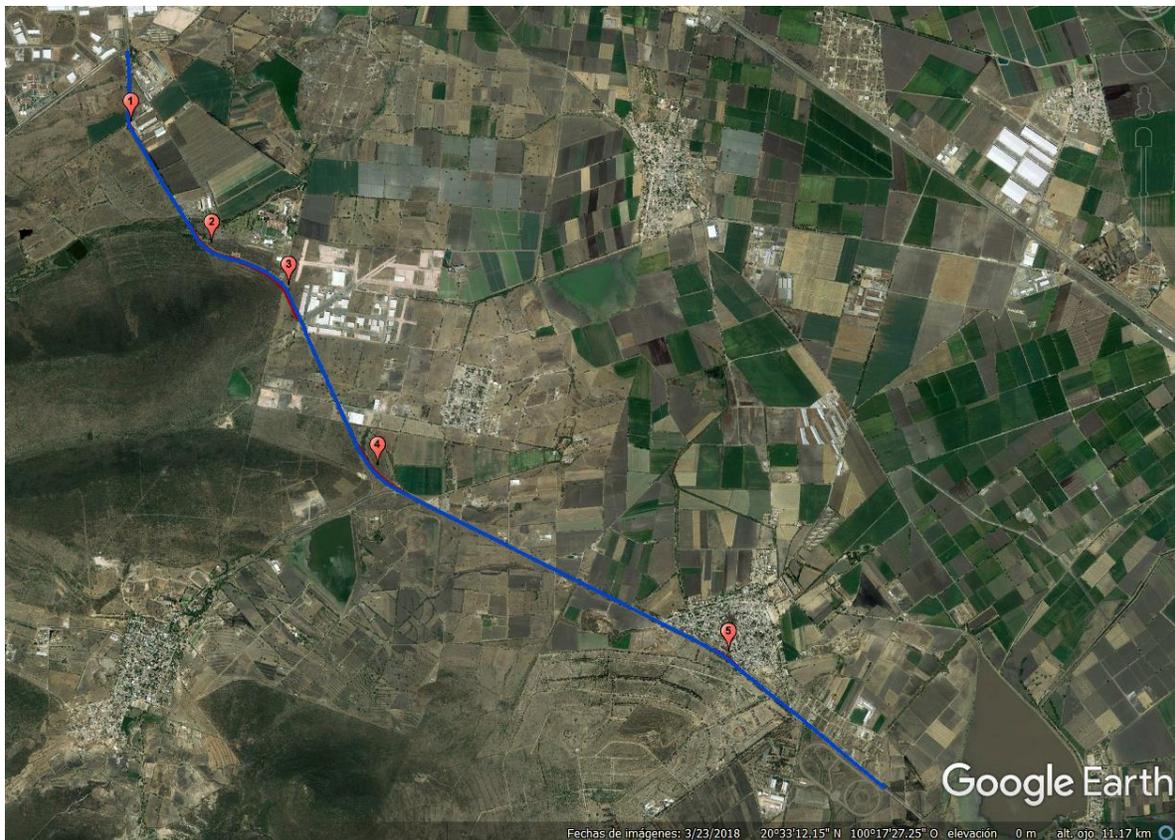


Figura 1.1 Tramo en estudio, km3+00 al 12+000 Carretera Estatal 431 El Colorado – Galindo

Como ya se mencionó, la carretera evaluada pertenece a la Estatal No. 431 que comunica los poblados de El Colorado y Galindo, ubicados en los Municipios de El

Marqués y San Juan del Río, respectivamente. Se decidió auditar desde el kilómetro 3+000 por ser el punto donde la Carretera Estatal No.431 intersecta con la Carretera Estatal No. 420, punto en el que se tiene una modificación de la geometría de la carretera; hasta el kilómetro 12+000 por ser dónde se encuentra ubicado el Instituto Mexicano del Transporte.

Durante 2018 fue modernizado el tramo comprendido entre los kilómetros 0+000 y 3+000 de la Carretera Estatal 431, de igual forma que los ocho kilómetros que conforman la Carretera Estatal 420, realizándose trabajos de ampliación de la sección transversal, contando así estos tramos carreteros con cuatro carriles de circulación, dos carriles por sentido, en cuerpos separados. Es a partir de la intersección entre las dos carreteras estatales que la geometría de la vía cambia a dos carriles de circulación (un carril por sentido), y se mantiene así hasta el final del tramo.

1.1 Levantamiento

Una vez definidos el tramo de estudio, se realizó el trabajo de campo, mismo que consistió en un levantamiento del tramo analizado con el equipo Hawkeye serie 2000, que consta con el siguiente equipamiento técnico:

i. Cámaras Panorámicas

Sistema compuesto por 4 cámaras de alta resolución, 3 de ellas orientadas hacia el frente, y una hacia atrás. El disparador de cámaras se activa en función de la longitud recorrida, y el espaciamiento longitudinal de la captura se realiza a cada 10 metros.

Con este sistema es posible obtener: Video continuo del recorrido, imágenes digitales a color con referencia longitudinal y geodésica del video.

El software usado para la recolección de imágenes del Proyecto iRAP-CEM fue el Toolkit de Hawkeye. Mediante este software se puede visualizar el video, y mediante una configuración se puede observar imágenes a determinada distancia para la revisión del señalamiento vertical, horizontal, derecho de vías, estructuras y demás atributos necesarios para la codificación de los datos. La figura 1.2 muestra el vehículo de inspección que se utilizó en el proyecto.



Figura 1.2 Vehículo de inspección Hawkeye 2000 del IMT

ii. GPS

Recopilación de coordenadas geodésicas del recorrido con vínculo al cadenamiento del camino. Los datos son almacenados y procesados para obtener representaciones gráficas de los recorridos. Se puede acceder a visualizaciones a través de Google Maps debido a que el software Hawkeye cuenta con un modelo en el cual se puede visualizar el cadenamiento con la imagen del sitio.

1.2 Características de la vía

De acuerdo con las características geométricas de la vía y con la clasificación de carreteras mencionada en el Manual de Proyecto geométricos de carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2018), se determina que la carretera en estudio mostrada en la figura 1.3 es una carretera Tipo “C”, ya que cuenta con dos carriles de circulación (uno por sentido), cuyo ancho mínimo es de 3.0 m y tiene acotamientos de hasta 0.5 m. A falta de información oficial en relación con el proyecto de esta carretera y dada las características geométricas, se estima que fue diseñada para una velocidad de proyecto de 80 km/h.

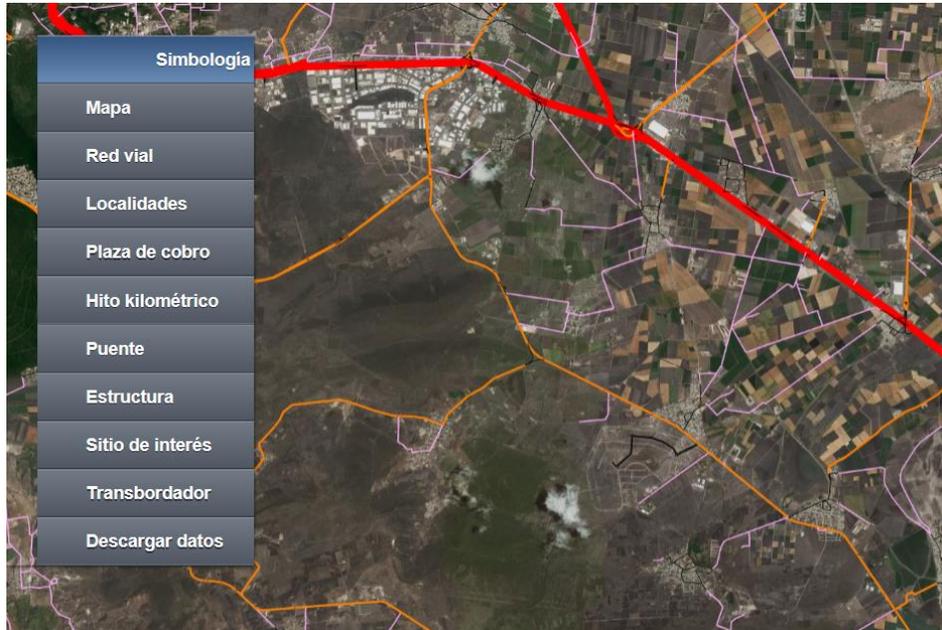


Figura 1.3 Visualizador geocartográfico de la Red Nacional de Caminos (RNC)

En la tabla 1.1 también se hace mención a las características del tramo analizado obtenido de la Red Nacional de Caminos (RNC), donde se aprecia su jurisdicción estatal, la velocidad límite, longitud, ancho, número de carriles incluidos los dos sentidos y el recubrimiento de la superficie de rodamiento.

Tabla 1.1. Características del tramo analizado.

Tramo carretero	No.	Jurisdicción	Vel (km/h)	Long (m)	Ancho corona (m)	No de carriles
General Lázaro Cárdenas (El Colorado) – Galindo (San José Galindo)	431	Estatad-Querétaro	60	1240	8	2

Fuente: Elaboración propia con información de la RNC

2. Medición de velocidades

De acuerdo con Cal y Mayor et. al. (2007) “La velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la vía, de tal manera que siempre se garantice la seguridad”.

A continuación, en la tabla 2.1 se presenta el resumen del análisis de velocidades que se hizo en un estudio de auditoría de seguridad vial para el tramo evaluado. De acuerdo con la metodología usada en la publicación No.600 del Instituto Mexicano del Transporte “Recomendaciones para mejorar la seguridad vial en el tramo comprendido entre el kilómetro 3+000 y el kilómetro 12+000 de la carretera estatal 431 El Colorado – Galindo” se tomaron velocidades en 5 puntos a lo largo del tramo, para cada sitio se registraron las velocidades de 240 vehículos (120 para cada sentido de circulación)

Cabe señalar que este análisis se tomó en cuenta para este proyecto, ya que de manera analítica se observó la importancia de conocer la operación de la velocidad en la carretera, las normas de diseño geométrico de carreteras utilizan este tipo de análisis para evaluar la necesidad de proyectar carreteras o modernizaciones, bajo criterios de seguridad y de nivel de servicio. Dado que la velocidad es el parámetro más importante al momento de diseñar una carretera, la mayoría de los elementos geométricos están en función de ella, ya que la velocidad de diseño es la velocidad de referencia que establece las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, es la velocidad segura y cómoda mantenida en un tramo determinado.

Sin embargo, en el estudio se obtuvieron resultados que dan a conocer que la carretera en estudio por su diseño en los elementos y los resultados del estudio de velocidades asociaran a un comportamiento en los usuarios de confiabilidad, esto puede darse por un lado por las características geométricas proporcionadas y por otro lado el factor humano que puede sobreponer su expectativa al ser una vialidad con repetitivas configuraciones, sin embargo algo que no se nota es que tan perdonadora o segura puede ser la vía que al momento de un hecho de tránsito pueda ser fatal.

Tabla 2.1 Resumen de estudio de velocidad

Parámetro estadístico	Unidad	Total de vehículos								
		Punto 1			Punto 2			Punto 3		
		Ambos Sentidos	Ambos Sentidos	Ambos Sentidos	Ambos Sentidos	S1	S2	Ambos Sentidos	S1	S2
Tamaño de la muestra	Veh	240	240	240	240	120	120	240	120	120
Velocidad Media Temporal	km/h	76.39	70.07	76.31	70.07	72.88	66.48	76.31	78.65	74.17
Desviación estándar	km/h	13.38	12.88	15.41	12.88	13.17	11.85	15.41	16.05	13.41
Moda	km/h	77.00	65.00	66.00	65.00	65.00	62.00	66.00	74.00	66.00
Mediana	km/h	77.00	69.00	76.00	69.00	73.00	65.00	76.00	80.00	72.50
Velocidad Mínima	km/h	45.00	35.00	28.00	35.00	43.00	35.00	28.00	28.00	40.00
Velocidad Máxima	km/h	126.0	104.0	126.00	104.00	104.0	104.0	126.00	126.00	120.00
P-15	km/h	62.00	57.00	62.85	57.00	59.00	55.85	62.85	61.00	63.00
P-50	km/h	77.00	69.00	77.00	69.00	73.00	65.00	77.00	80.00	72.50
P-85	km/h	89.00	83.15	90.00	83.15	86.30	79.00	90.00	91.15	87.00
P-98	km/h	103.0	99.22	111.00	99.22	99.62	91.24	111.00	117.20	104.10
Límite de Velocidad	km/h	80.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
% Vehículos exceden Lim.Vel.	%	35.00	45.00	66.6%	45.00	55.00	35.00	66.67%	75.83%	57.50%

**Tabla 2.2 Resumen de estudio de velocidad
(continuación)**

Parámetro estadístico	Unidad	Punto 4			Punto 5		
		Ambos Sentidos	S1	S2	Ambos Sentidos	S1	S2
Tamaño de la muestra	Veh	240	120	120	240	120	120
Velocidad Media Temporal	km/h	60.73	63.27	58.28	63.03	60.13	66.16
Desviación estándar	km/h	12.83	12.43	12.47	11.78	10.24	11.86
Moda	km/h	62.00	62.00	59.00	62.00	62.00	59.00
Mediana	km/h	60.00	63.00	57.00	62.00	60.00	66.00
Velocidad Mínima	km/h	35.00	35.00	37.00	31.00	31.00	38.00
Velocidad Máxima	km/h	96.00	95.00	96.00	108.00	108.0	105.0
P-15	km/h	47.00	49.00	46.00	52.00	50.00	55.85
P-50	km/h	60.00	63.00	57.00	62.00	60.00	66.00
P-85	km/h	73.50	75.00	72.00	74.00	69.00	79.15
P-98	km/h	91.00	89.48	88.62	87.00	79.00	87.62
Límite de Velocidad	km/h	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
% Vehículos exceden Lim.Vel.	%	95.83	97.50	94.17	97.08	97.50	96.67

Fuente: Publicación Técnica No.600, IMT

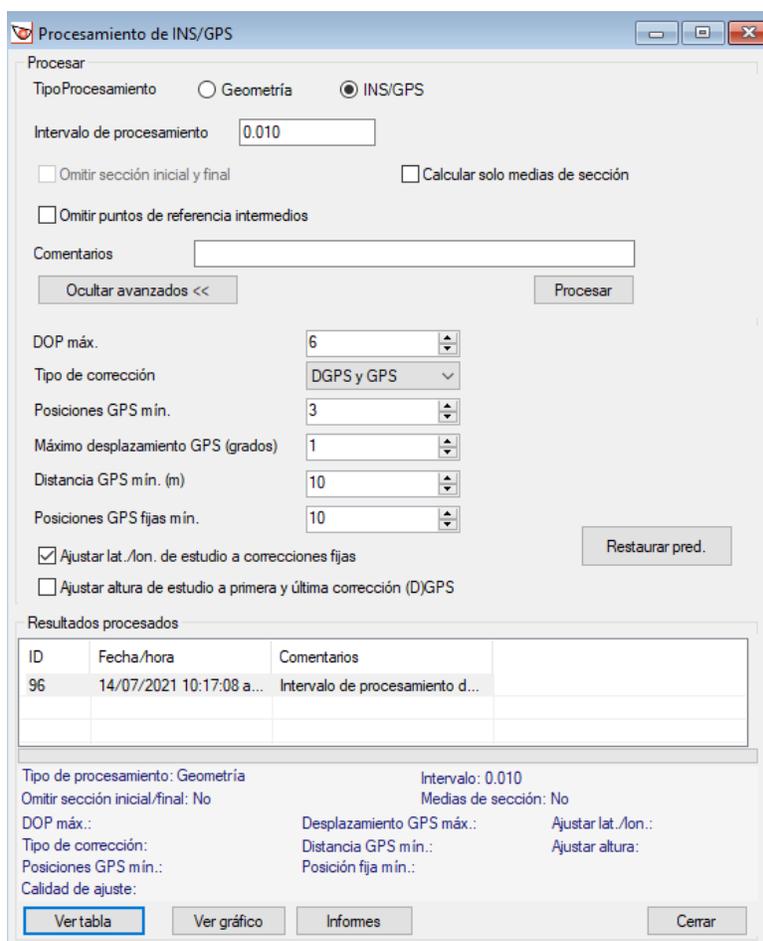
Esta observación fue tomada ya que la sección de una vía da paso a tener comportamientos de estos tipos, al tener tangentes tan largas y cómodas para el conductor suele tener un grado de confianza en la maniobra de conducir y puede llegar a alcanzar velocidades excesivas al límite de velocidad y el fin del proyecto es evaluar la vía en su diseño geométrico para conocer la construcción de este y cómo se comporta la infraestructura al relacionar parámetros como la velocidad y los grados de curvatura de las curvas horizontales.

3. Recopilación de datos

Para el análisis de este estudio, se realizó una recopilación de datos que consistió en realizar un levantamiento del tramo en estudio mediante el vehículo de inspección Hawkeye, el cual nos dio los datos que se utilizaron para realizar las comparaciones. A continuación, se muestran los datos obtenidos del levantamiento con el software Hawkeye Processing Toolkit.

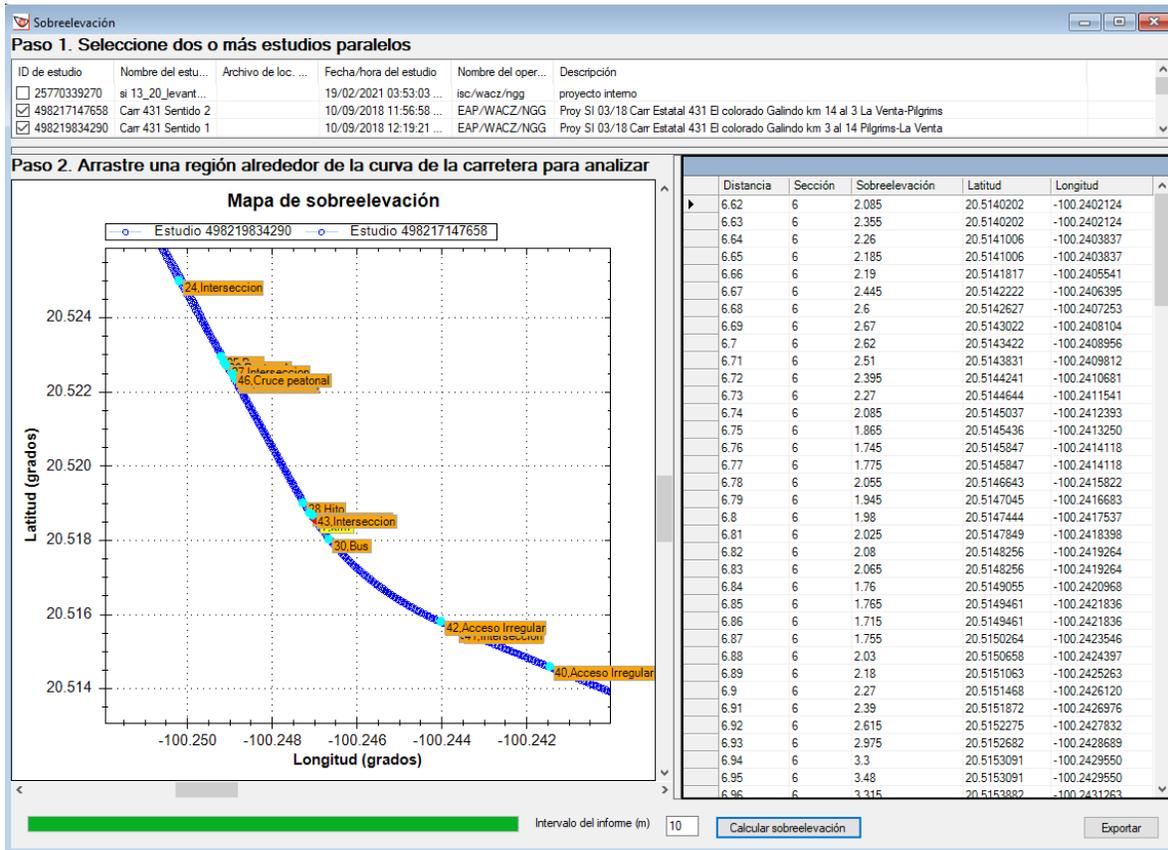
3.1 Cartografía (DGPS y GPS)

A continuación, se muestra la información cartográfica, resultado de obtener puntos con altitud, latitud y longitud a cada 10 metros, donde se obtiene una tabla de datos, una gráfica de los perfiles y un informe (figuras 3.1 a 3.4).



Fuente: Elaboración propia obtenidas del visor Toolkit.

Figura 3.1 Tabla de resumen para obtener datos



Fuente: Elaboración propia obtenidas del visor Toolkit

Figura 3.4 Resultado de sobre elevación de la sección transversal del levantamiento

Dentro del informe que arroja el software se encuentra un resumen de las diferentes variables que se obtienen en el levantamiento, como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Resumen de las variables

Punto kilométrico (km)	Subpunto kilométrico (km)	Pendiente (%)	Pendiente transversal (%)	Curvatura horizontal grado/km	Curvatura vertical grado/km	Posición X (km)	Posición Y (km)	Posición Z (km)
12.716	0.01	3.51	3.19	-10.31	-13.18	-0.001	0.06	0.002
12.726	0.02	3.71	3.14	-14.32	-6.88	-0.001	0.07	0.002
12.736	0.03	3.76	3	-18.33	0.57	-0.001	0.08	0.002
12.746	0.04	3.69	2.86	-18.91	7.45	-0.001	0.09	0.003
12.756	0.05	3.47	2.87	-5.73	10.31	-0.001	0.1	0.003
12.766	0.06	3.21	3.11	6.88	8.59	-0.002	0.11	0.003
12.776	0.07	3.07	3.52	1.72	1.72	-0.002	0.12	0.004
12.786	0.08	3.14	3.78	-13.18	-5.73	-0.002	0.13	0.004
12.796	0.09	3.35	3.63	-15.47	-9.74	-0.002	0.14	0.004
12.806	0.1	3.59	3.01	0	-9.17	-0.003	0.15	0.005
12.816	0.11	3.72	2.12	25.21	-4.58	-0.003	0.16	0.005
12.826	0.12	3.73	1.13	27.5	0.57	-0.003	0.17	0.005
12.836	0.13	3.67	0.04	9.17	4.58	-0.003	0.18	0.006
12.846	0.14	3.56	-1.2	-11.46	7.45	-0.004	0.19	0.006
12.856	0.15	3.39	-2.6	-32.09	8.02	-0.004	0.2	0.006
12.866	0.16	3.22	-3.95	-63.6	6.3	-0.004	0.21	0.007
12.876	0.17	3.13	-5.05	-103.71	2.29	-0.004	0.22	0.007
12.886	0.18	3.13	-5.84	-140.37	-2.29	-0.005	0.23	0.007
12.896	0.19	3.24	-6.21	-163.87	-5.16	-0.006	0.24	0.008
12.906	0.2	3.37	-6.25	-181.05	-4.58	-0.007	0.25	0.008

**Tabla 3.2 Resumen de las variables
(continuación)**

CURVATURA grado/km	Pendiente transversal HDM4 (%)	Veloc. (km/h)	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (m)
10.31	3.19	8.1	20.568	-100.27	1957
14.32	3.14	7.6	20.568	-100.27	1957
18.33	3	7.8	20.568	-100.27	1957
18.91	2.86	7.7	20.568	-100.27	1958
6.3	2.87	6	20.567	-100.27	1958
6.88	3.11	6.3	20.567	-100.27	1959
2.86	3.52	5.9	20.567	-100.27	1959
13.18	3.78	6.8	20.567	-100.27	1959
15.47	3.63	8.6	20.567	-100.27	1960
2.29	3.01	8.9	20.567	-100.27	1960
25.21	2.12	8.4	20.567	-100.27	1960
27.5	1.13	10.2	20.567	-100.27	1961
10.31	0.16	10.1	20.567	-100.27	1961
11.46	1.2	9.6	20.567	-100.27	1962
32.09	2.6	9.3	20.567	-100.27	1962
63.6	3.95	9.8	20.567	-100.27	1962
103.71	5.05	9.4	20.567	-100.27	1962
140.37	5.84	9.8	20.567	-100.27	1963
163.87	6.21	9.3	20.567	-100.27	1963
181.05	6.25	9.3	20.567	-100.27	1963

Fuente: Elaboración propia con datos del Hawkeye

3.2 Proceso de datos en AutoCAD

Una vez obtenidos los datos, estos se procesaron por medio de un software el cual transforma los datos a mapas y se obtuvo un archivo tipo SHP, así poder llevar a cabo el dibujo en AutoCAD y realizar las mediciones de grados de curvaturas, elaborar perfiles y obtener secciones transversales del alineamiento horizontal y vertical de la carretera.

El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

A partir de los datos generados por el visualizador geo cartográfico de la Red Nacional de Caminos (RNC), se obtuvieron las características generales del camino; clasificación del camino, ancho y tipo de calzada y límite de velocidad.

Posterior a eso, el levantamiento del vehículo de inspección arroja una complicación de datos que son usados para la obtención de las características de diseño

geométrico estudiado, los datos son: sobreelevación, grados de curvatura, altitud, longitud y latitud, pendiente trasversal de las secciones y sección longitudinal, todos estos provenientes del dispositivo Gipsi-track.

El Google Earth fue usado para trazar la línea central de la curva, al igual que los datos dados por el levantamiento con el equipo Hawkeye, , estos fueron exportados a ArcGis, un software de georreferenciación por coordenadas UTM, que permitió conocer la pendiente, la longitud de curvas y el radio de estas mismas posteriormente fueron exportados a AutoCAD y así se obtuvieron las características geométricas con la escala correspondiente de las curvas, radios de curva (Rc) y longitudes de la curva (Lc).

3.3 Sección transversal de un proyecto geométrico

El acondicionamiento de un camino se da para que los vehículos puedan transitar con la suficiente seguridad, comodidad y economía dada la disminución de costos de operación al tener alineamientos buenos para su funcionamiento. La sección transversal del acondicionamiento del camino se estructura como se indica en la figura 3.5.

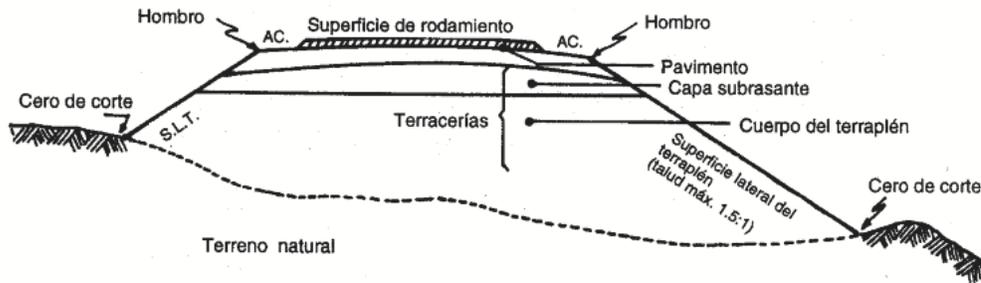


Figura 3.5 Sección transversal de una carretera

- **Calzada o Superficie de Rodamiento:** Parte de la sección que se mantiene en contacto con los neumáticos, generalmente en caminos importantes se encuentra pavimentada
- **Carril:** Aquella parte de la calzada que permite el movimiento de una sola fila de vehículos.
- **Acotamientos:** Partes que confinan a la calzada y que ocasionalmente pueden utilizarse como estacionamiento

- **Corona:** Es la parte de la sección que contiene a la calzada más los acotamientos
- **Hombros:** Son los puntos extremos de la corona y que definen la intersección de ésta con los taludes.
- **Cunetas:** Se emplean como elementos del drenaje longitudinal
- **Contracunetas:** Se emplean aguas arriba de la sección e impiden que caiga demasiada agua a las cunetas.
- **Taludes:** Caras inclinadas en los extremos de la sección, y se utilizan para proporcionar estabilidad a los terraplenes o a los cortes.
- **Rasante:** Es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. En la sección transversal está representada por un punto.
- **Pavimento:** Es el conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento.
- **Subrasante:** Es la capa sobre cuya superficie se apoyan las capas del pavimento. También se le denomina al punto que se encuentra debajo de la rasante, pero sobre la superficie superior de esta capa.
- **Ceros:** Son los puntos extremos de la sección donde los taludes se intersectan con el terreno natural.

4. Comparación de los datos

En este apartado se presenta, a manera de ejemplo aplicativo, la comparación de los datos obtenidos por el vehículo de inspección y los datos generados por el RNC procesados en el AutoCAD para conocer el diseño de la vialidad. Los datos más utilizados son los que se muestran en la tabla 4.1, donde la columna 1 presenta el punto kilométrico de los datos, el software los da a cada 10 metros, en la columna 2 nos muestra la pendiente longitudinal, la columna 3 nos da la sección transversal, la columna 4 nos proporciona el grado de curvatura horizontal, la columna 5 grado de curvatura vertical, de la columna 6 a la 8 se aprecia la ubicación del punto en X, Y, y Z respectivamente, la columna 9 nos muestra la pendiente transversal de acuerdo al procedimiento del HDM4, la columna 10,11 y 12 presenta la latitud, longitud y altitud, respectivamente.

Tabla 4.1 Datos utilizados

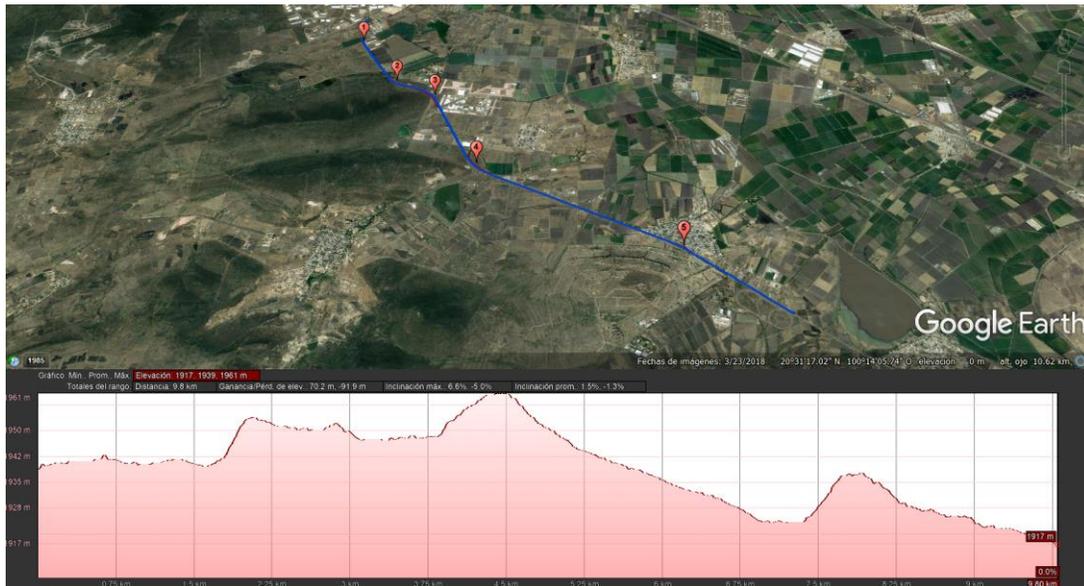
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Subpunto kilométrico (km)	Pendiente (%)	Pendiente transversal (%)	Curvatura horizontal grado/km	Curvatura vertical grado/km	Posición X (km)	Posición Y (km)	Posición Z (km)	Pendiente transversal HDM4 (%)	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (m)

Fuente: Elaboración propia

4.1 Perfil longitudinal

Para el perfil longitud se procesaron los datos por medio de la herramienta del CivilCAD, se obtuvo del trazo el perfil mostrado en la figura 4.1 y podemos observar el comportamiento de este con respecto al alineamiento vertical; en otra observación, por medio del Google Earth, se obtuvo el perfil del terreno.

Se observó que para el Google Earth en el kilómetro 4+000 del tramo, suponiendo que el tramo empieza en el kilómetro 3+000, estaría posicionado entre el km 6+000 y el km 7+000 aproximadamente, tiene la altura máxima de 1961 metros sobre el nivel del mar y para los datos proporcionados por el Toolkit nos da la posición geométrica en el kilómetro 6+520, por lo que de cierta manera existe una correlación entre ambos datos; a continuación, se muestra las figuras del perfil (figura 4.1) y la tabla 4.2 del resumen de los datos.



Fuente: Elaboración propia con Google Earth

Figura 4.1 Perfil longitudinal

Tabla 4.2 Resumen de datos obtenidos por el Hawkeye

Subpunto kilométrico (km)	Pendiente (%)	Pendiente transversal (%)	Curvatura horizontal grado/km	Curvatura vertical grado/km	Posición X (km)	Posición Y (km)
6.46	1.77	-3.5	-89.95	2.86	-5.761	0.323
6.47	1.57	-3.4	-95.11	15.47	-5.77	0.32
6.48	1.14	-3.34	-88.81	24.06	-5.78	0.317
6.49	0.62	-3.35	-76.78	26.36	-5.79	0.314
6.5	0.13	-3.33	-68.18	21.77	-5.799	0.311
6.51	-0.21	-3.21	-65.89	14.32	-5.809	0.308
6.52	-0.35	-3.11	-67.61	6.88	-5.818	0.305
6.53	-0.39	-3.05	-68.75	2.86	-5.828	0.302
6.54	-0.38	-2.95	-69.33	2.86	-5.837	0.298
6.55	-0.43	-2.81	-69.9	6.3	-5.846	0.295
6.56	-0.6	-2.63	-73.34	10.31	-5.856	0.291
6.57	-0.84	-2.48	-78.5	12.61	-5.865	0.287

Posición Z (km)	CURVATURA grado/km	Pendiente transversal HDM4 (%)	Vel. (km/h)	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (m)
0.004	89.95	3.5	53	20.51803	-100.2467	1963.4
0.004	95.11	3.4	52.7	20.51796	-100.2466	1963.5
0.005	88.81	3.34	52.8	20.51788	-100.2466	1963.6
0.005	76.78	3.35	52.8	20.51781	-100.2465	1963.7
0.005	68.18	3.33	53.1	20.51774	-100.2464	1963.8
0.005	65.89	3.21	53.3	20.51766	-100.2464	1963.8
0.005	67.61	3.11	53.7	20.51759	-100.2463	1963.8
0.005	68.75	3.05	54.1	20.51752	-100.2463	1963.8
0.004	69.33	2.95	54.7	20.51745	-100.2462	1963.7
0.004	69.9	2.81	55.1	20.51738	-100.2461	1963.7
0.004	73.34	2.63	55.5	20.51732	-100.2461	1963.7
0.004	78.5	2.48	56.1	20.51725	-100.246	1963.6

Fuente: Elaboración propia con Google Earth

Para el análisis del perfil longitudinal del tramo se procesaron los datos y se obtuvo un eje de proyecto en AutoCAD y con la herramienta CivilCAD (Altimetría) se obtuvo el perfil, se muestra una sección de 2 km y el resumen de los datos utilizados para este proceso; cabe mencionar que se muestra una sección de 200 metros en la tabla 4.3 y en la figura 4.2, 1.84 kilómetros del perfil que comprende del kilómetro 7+000 al kilómetro 1+840.

Tabla 4.3 Resumen de datos obtenidos por el Hawkeye

Subpunto kilométrico (km)	Pendiente (%)	Pendiente transversal (%)	Curvatura vertical grado/km	Pendiente transversal HDM4 (%)	Altitud (m)
7	-1.82	2.26	-4.01	2.26	1953
7.01	-1.64	1.79	-1.72	1.79	1952.8
7.02	-1.64	1.63	5.16	1.63	1952.6
7.03	-1.87	1.7	12.61	1.7	1952.4
7.04	-2.17	1.84	15.47	1.84	1952.2
7.05	-2.47	2.08	14.32	2.08	1952
7.06	-2.71	2.48	12.03	2.48	1951.8
7.07	-2.87	2.91	8.59	2.91	1951.6
7.08	-3.01	3.28	6.3	3.28	1951.3
7.09	-3.08	3.45	5.16	3.45	1951.1
7.1	-3.14	3.41	5.16	3.41	1950.9
7.11	-3.28	3.3	4.58	3.3	1950.7
7.12	-3.37	3.2	1.72	3.2	1950.6
7.13	-3.36	3.17	-2.86	3.17	1950.4
7.14	-3.24	3.23	-5.16	3.23	1950.2
7.15	-3.11	3.24	-4.58	3.24	1950
7.16	-3.07	3.11	-5.73	3.11	1949.8
7.17	-3.02	2.95	-8.59	2.95	1949.6
7.18	-2.8	2.77	-12.03	2.77	1949.4
7.19	-2.49	2.64	-11.46	2.64	1949.2
7.2	-2.27	2.47	-3.44	2.47	1949

Fuente: Elaboración propia con Google Earth



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Perfil longitudinal en CivilCAD

4.2 Curvas horizontales

En el proyecto geométrico, dentro del alineamiento horizontal, se encuentran las curvas horizontales las cuales son muy controversiales ya que algunas desde su diseño son construidas con base en los manuales de proyecto geométrico, sin embargo, la operación en ocasiones genera ciertos problemas debido a su configuración; en este estudio se analizaron las 5 curvas del tramo inspeccionado, en las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados.

Dentro del alineamiento horizontal donde la proyección de la línea de una obra vial sobre el plano horizontal es tan importante, los elementos que conforman al alineamiento horizontal son tangentes, curvas circulares y curvas de transición, este alineamiento quedará definido por los rumbos o azimuts de cada uno de los elementos geométricos y en general, por sus coordenadas geográficas, así como la definición de sus estaciones cerradas a cada 20 m y en puntos de interés definidos, por los cruces y puntos específicos de las curvas horizontales.

A continuación, en la Figura 4.3, se muestra un esquema general y la secuencia de estaciones en un alineamiento horizontal.

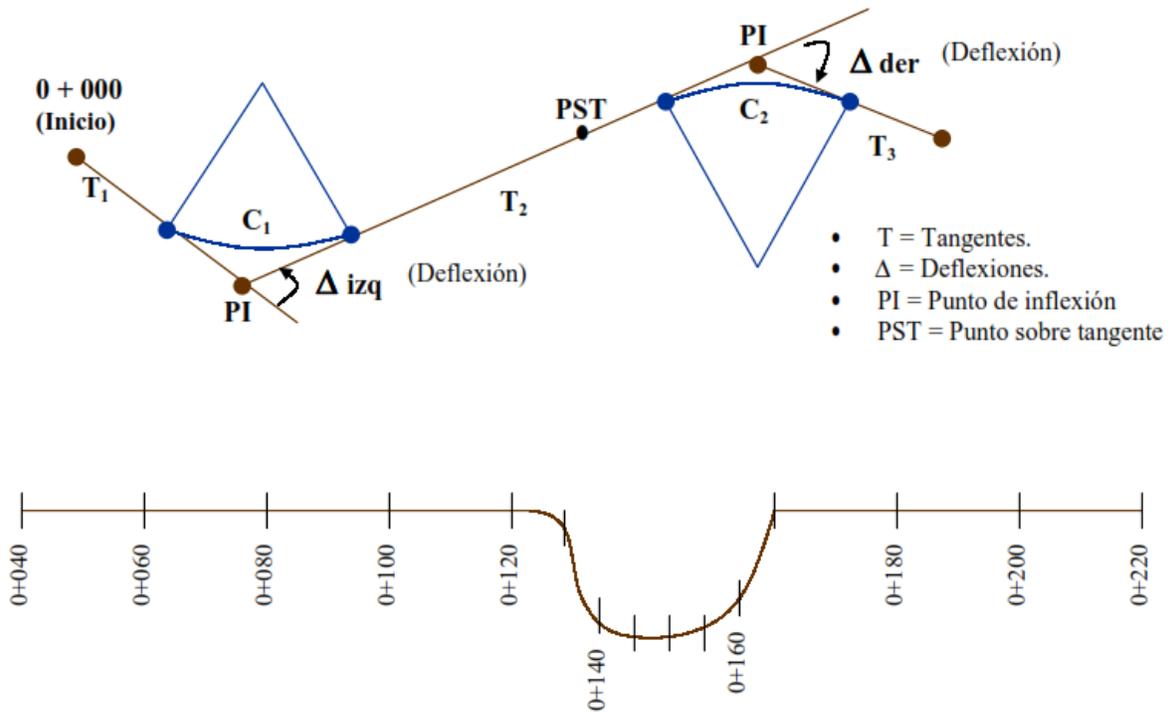


Figura 4.3 Alineamiento horizontal

De cada una de las curvas, con la herramienta AutoCAD, se obtuvieron los diferentes grados de curvaturas, los cuales se concentran en la tabla 4.4; cabe mencionar que, los datos proporcionados por el vehículo de inspección son dados a cada 10 metros y se optó por tomar el dato más alto que se presentaba en la mayoría de casos al centro de la longitud de la curva. En la figura 4.4 se pueden observar las 5 curvas del tramo y en las figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, y 4.10 se observan la posición geográfica y el dibujo de AutoCAD de las curvas 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente.

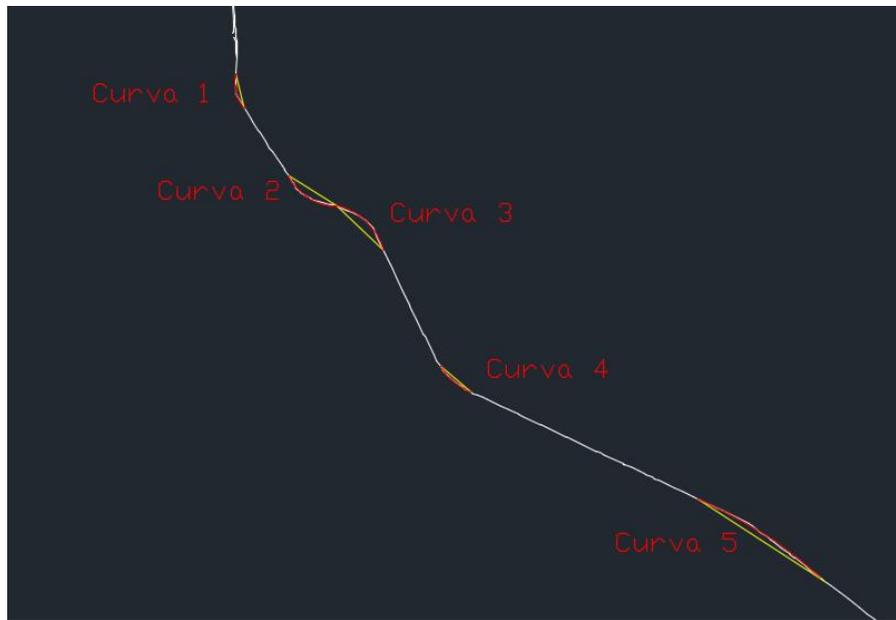


Figura 4.4 Tramo levantado en AutoCAD (Base de datos Hawkeye)

Para la comparación de las curvas podemos observar los datos proporcionados por el vehículo de inspección mostrados en las tablas 4.4 y 4.5.

Tabla 4.4 Datos obtenidos

Curva	Punto Kilométrico	Radio de curvatura (Datos Hawkeye)	Radio de curvatura (AutoCAD)	Latitud (grados)	Longitud (grados)
1	2+710	363.26	392.19	20.54464057	-100.2666222
2	3+930	305.39	329.28	20.53523462	-100.2605858
3	4+770	290.49	316.52	20.53182993	-100.2535381
4	6+600	699.56	709.81	20.51704976	-100.2458266
5	10+050	1675.81	1698.23	20.50268507	-100.2165415

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5 Grados de curvatura

Curva	Radio de curvatura (Datos Hawkeye)	Grado de curvatura (Datos Hawkeye)	Radio de curvatura (AutoCAD)	Grado de curvatura (AutoCAD)
1	363.26	3.15 3° 09' 16"	392.19	2.92 2° 55' 19"
2	305.39	3.75 3° 45' 08"	329.28	3.48 3° 28' 48"
3	290.49	3.94 3° 56' 41"	316.52	3.62 3° 37' 13"
4	699.56	1.64 1° 38' 17"	709.81	1.61 1° 36' 52"
5	1675.81	0.68 0° 41' 02"	1698.23	0.67 0° 40' 29"

Fuente: Elaboración propia

La curva uno, dos y tres de acuerdo al manual de proyecto geométrico de la SCT (2018) entran en las configuraciones de curvas que se muestran a continuación. (figura 4.5)

VELOCIDAD	70						80					
	Gc	Rc	Ac		Sc	Le		Ac		Sc	Le	
			A4S	A4		A4S	A4	A4S	A4S		A4S	A4
0° 15'	4583.68	0	20	20	39	67	0	20	20	45	76	
0° 30'	2291.84	20	30	20	39	67	20	30	20	45	76	
0° 45'	1527.89	20	40	20	39	67	20	40	23	45	76	
1 00'	1148.92	20	50	25	39	67	30	50	30	45	76	
1 15'	916.14	30	50	30	39	67	30	60	37	45	76	
1 30'	763.94	30	60	35	39	67	30	60	44	45	76	
1 45'	684.81	30	60	41	39	67	40	70	50	45	76	
2 00'	572.96	30	70	46	39	67	40	80	57	45	76	
2 15'	509.30	40	80	51	39	67	40	90	62	45	76	
2 30'	458.37	40	80	55	39	67	50	90	68	45	76	
2 45'	416.70	40	80	60	39	67	50	90	73	47	79	
3 00'	381.97	50	90	64	39	67	50	100	77	49	84	
3 15'	352.59	50	90	67	39	67	50	110	81	52	88	
3 30'	327.40	50	100	71	40	68	60	110	85	54	92	
3 45'	305.58	50	110	75	42	71	60	120	88	56	96	
4 00'	286.48	50	110	78	44	74	60	120	91	58	99	
4 15'	269.65	60	110	81	45	77	60	130	94	60	102	
4 30'	254.65	60	120	84	47	80	70	130	96	61	104	
4 45'	241.25	60	120	87	49	83	70	140	97	62	106	
5 00'	229.18	60	130	89	50	85	70	140	99	63	108	
5 15'	218.27	60	130	91	51	87	80	140	100	63	108	
5 30'	208.35	70	140	93	52	89	80	150	100	64	109	
5 45'	199.29	70	140	95	53	90						
6 00'	190.99	70	150	96	54	91						
6 15'	183.35	70	150	97	54	92						
6 30'	176.29	80	160	98	55	93						
6 45'	169.77	80	160	99	55	94						
7 00'	163.70	80	160	99	55	94						
7 15'	158.06	80	160	100	56	95						
7 30'	152.79	80	170	100	56	95						

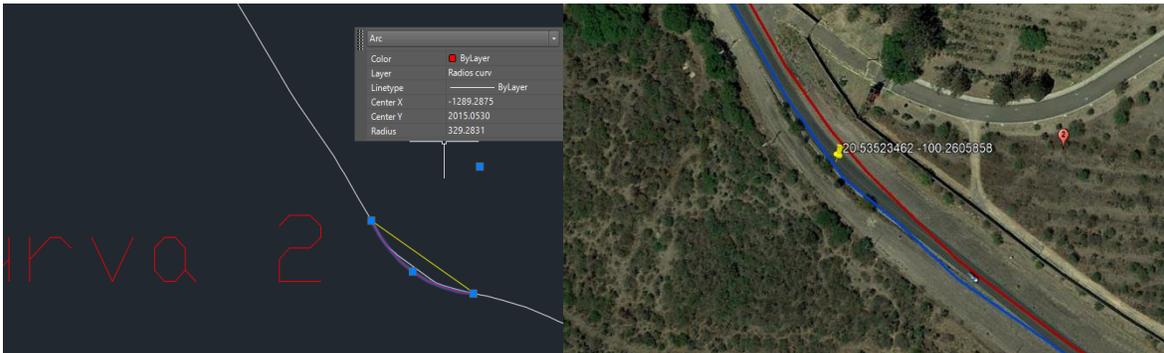
Fuente: Normas de Servicios Técnicos

Figura 4.5 Tabla de Ampliación de corona, sobreelevación y Longitud de transición



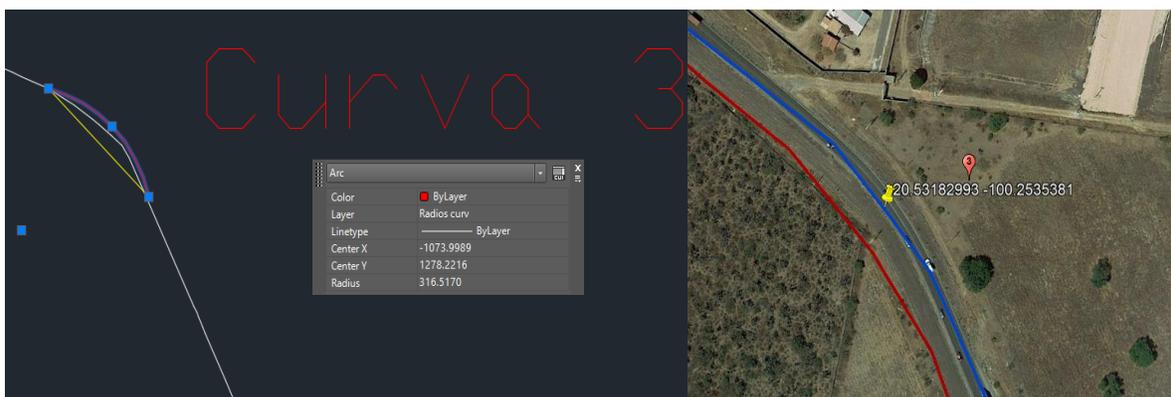
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Posición geográfica y dibujo en AutoCAD de la Curva 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Posición geográfica y dibujo en AutoCAD de la Curva 2



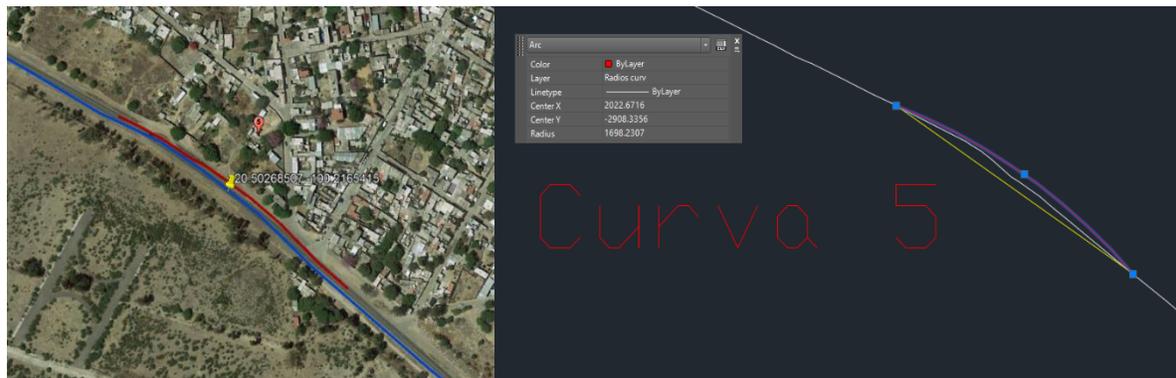
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Posición geográfica y dibujo en AutoCAD de la Curva 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Posición geográfica y dibujo en AutoCAD de la Curva 4



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 Posición geográfica y dibujo en AutoCAD de la Curva 5

En este procedimiento fue destacable observar que, el grado de curvatura de las 5 curvas están por debajo del G_{max} que le correspondería a una carretera de 80 km/h como lo especifica su clasificación por el tipo de carretera, de acuerdo con la figura 4.11, donde muestra la Tabla I.11 del manual de proyecto geométrico de la SCT en su versión del 2018 que estas curvas pueden soportar hasta 90 km/h y en algunas hasta 100 km/h; es por ello que, del estudio realizado de velocidad, se concluye que el conductor posee la confianza para circular la vía a las velocidades de operación registradas; sin embargo, por cuestiones de seguridad y respeto a las normas que regulan el tránsito, no es aceptable sobrepasar el límite máximo de velocidad del tramo.

VP	30	40	50	60	70	80	90	100	110
G_{MAX}	60°	30°	17°	11°	7.5°	5.5°	4.25°	3.25°	2.50°
RMIN	19.1m	38.2m	67.41m	104.17m	152.79m	208.35m	269.63m	352.59m	458.37m

Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras, SCT.

Figura 4.11 Tabla I.11 del MPGC 2018

4.3 Sección vertical y sobreelevación

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona; a su vez, el eje de la subcorona es el alineamiento vertical de la subrasante.

Los elementos que lo integran son las tangentes verticales y curvas verticales (figura 4.12).

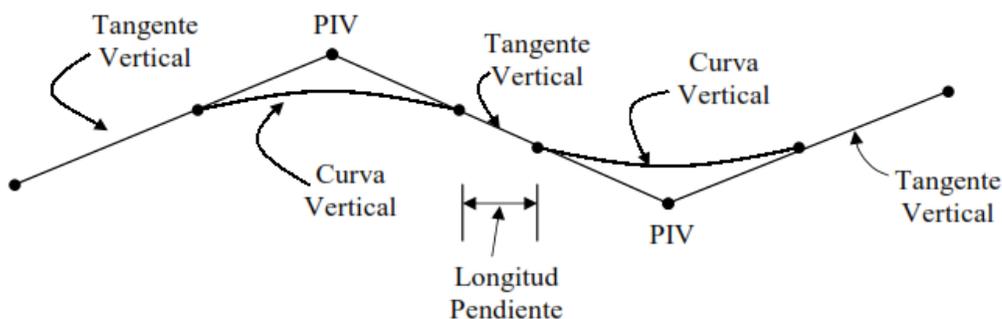


Figura 4.12 Alineamiento vertical

Algo que es importante en el alineamiento vertical es la pendiente gobernadora y la pendiente máxima, que para la primera es una pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado y se puede mantener en una longitud indefinida y la segunda es la máxima pendiente que se le puede dar al camino en una longitud determinada, en la figura 4.13 se observan los

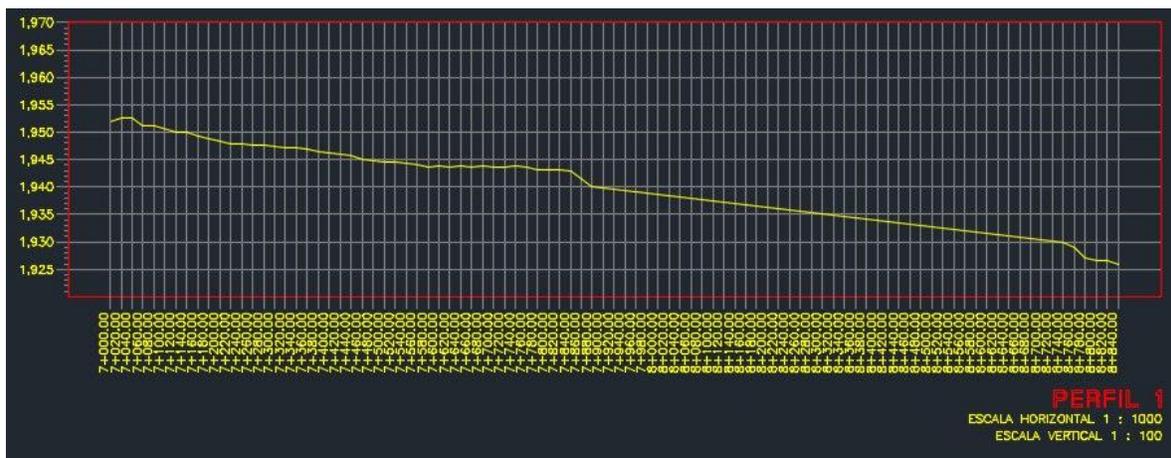
diferentes valores de pendientes máximas y gobernadora para diferentes tipos de caminos según la normativa de la SCT.

Camino Tipo	Pendiente Gobernadora (%)			Pendiente Máxima (%)		
	Tipo de Terreno			Tipo de Terreno		
	Plano	Lomerío	Montañoso	Plano	Lomerío	Montañoso
E	-	7	9	7	10	13
D	-	6	8	6	9	12
C	-	5	6	5	7	8
B	-	4	5	4	6	7
A	-	3	4	4	5	6

Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras, SCT.

Figura 4.13 Tabla de pendientes del MPGC 2018

Con los datos obtenidos en el levantamiento por medio del vehículo de inspección se pudo construir un perfil longitudinal, sacar las pendientes de la subrasante y nivel de terreno y obtener una sección transversal en un punto, esto por parte del proceso que se hizo por medio de la herramienta de CivilCAD; la altimetría del terreno dio paso a poder obtener las diferentes pendientes que se presentan en el tramo, para la parte representativa se seleccionó un tramo en tangente del kilómetro 7+000 al kilómetro 8+840 y para el caso de las secciones se obtuvo una para tangente en el kilómetro 7+000 y otra en curva en el kilómetro 4+770 (figuras 4.14 a 4.19).



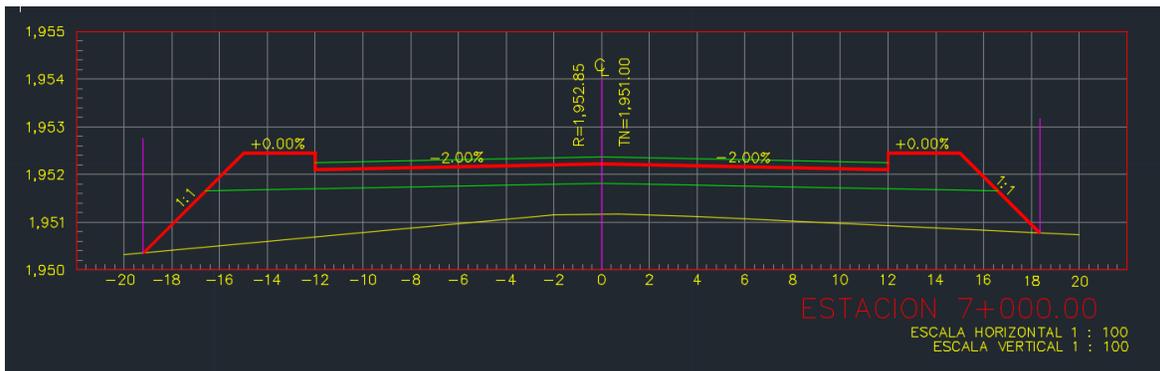
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Perfil longitudinal en Civil CAD con cadenamamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Perfil longitudinal en Civil CAD con pendientes en el tramo



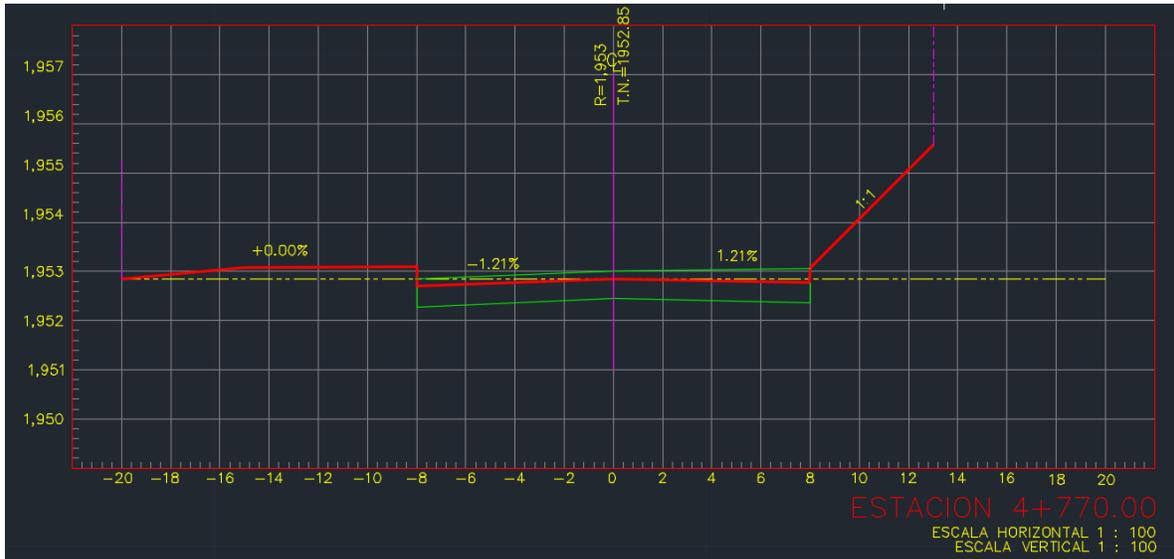
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Sección transversal del km 7+000 en tangente



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17 Street view Del km 7+000



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Sección transversal del km 4+770 en curva



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19 Street view del km 4+770

5. Conclusiones

Las actualizaciones de metodologías para realizar el proyecto geométrico de una carretera con el paso de los años han sido evolucionadas y por lo tanto el diseño y las normas se actualizan a manera de tener una solución para diferente tipo de terreno, tipo de vehículo de proyecto, tipo de carretera y sobre todo la capacidad de esta.

Sin embargo, en las evaluaciones para conservación de carreteras muy antiguas es difícil encontrarse con los planos originales, es por ello que esta herramienta por medio del vehículo de inspección Hawkeye es una alternativa de uso para el levantamiento de proyecto geométrico.

Los resultados fueron bastante congruentes con la realidad que presenta la infraestructura, sin embargo, los elementos dan a conocer que las mejoras que se le puede dar a la vialidad son para que esta carretera se convierta en una vía auto explicativa y segura para todo tipo de usuario.

En los últimos años la actualización de las metodologías y herramientas (software y tecnología) han ayudado a avanzar en la obtención de datos geométricos de las carreteras, sin embargo han sido muy costosas desde su operación y hasta el mantenimiento del equipo, una parte fundamental de evaluación de carreteras o auditorias de seguridad vial pretende estudiar la vía como infraestructura y encontrar sus características que ofrece como vialidad segura, explicativa y perdonadora, y esto se puede obtener como se hizo en el estudio, dado que el comportamiento de los datos en ocasiones son muy complejos cabe señalar que el criterio como especialista da pauta a deducir el comportamiento que pudiera encontrarse en el tramo auditado, esto para su pronta intervención de las autoridades correspondientes y se realice las medidas de mejora que se puedan recomendar.

Por lo que, con base en lo obtenido, se recomienda profundizar más sobre las herramientas que ofrece el vehículo de inspección y levantamiento Hawkeye Serie 2000 para obtención de datos y compararla con otros métodos de medición y obtención de datos para futuras investigaciones.

Bibliografía

AASHTO. (2004) "A policy on geometric design of highways and streets". *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, 2004, Washington, D.C.

Cal y Mayor R. E., R, Cárdenas Grisales, J., (2007). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones*, Octava Edición, Editorial Alfa Omega, México. ISBN: 970-15-1238-3

Hawkeye 2000 Series General Specification, 2018. Consultado en la página arbsystems.com

International Road Assessment Programme (iRAP), (2013c). "iRAP Methodology", Star Rating Bands". Basingstoke Hampshire, UK.

Mendoza Alberto, Abarca Emilio, Mayoral Emilio, Quintero Francisco; 2004, *Recomendaciones de actualización de algunos elementos Del Proyecto Geométrico de Carreteras*, PT No 244, IMT. México.

SCT. (2018). *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*. México: Dirección General de Servicios Técnicos, SCT.



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 "El Colorado Galindo"
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,
Querétaro, México. C.P. 76703
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610
Fax: +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>