

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:

**“ESTIMACIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR SINIESTRALIDAD EN
LA VÍA CUENCA – LOJA EN FUNCIÓN DE LAS MANIOBRAS DE
CONDUCCIÓN”**

AUTORES:

JORGE GUSTAVO CAJAMARCA TACURI
MANUEL ALEJANDRO TOALONGO ORDOÑEZ

TUTOR:

ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE, M.SC.

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Jorge Gustavo Cajamarca Tacuri con documento de identificación N° 0106248297 y Manuel Alejandro Toalongo Ordoñez con documento de identificación N° 1104468234, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ESTIMACIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR SINIESTRALIDAD EN LA VÍA CUENCA – LOJA EN FUNCIÓN DE LAS MANIOBRAS DE CONDUCCIÓN”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo del 2021.



Jorge Gustavo Cajamarca Tacuri

C.I. 0106248297



Manuel Alejandro Toalongo Ordoñez

C.I. 1104468234

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ESTIMACIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR SINIESTRALIDAD EN LA VÍA CUENCA – LOJA EN FUNCIÓN DE LAS MANIOBRAS DE CONDUCCIÓN”**, realizado por Jorge Gustavo Cajamarca Tacuri y Manuel Alejandro Toalongo Ordoñez, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo del 2021.



Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

C.I. 0103898995

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Jorge Gustavo Cajamarca Tacuri con documento de identificación N° 0106248297 y Manuel Alejandro Toalongo Ordoñez con documento de identificación N° 1104468234, autores del trabajo de titulación: **“ESTIMACIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR SINIESTRALIDAD EN LA VÍA CUENCA – LOJA EN FUNCIÓN DE LAS MANIOBRAS DE CONDUCCIÓN”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, mayo del 2021.



Jorge Gustavo Cajamarca Tacuri

C.I. 0106248297



Manuel Alejandro Toalongo Ordoñez

C.I. 1104468234

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi madre Flor Oliva Ordoñez quien con su lucha día a día a sabido sacrificarse para que cada uno de mis hermanos y sobrinos salgan adelante, su amor incondicional y su valentía hacen que ella sea mi mayor inspiración.

A Ana Gabriela Armijos Livisaca, que nunca dejo que me rinda y siempre estuvo apoyándome y recordándome que: “Las cosas imposibles solo tienen fecha de caducidad”, de ti aprendí a no rendirme y aquí está la prueba fehaciente.

Manuel Alejandro

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres Jorge Olmedo Cajamarca y Martha Victoria Tacuri quienes a pesar de todos los difíciles momentos pasados con su lucha diaria y esfuerzo por salir adelante me han sabido apoyar y darme ánimos para terminar esta etapa de mi vida, siendo así fuente de inspiración para nunca darme por vencido en la vida.

A mis hermanos Daniel, Pamela, Michelle y David quienes siempre estuvieron a mi lado dándome consejos y siendo cada uno de ellos mis grandes ejemplos a seguir.

A la Srta. Sonia Fernanda Juela Neira quien fue uno de los pilares fundamentales en mi vida y quien me ayudo a llegar a este momento cumpliendo así la promesa que le hice.

Jorge Cajamarca

AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios por brindarme la sabiduría y por guiarme en cada paso que he tomado a lo largo de mi carrera universitaria.

Quiero expresar mi amor y gratitud a mi madre Flor Oliva Ordoñez que, con su fe, generosidad y su inalcanzable ayuda en todo momento me ha permitido llegar con sus palabras de aliento a culminar un peldaño más en vida.

A mis hermanos: Mayra, Gabriela, Raúl, Daniela y a mi padre Raúl Raymundo también ustedes forman parte de este éxito.

De la misma manera agradecer al Tutor de Tesis el Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde el mismo que me ha guiado en el desarrollo de la tesis impartiendo sus conocimientos para lograr obtener buenos resultados.

A cada uno de los profesores que formaron parte de mi formación académica, a cada uno de ustedes infinitas gracias por sus conocimientos que se verán reflejados en mi futura vida profesional, muchas gracias.

Manuel Alejandro

AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a mis padres Jorge Olmedo Cajamarca y Martha Victoria Tacuri que, con su esfuerzo y su ejemplo de superación me ayudaron y apoyaron en todo momento de mi carrera universitaria.

A mis hermanos: Daniel, Pamela, Michelle y David que me dieron su apoyo y fueron mi fortaleza a lo largo de esta etapa de mi vida.

De la misma manera agradecer al Tutor de Tesis el Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde por la gran ayuda en el desarrollo de esta tesis y tiempo invertido para poder sacar adelante este proyecto.

A todos y cada uno de los profesores que formaron parte de mi instrucción académica, a cada ustedes infinitas gracias por brindarme sus conocimientos que me servirán a lo largo de mi vida profesional.

Jorge Cajamarca

GLOSARIO

ANT, Agencia Nacional de Tránsito.

DNT, Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial.

INEN, Instituto Ecuatoriano de Normalización.

LTTTSV, Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial.

MTOP, Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador.

OMS, Organización Mundial de la Salud.

ONU, Organización de Naciones Unidas.

RLTTTSV, Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial.

SBU, Salario Básico Unificado.

RESUMEN

Los accidentes de tránsito son un problema grave en las vías del Ecuador, pues producen pérdidas significativas tanto humanas como económicas, en la vía Cuenca – Loja (Troncal de la Sierra E35) en los últimos cinco años se han producido 13 accidentes de vehículos de transporte público, los cuales dejaron como consecuencia 159 heridos y 18 muertos. Según la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) la principal causa es la impericia del conductor, siendo el 65,56% por exceso de velocidad, el 23,33% por invasión de carril en maniobra de rebasamiento y el 11,11% por pérdida de pista.

Esta investigación determina las zonas de mayor accidentabilidad a lo largo de la vía Cuenca – Loja basándose en las características físicas de la carretera y el estilo de conducción. Para esto se utiliza un dispositivo data logger conectado al puerto OBD del vehículo que recolecta datos como velocidad, aceleración, trayectoria, entre otros. Luego mediante herramientas de aprendizaje automático se determina la correlación entre las características de la vía como pendientes prolongadas, curvas y el estilo de conducción con el fin de establecer parámetros ideales de conducción según la geografía propia de la carretera y características de la calzada.

ABSTRACT

Traffic accidents are a serious problem on the roads of Ecuador, as they cause significant human and economic losses, on the Cuenca – Loja route (Troncal de la Sierra E35) in the last 5 years there have been 13 accidents involving public transportation, which left 159 injured and 18 dead. According to the National Transit Agency (ANT), the main cause is the driver's lack of control, with 65.56% due to speeding, 23.33% due to lane invasion in overtaking and 11.11% due to loss of traction.

This research identifies the most rugged areas along the Cuenca - Loja track based on the physical characteristics of the road and the driving style. This uses a data logger device connected to the vehicle's OBD port that collects data such as speed, acceleration, trajectory, among others. Machine learning tools then determine the correlation between track characteristics such as long slopes, curves and driving style in order to establish ideal driving parameters according to the geography of the road and characteristics of the road.

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	PROBLEMA.....	1
2.1.	Antecedentes.....	1
2.2.	Importancia y alcances	1
2.3.	Delimitación	2
3.	OBJETIVOS	3
4.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL ESTADO DEL ARTE.....	4
5.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
5.1.	Norma NTE INEN 1668: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial. Requisitos.....	6
5.1.1.	Definición.....	6
5.1.2.	Dimensiones externas del vehículo.....	6
5.2.	Peralte.....	7
5.3.	Velocidad de circulación.....	7
5.4.	Curvas mediante datos discretos.....	8
5.5.	Curvatura.....	9
5.6.	Radio de curvatura.....	11
5.7.	Dinámica del vehículo en circulación en curvas.....	11
5.7.1.	Velocidad límite de derrape y vuelco.....	11
5.7.1.1.	Cálculo aproximado de la velocidad de límite de derrape.....	12
5.7.1.2.	Cálculo aproximado de la velocidad límite de vuelco.....	12
5.8.	Fuerzas de Frenado.....	13
5.8.1.	Distancia de Frenado.....	13
6.	FACTORES QUE INTERVIENEN EN UN ACCIDENTE DE TRÁNSITO Y ZONAS DE MAYOR SINIESTRALIDAD EN LA VÍA CUENCA – LOJA.....	14
6.1.	Accidentes de tránsito. Definición.....	14

6.2.	Principales causas de accidentes de tránsito.....	14
6.2.1.	Factores humanos.....	14
6.2.2.	Factores mecánicos.	15
6.2.3.	Factores de las vías de circulación.	16
6.2.4.	Factores ambientales.	16
6.3.	Clasificación de accidente de tránsito.	16
6.4.	Accidentes de tránsito en el Ecuador.....	17
6.5.	Causas para que ocurran accidentes de tránsito en Ecuador.	18
6.6.	Accidentes de tránsito en la vía Cuenca – Loja.....	19
7.	MARCO METODOLÓGICO.	21
7.1.	Levantamiento y procesamiento de los datos.	21
7.2.	Trazado de la Ruta.....	21
7.3.	Cálculo de la curvatura en todos los puntos vía.	25
7.4.	Cálculo de los radios de curvatura en todos los puntos de la vía.	27
7.4.1.	Verificación de los radios de curvatura utilizando Google Earth Pro.....	28
7.4.1.1.	Intersección Av. de las Américas y Circunvalación Sur, semáforo del intercambiador.....	29
7.4.1.2.	Redondel que dirige a Girón y Loja.....	30
7.4.1.3.	Sector La Jarata.....	32
7.4.1.4.	Primera curva con dirección a Loja sector Susudel.	33
7.4.1.5.	Segunda curva con dirección a Loja sector Susudel.....	35
7.4.1.6.	Entrada a San Antonio de Cumbe.....	36
7.4.1.7.	Sector la Curva - Baber.....	38
7.4.1.8.	Sector Yarímala curva Sub Estación EERSSA Saraguro.	39
7.4.1.9.	San Lucas sector Pichig.	41
7.4.1.10.	Quebrada Shimunga sector Santiago.	42
7.4.1.11.	Zenen Bajo.....	44

7.5.	Análisis dinámico de la unidad de transporte.....	45
7.5.1.	Cálculo aproximado de la velocidad de derrape de la unidad de transporte.	45
7.5.2.	Cálculo aproximado de la velocidad de vuelco de la unidad de transporte.	48
7.6.	Cálculo para encontrar la distancia de frenado.....	50
7.7.	Clasificación de Zonas Urbanas y Rurales en la ruta Cuenca - Loja.	52
7.7.1.	Identificación en la ruta de rectas, curvas medias y curvas peligrosas.	53
7.7.2.	Clasificación de: rectas, curvas medias y curvas peligrosas en las zonas urbanas y rurales.....	54
8.	RESULTADOS	56
8.1.	Velocidad limitada por las velocidades de vuelco, derrape y la ley.....	56
8.2.	Comparación de la velocidad del conductor y la velocidad limitada para conocer las zonas de mayor siniestralidad.....	58
8.3.	Clasificación del conductor en la vía según la forma de conducir.	60
8.4.	Medidas de tendencia central aplicadas al conductor en la vía en base al índice de seguridad.....	62
9.	CONCLUSIONES.....	65
10.	RECOMENDACIONES	68
11.	BIBLIOGRAFÍA	69

Índice de figuras.

Figura 1: Provincias de estudio Azuay y Loja. Fuente: Autores.	2
Figura 2: Red Vial Troncal de la Sierra E35. Fuente: (MTOPI, 2013)	3
Figura 3: Bus Interprovincial. Fuente: (Guambaña, 2020).	6
Figura 4: Curva discreta. Fuente: (Stewart, 2012).	9
Figura 5: Modelado Bidimensional para el Cálculo Aproximado de las Velocidades Límite de Derrape y de Vuelco. Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 1995).	12
Figura 6: Choque Frontal. Fuente: (Medina Dávalos, Medina Borja, & Escobar Suárez)	14
Figura 7: Clasificación de los accidentes de tránsito. Fuente: Autores	16
Figura 8: Accidentes de tránsito año 2015 – 2019. Fuente: Agencia Nacional de Tránsito. 2019	17
Figura 9: Causas de los accidentes de tránsito en Ecuador. Fuente: Agencia Nacional de Tránsito. 2019.	18
Figura 10: Sectores de mayor siniestralidad en la vía Cuenca - Loja. Fuente: Autores	19
Figura 11: Causas de los accidentes de tránsito en la vía Cuenca - Loja. Fuente: Autores ...	20
Figura 12: Dispositivo Freematics ONE+. Fuente: (Freematics, 2021)	21
Figura 13: Trazado de la ruta mediante vectores de Latitud y Longitud en Matlab®. Fuente: Autores.	22
Figura 14: Sistema de Coordenadas Geográficas de la Tierra. Fuente: (Gilbert Pérez).	23
Figura 15: Trazado de la ruta con Coordenadas Geográficas. Fuente: Autores.	24
Figura 16: Trazado de la ruta con Coordenadas UTM. Fuente: Autores.	24
Figura 17: Vector curvatura (k) sobrepuesto en la ruta Cuenca - Loja. Fuente: Autores.	26
Figura 18: Zona específica de la ruta para identificar el vector curvatura (k). Fuente: Autores.	26
Figura 19: Vector radio (r) sobrepuesto en la ruta Cuenca - Loja. Fuente: Autores.	27
Figura 20: Zona específica de la ruta para identificar el vector radio (r). Fuente: Autores ...	28
Figura 21: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en la Intersección Av. de las Américas y Circunvalación Sur con Matlab®. Fuente: Autores.	29
Figura 22: Valor del radio de curvatura en la Intersección Av. de las Américas y Circunvalación Sur con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021)	30
Figura 23: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en el redondel que dirige a Girón y Loja con Matlab®. Fuente: Autores.	31
Figura 24: Valor del radio de curvatura en el redondel que dirige a Girón y Loja con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021).	31
Figura 25: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en el sector La Jarata con Matlab®. Fuente: Autores.	32
Figura 26: Valor del radio de curvatura en el sector La Jarata con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021).	33
Figura 27: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en la primera curva con dirección a Loja sector Susudel con Matlab®. Fuente: Autores.	34
Figura 28: Valor del radio de curvatura de la primera curva en el sector Susudel con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021).	34
Figura 29: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en la segunda curva con dirección a Loja sector Susudel con Matlab®. Fuente: Autores.	35
Figura 30: Valor del radio de curvatura en la segunda curva en el sector Susudel con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021)	36

Figura 31: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en la entrada a San Antonio de Cumbe con Matlab®. Fuente: Autores.	37
Figura 32: Valor del radio de curvatura en la entrada a San Antonio de Cumbe con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021).	37
Figura 33: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en el sector La Curva – Baber con Matlab®. Fuente: Autores.	38
Figura 34: Valor del radio de curvatura en el sector La Curva - Baber con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021).....	39
Figura 35: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en el sector Yarímalá curva Sub Estación EERSSA Saraguro con Matlab®. Fuente: Autores.	40
Figura 36: Valor del radio de curvatura en el sector Yarímalá curva Sub Estación EERSSA Saraguro con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021).	40
Figura 37: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en San Lucas sector Pichig con Matlab®. Fuente: Autores.....	41
Figura 38: Valor del radio de curvatura en San Lucas sector Pichig con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021).....	42
Figura 39: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en la Quebrada Shimunga sector Santiago con Matlab®. Fuente: Autores.	43
Figura 40: Valor del radio de curvatura en la Quebrada Shimunga sector Santiago con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021).	43
Figura 41: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en el sector Zenen Bajo con Matlab®. Fuente: Autores.....	44
Figura 42: Valor del radio de curvatura en la Quebrada Shimunga sector Santiago con Google Earth Pro. Fuente: (Google Earth, 2021).	45
Figura 43: Velocidades de derrape en km/h a lo Largo de la ruta Cuenca - Loja. Fuente: Autores.	46
Figura 44: Vector velocidad de derrape en km/h sobrepuesto a lo largo de toda la ruta. Fuente: Autores.	47
Figura 45: Parte específica de la ruta en el sector Baber – Urdaneta, se muestra según la gama de colores el dato de la velocidad de derrape. Fuente: Autores.	47
Figura 46: Velocidades de vuelco a lo largo de la ruta Cuenca - Loja. Fuente: Autores.	49
Figura 47: Vector velocidad de vuelco sobrepuesto a lo largo de toda la ruta. Fuente: Autores.	49
Figura 48: Parte específica de la ruta en el redondel que dirige a Girón y Loja Sector Tarqui para mostrar el dato de la velocidad de vuelco. Fuente: Autores.....	50
Figura 49: Clasificación de las zonas urbanas y rurales a lo largo de la ruta. Fuente: Autores.	52
Figura 50: Clasificación de: rectas, curvas medias y curvas peligrosas a lo largo de la ruta. Fuente: Autores.	53
Figura 51: Parte específica de la vía donde se muestra la clasificación de la categoría de las curvas. Fuente: Autores.....	54
Figura 52: Clasificación de curvas y rectas de la ruta Cuenca - Loja en zonas urbanas y rurales. Fuente: Autores.	55
Figura 53: Parte específica de la vía donde se muestra la clasificación de las curvas en las zonas urbanas y rurales. Fuente: Autores.....	56
Figura 54: Velocidades de vuelco y derrape limitadas por lo dictamina el RLTTTSV. Fuente: Autores.	57

Figura 55: Velocidad de vuelco y derrape en un punto del recorrido. Fuente: Autores.....	57
Figura 56: Comparación velocidad real del conductor “VSS1” y la velocidad limitada “Vlc”. Fuente: Autores.....	58
Figura 57: Sitio específico donde el conductor sobrepasa la velocidad limitada por la ley. Fuente: Autores.....	59
Figura 58: Comportamiento en la vía en base a la clasificación que se realiza al conductor. Fuente: Autores.....	61
Figura 59: Comportamiento del conductor en el trayecto Cumbe - Nabón. Fuente: Autores.	62
Figura 60: Curva del comportamiento del primer conductor. Fuente: Autores.....	63
Figura 61: Curva del comportamiento del segundo conductor. Fuente: Autores.....	63
Figura 62: Error del GPS señal mal tomada en Oña (Sector La Florida) Coordenadas Geográficas. Fuente: Autores.....	72
Figura 63: Error del GPS señal mal tomada en Oña (Sector La Florida) Coordenadas UTM. Fuente: Autores.....	72
Figura 64: Ubicación del error del GPS “Oña” en Open Street Map. Fuente: ©Open Street Map.....	73
Figura 65: Error corregido a causa de la señal GPS mal tomada en Oña (Sector La Florida) Coordenadas UTM. Fuente: Autores.....	73
Figura 66: Error del GPS señal mal tomada en el sector Saraguro (Calle Azuay y Calle 10 de Marzo) Coordenadas Geográficas. Fuente: Autores.....	74
Figura 67: Error del GPS señal mal tomada en el sector Saraguro (Calle Azuay y Calle 10 de Marzo) Coordenadas UTM. Fuente: Autores.....	74
Figura 68: Ubicación del error del GPS “Saraguro” en Open Street Map. Fuente: ©Open Street Map.....	75
Figura 69: Error corregido a causa de la señal GPS mal tomada en el sector Saraguro (Calle Azuay y Calle 10 de Marzo) Coordenadas UTM. Fuente: Autores.....	75

Índice de tablas.

Tabla 1: Largo total vehículo. Fuente: (INEN, 2015).....	6
Tabla 2: Altura total máxima. Fuente: (INEN, 2015).....	7
Tabla 3: Porcentajes de peralte. Fuente: (MTOP M. d., 2013).	7
Tabla 4: Límites de velocidad para vehículos de transporte público de pasajeros. Fuente: (Reglamento a Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial, 2016).....	8
Tabla 5: Índice de reducción de los accidentes de tránsito años 2015 - 2019. Fuente: Autores.	18
Tabla 6: Identificación de zonas urbanas y rurales. Fuente: Autores.	52
Tabla 7: Tipos de curvas alrededor de la ruta. Fuente: Autores.	53
Tabla 8: Tipos de curvas en zonas urbanas y rurales. Fuente: Autores.	54
Tabla 9: Sitios peligrosos que determina el algoritmo. Fuente: Autores.	59
Tabla 10: Índice que muestra como está circulando el conductor a lo largo de la ruta. Fuente: Autores.	60
Tabla 11: Evaluación de los conductores. Fuente: Autores	64
Tabla 12: Desviación estándar para los dos conductores. Fuente: Autores.	64

1. INTRODUCCIÓN.

En Ecuador a pesar de que los siniestros de tránsito cada año tienden a reducir, siguen siendo una de las principales causas de muerte. Para la ANT los siniestros de tránsito según el tipo de servicio que prestan los automotores se producen en un 86,34% para vehículos de uso particular, un 8,87% en vehículos de servicio público, un 3,15% en vehículos de tipo comercial y un 1,64% en vehículos de otro tipo de servicio (ANT, 2019).

En 2019 se produjeron 1076 siniestros de tránsito en los cuales estuvieron involucrados buses de transporte de pasajeros, de este total de siniestros 367 estuvieron involucrados buses inter e intra provinciales. Este total de accidentes inter e intra provinciales produjeron 852 lesionados y 52 fallecidos. La provincia de Azuay es la cuarta provincia a nivel nacional en siniestros de tránsito, la mayoría provocados por el exceso de velocidad. La vía Cuenca – Loja es la arteria vial principal del sur del país que en los últimos años ha presentado accidentes muy graves y del mismo modo accidentes de consideraciones leves, razón por la cual poder identificar zonas conflictivas podría salvar vidas y evitar accidentes a futuro.

2. PROBLEMA.

2.1. Antecedentes

En las provincias de Azuay y Loja, en la vía Cuenca – Loja en los últimos cinco años ocurrieron numerosos siniestros de tránsito en los que se vieron envueltos los vehículos de categoría M3, los cuales dejaron como consecuencia una cifra aproximada de 159 heridos y 18 muertos. Todas estas fatalidades se repiten con una determinada frecuencia en ciertas zonas a lo largo de la vía representando un peligro inminente, según la ANT la causa principal para que se den estos accidentes en estos lugares está ligada a la impericia de los conductores, siendo las mismas un 65,56% por exceder los límites de velocidad permitidos, el 23,33% por invasión de carril al momento de rebasar, el 11,11% por pérdida de pista que muchas veces está asociada a factores de distracción (ANT, 2019).

2.2. Importancia y alcances

Esta investigación tiene como finalidad conocer que la Troncal de la Sierra E35, la misma que une las dos ciudades de Cuenca y Loja al sur de país carece de información acerca de las zonas en donde se puede sufrir accidentes de tránsito en los vehículos categoría M3. Desde el año 2015 al 2019 esta vía a enlutado a familias por culpa de la imprudencia de los conductores es por eso que mediante este estudio lo que se desea es dar a conocer las zonas en donde hay más

probabilidad de sufrir un accidente y a su vez en base a esto evitar que se den estos hechos lamentables.

2.3. Delimitación

La investigación se centra en dos provincias muy importantes del sur del Ecuador (figura 1c). La primera es la provincia del Azuay (figura 1a), esta se encuentra ubicada al sur del país entre la latitud $2^{\circ}53'57''$ sur y longitud $79^{\circ}00'55''$ oeste, a una altitud aproximada de 2583 metros sobre el nivel del mar (PDOT cantón Cuenca, 2015). La segunda es la provincia de Loja (figura 1b), está ubicada al sur del Ecuador entre las latitudes Sur: $03^{\circ}19'49''$ y $04^{\circ}45'00''$, a una altitud aproximada de 3788 metros sobre el nivel del mar, constituyendo la provincia más austral del país. El 45% del territorio lojano es de topografía accidentada conformada por rocas, peñones y terrenos muchas de las veces con acceso muy difícil (PDOT cantón Loja, 2014).

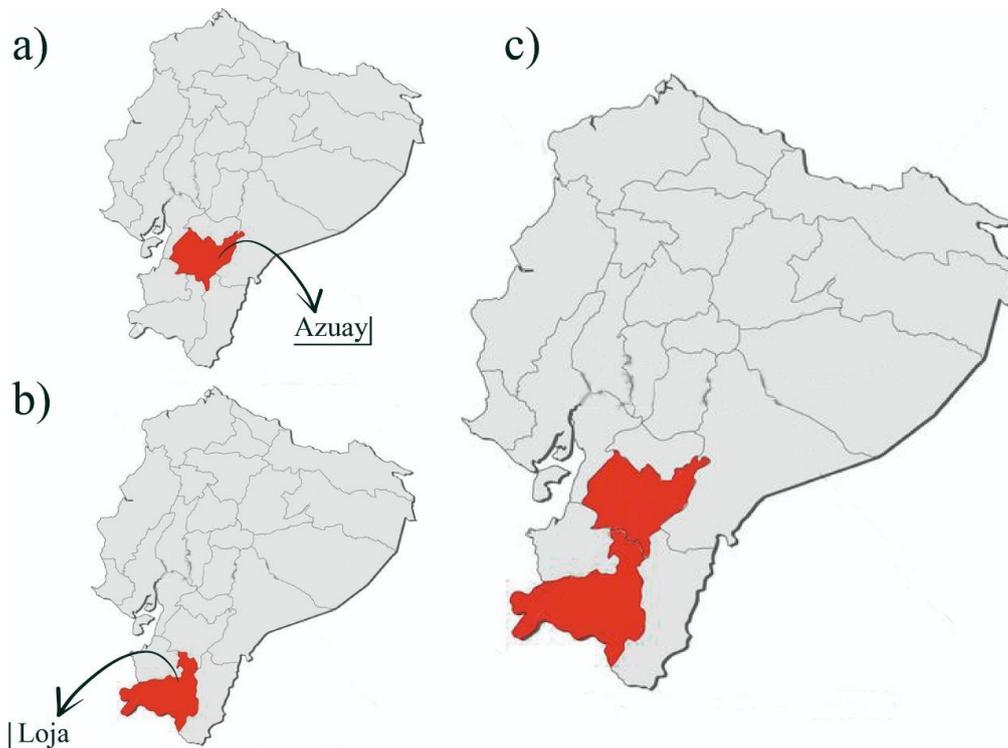


Figura 1: Provincias de estudio Azuay y Loja. **Fuente:** Autores.

La Troncal de la sierra E35 (figura 2) es una vía con un tramo aproximado de 213.3km que interconecta las dos provincias de estudio, la vía atraviesa a la provincia del Azuay por la ciudad de Cuenca por el este, sudeste y sur con el nombre de Circunvalación Sur, de aquí se dirige hacia el sur hasta pasar por la parroquia Cumbe, El Progreso y por el cantón Oña siendo este el límite provincial y continuando hacia la provincia de Loja pasando por Saraguro, San Lucas y Loja capital de la provincia.

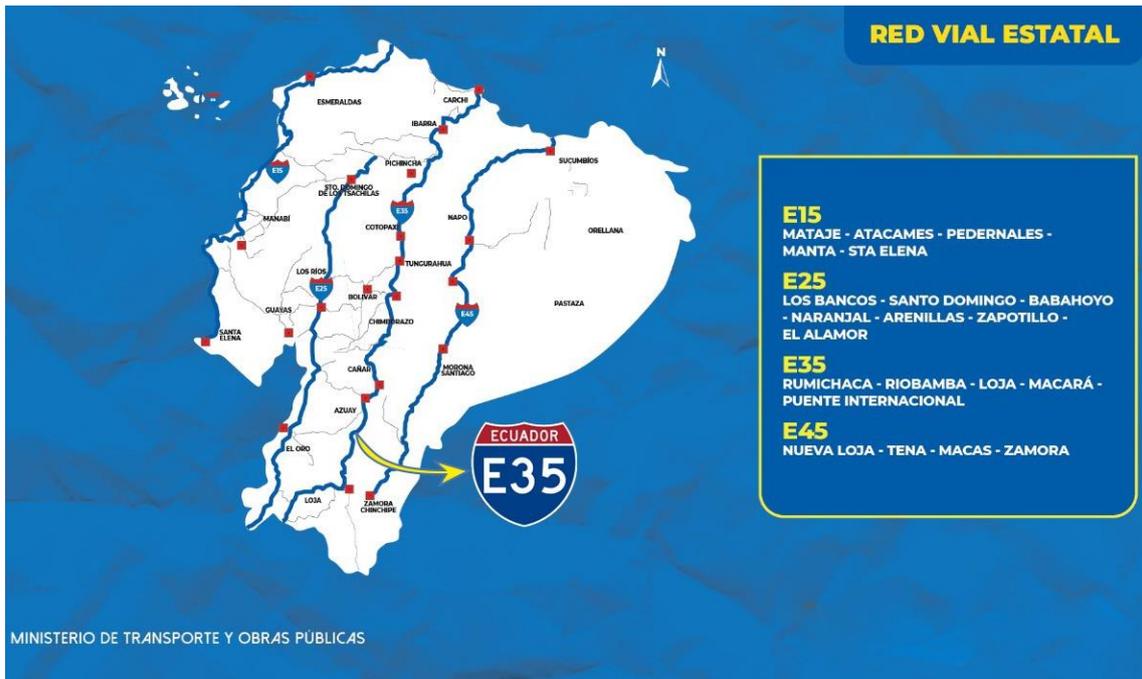


Figura 2: Red Vial Troncal de la Sierra E35. **Fuente:** (MTO P M. , 2013)

3. OBJETIVOS

Objetivo general.

- Desarrollar un modelo de estimación de las zonas de mayor siniestralidad en la vía Cuenca – Loja mediante el uso de herramientas estadísticas para generar directrices en la mejora de las formas de conducción.

Objetivos específicos.

- Analizar el estado del arte mediante revisiones bibliográficas para la determinación de conceptos importantes de estudio.
- Identificar los principales factores que intervienen en un accidente de tránsito y los lugares donde se produjeron utilizando información estadística suscitada en los últimos 5 años.
- Desarrollar un modelo de estimación de zonas donde puedan originarse accidentes de tránsito mediante métodos estadísticos multivariantes y algoritmos de aprendizaje automático.
- Evaluar el comportamiento del modelo propuesto mediante simulaciones generadas a partir de los modelos obtenidos.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL ESTADO DEL ARTE.

Las Redes Neuronales Artificiales en predicción de eventos físicos, se utilizan desde los años 90, sin embargo, sólo desde la última década se empezaron a utilizar en problemas de predicción y clasificación de accidentes de tránsito en distintas ciudades del Mundo (GODOY, 2015). En Ecuador las universidades son los principales actores en la implementación de este tipo de tecnologías para el análisis de factores y sus consecuencias en diferentes campos de estudio. Específicamente en el área automotriz hay un gran avance en el empleo de inteligencia artificial para determinar factores como emisión de gases contaminantes o el rendimiento de consumo de combustible, pero el uso para predicción de zonas donde se puedan producir accidentes de tránsito es muy escaso.

En 2004, Chong, Abraham y Paprzycki utilizaron un conjunto de datos de accidentes de tránsito desde 1995 hasta 2000 con un total de 417.670 casos, en donde cada uno de estos tenía detallado datos del vehículo, datos del conductor, tipo de colisión, velocidad de desplazamiento, etc. Estos factores fueron tomados como entradas y la gravedad de la lesión como nodo de salida. Logrando con este trabajo clasificar con precisión la gravedad de las lesiones con los datos de entrada y así analizar la relación entre los factores de conductor, el vehículo, calzada, el medio ambiente y gravedad de las lesiones del conductor. Resultados precisos de tales análisis de datos podrían proporcionar información crucial para la política de prevención de accidentes por carretera (Chong, Abraham, & Paprzycki, 2004).

En su trabajo, Silveira, João, Canuto y Silva (2018), utilizan datos del motor de combustión interna como: temperatura del refrigerante, carga, RPM, presión del múltiple de admisión, velocidad, posición del acelerador, flujo de aire, banco de compensación de combustible a corto plazo, sincronización, avance, códigos de falla, etc. tomados por el puerto ODB-II y almacenados en un teléfono inteligente para luego enviarlos a una plataforma digital creada por los mismos autores para su respectivo análisis, consiguiendo así la clasificación del perfil del conductor del conductor (da Silveira Barreto, Canuto, João C. , & Silva, 2018).

Otros como Hébert, Guédon, Glatard y Jaumard (2019), utilizaron datos proporcionados por la ciudad de Montreal (Canadá), donde tenían las colisiones de los vehículos desde el año 2012 hasta el año 2018, cada accidente tenía la fecha, localización, número de muertos y heridos e información sobre las condiciones de la carretera. También contaban con conjunto de datos sobre el clima donde proporcionaba la temperatura ambiente, humedad, dirección del viento, la velocidad del viento, lluvia, a partir de esos datos los autores construyeron modelos de

predicción de la colisión de vehículos de carretera mediante algoritmos basados en árboles de decisión e identificaron los segmentos de carretera que son peligrosos dependiendo de la hora y situación geográfica, al final concluyeron que estos datos pueden servir para tomar medidas necesarias para reducir el riesgo de sufrir accidentes de tránsito en la zona de estudio (Hébert, Guédon, Glatard, & Jaumard, 2019).

Los autores (Conlago, Yunda, Aldás, & Flores, 2018) diseñan un prototipo de un sistema que permite detectar señales de tránsito (Pare, Ceda el paso y velocidad), mediante algoritmo SVM no – lineal para multi clasificación y segmentación de color, este sistema alerta al conductor cuando atravesase zonas de alto potencial de choque emitiendo una señal para cuando deba detenerse (señal de Pare) entrar en vigilia (señal de Ceda el paso) o mantenerse en un rango de velocidad de entre 50 y 100 Km/h dependiendo si es una zona urbana o una autopista. El objetivo de la investigación fue crear un asistente en la conducción mediante inteligencia artificial y así reducir los accidentes de tránsito en un 2% y extender la metodología a más señales de tránsito en trabajos futuros.

En el estudio de (Cabrera Erazo & Rocano Tenezaca, 2012) se plantea una propuesta técnica para la disminución de los accidentes de tránsito dentro de la ciudad de Cuenca, mediante el análisis de las principales causas y los lugares donde se produjeron accidentes de tránsito en la ciudad, clasificados por días de la semana y horarios mediante datos proporcionados por la Policía Nacional y el Concejo de Seguridad Ciudadana y el análisis de modelos internacionales para la reducción de accidentes de tránsito.

5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

5.1. Norma NTE INEN 1668: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial. Requisitos.

5.1.1. Definición.

La Norma NTE INEN 1668 define al Bus como un vehículo automotor compuesto de un chasis y una carrocería diseñados para el transporte de pasajeros con una capacidad límite de 90 pasajeros incluidos el conductor (INEN, 2015). El bus interprovincial es aquel que está destinado al transporte público de personas entre provincias (figura 3).



Figura 3: Bus Interprovincial. Fuente: (Guambaña, 2020).

5.1.2. Dimensiones externas del vehículo.

Largo total del vehículo: el largo total del bus interprovincial de dos ejes debe ser como mínimo de 10,25 metros y no superior a 13,30 metros de largo como lo indica la tabla 1.

Tabla 1: Largo total vehículo. Fuente: (INEN, 2015).

Largo Total del vehículo		
Tipo de Vehículo	Número de ejes	Largo Total mm
Bus	Dos ejes	10.250 a 13.300
Bus	Tres ejes o mas	10.250 a 15.000

Ancho total del vehículo: el ancho máximo del bus interprovincial sin importar la cantidad de ejes del mismo será de 2600 mm medidos en las partes más salientes de la estructura (INEN, 2015).

Altura total del vehículo: el alto total del bus interprovincial sin importar la cantidad de ejes que este posea no debe superar los 3.80 metros medidos desde la calzada al techo de la carrocería sin las tomas de ventilación superior como lo indica la tabla 2, (INEN, 2015).

Tabla 2: Altura total máxima. **Fuente:** (INEN, 2015).

Altura Total Máxima	
Tipo de Vehículo	Altura Total Máxima
Bus	3.800 mm

5.2. Peralte.

El peralte es una de las características geométricas de las vías más importante debido a que ayuda a contrarrestar las fuerzas centrífugas que se producen cuando un vehículo entra a una curva a determinada velocidad, estas fuerzas aumentan dependiendo de la velocidad del vehículo y el radio de la curva por lo que si la vía cuenta con un peralte muy pequeño o muy alto puede producir que el vehículo pierda pista y vuelque. Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador el peralte no debe exceder el 12%, sin embargo, el Ecuador presenta diferentes condiciones meteorológicas y topográficas por lo que se presentan diferentes valores de peralte, los que se detallan en la tabla 3, (MTO P M. d., 2013).

Tabla 3: Porcentajes de peralte. **Fuente:** (MTO P M. d., 2013).

Tasa de sobreelevación, "e" en (%)	Tipo de Área
10	Rural Montañosa
8	Rural Plana
6	Suburbana
4	Urbana

5.3. Velocidad de circulación.

Los límites de velocidad para todo vehículo que circule por las vías del Ecuador están establecidos en el Reglamento General para la aplicación de La Ley Orgánica De Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (RLTTTSV), estos límites son diferentes dependiendo del

tipo de vehículo y el tipo de vía, para los vehículos categoría M3 los límites de velocidad máxima permitidos se muestran a continuación.

Tabla 4: Límites de velocidad para vehículos de transporte público de pasajeros. **Fuente:** (Reglamento a Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial, 2016)

Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado (Art. 142.g de la Ley)	Fuera del rango moderado (Art. 145.e de la Ley)
Urbana	40 km/h	>40 km/h - <50 km/h	>50 km/h
Perimetral	70 km/h	>70 km/h - <100 km/h	>100 km/h
Rectas en carreteras	90 km/h	>90 km/h - <115 km/h	>115 km/h
Curvas en carreteras	50 km/h	>50 km/h - <65 km/h	>65 km/h

5.4. Curvas mediante datos discretos.

En geometría se define a la curva como una línea continua de una dimensión que varía su posición en un intervalo de tiempo determinado. Encontrar la curva de una función establecida no presenta mayor dificultad gracias a la ayuda de la geometría diferencial, sin embargo en la vida cotidiana en los diferentes casos de estudios se tendrá un conjunto de puntos donde será muy complejo crear una ecuación o función que describa tal fenómeno de estudio, es allí donde entra en aplicación las curvas por medio de ecuaciones paramétricas (Bodas, 2017).

Por ejemplo (figura 4), una partícula que se mueve a lo largo de la curva C , resulta complejo describir C en una función $f(x)$, porque C falla en la prueba de la recta vertical. Pero las coordenadas x & y que deja la partícula a lo largo de su desplazamiento son funciones del tiempo t y, por tanto, se puede escribir como $x = f(t)$ & $y = g(t)$, (Stewart, 2012).

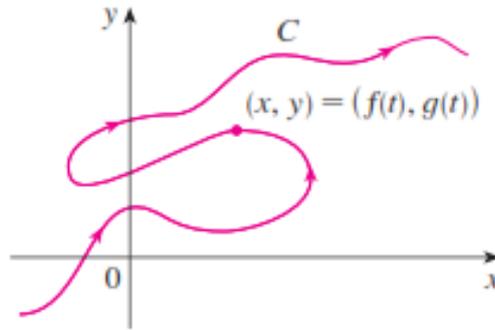


Figura 4: Curva discreta. **Fuente:** (Stewart, 2012).

Del mismo modo Swokowski detalla; “Una curva plana es un conjunto C de pares ordenados $(f(t), g(t))$, donde f y g son funciones definidas en un intervalo I ” (Swokowski & Cole, 2009). Con estas funciones parametrizadas se vuelve más sencillo calcular las propiedades geométricas de la curva como; la curvatura y el radio de curvatura.

5.5. Curvatura.

Según Stewart la curvatura de una curva se puede definir como la derivada de la tangente unitaria respecto a la longitud del arco y se designa como d_T/d_s , donde s representa la longitud de arco (Stewart, 2012). Es decir, en una recta el vector tangente unitario no cambia de dirección por lo que la curvatura tiende a cero, pero si existiera una curva a lo largo de una trayectoria el vector tangente unitario tendría valores diferentes de cero, mientras más grandes sean estos valores la curva será más pronunciada.

En la geometría diferencial la curvatura se representa con la letra “ k ” que la define como:

$$k = \frac{d_T}{d_s} \quad (1)$$

Como se conoce T representa al vector unitario tangente de la curva y suponiendo que las funciones paramétricas $f(t)$ y $g(t)$ son derivables entonces, para encontrar la recta tangente en un punto determinado sobre la curva donde la variable “ y ” también sea una función derivable de “ x ”, entonces:

$$\frac{d_y}{d_t} = \frac{d_y}{d_x} * \frac{d_x}{d_t}$$

Despejando:

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{\frac{d_y}{d_t}}{\frac{d_x}{d_t}}$$

Esto se cumple siempre y cuando $dx/dt \neq 0$, así se puede obtener dy/dx que no es más que la pendiente de una recta tangente a una curva paramétrica sin eliminar el parámetro "t", con esta deducción se puede definir la fórmula paramétrica de la curvatura, para esto se parte de:

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \quad (2)$$

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{\dot{x} * \ddot{y} - \ddot{x} * \dot{y}}{\dot{x}^3} \quad (3)$$

Luego en la ecuación 4 que pertenece a la curvatura de una función se reemplaza las ecuaciones 2 y 3.

$$k = \frac{y''}{[1 + (y')^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

$$k = \frac{\frac{\dot{x} * \ddot{y} - \ddot{x} * \dot{y}}{\dot{x}^3}}{\left[1 + \frac{\dot{y}^2}{\dot{x}^2}\right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$k = \frac{\frac{\dot{x} * \ddot{y} - \ddot{x} * \dot{y}}{\dot{x}^3}}{\left[\frac{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}{\dot{x}^2}\right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$k = \frac{\frac{\dot{x} * \ddot{y} - \ddot{x} * \dot{y}}{\dot{x}^3}}{\frac{1}{\dot{x}^3} [\dot{x}^2 + \dot{y}^2]^{\frac{3}{2}}}$$

Por último, se suprimen los términos \dot{x}^3 y se obtiene la fórmula de curvatura para ecuaciones paramétricas.

$$k = \frac{\dot{x} * \ddot{y} - \ddot{x} * \dot{y}}{[\dot{x}^2 + \dot{y}^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

5.6. Radio de curvatura.

El radio de curvatura es el inverso del valor de la curvatura que se mide en cada punto de la curva.

$$r = \frac{1}{k} \quad (6)$$

En la ecuación anterior se observa claramente que el radio de curvatura es inversamente proporcional a la curvatura, pues si la curvatura es pronunciada el radio será pequeño y si la curvatura es menos pronunciada el valor del radio será mayor. Por lo tanto, el radio de curvatura para funciones paramétricas será:

$$r = \frac{[\dot{x}^2 + \dot{y}^2]^{\frac{3}{2}}}{\dot{x} * \ddot{y} - \ddot{x} * \dot{y}} \quad (7)$$

5.7. Dinámica del vehículo en circulación en curvas.

El análisis de la dinámica del vehículo determina las fórmulas de las velocidades límites de vuelco y de derrape, estas serán comparadas con las establecidas por el Reglamento a la Ley Orgánica de Transporte Terrestre y Seguridad Vial (RLTTTSV) y con la velocidad de circulación real del vehículo, esto con el fin de establecer lugares donde posiblemente se susciten accidentes (Hernández, 2017).

5.7.1. Velocidad límite de derrape y vuelco.

Cuando un vehículo circula en una trayectoria curva se crea una fuerza centrífuga que actúa sobre el centro de gravedad del mismo, el centro de gravedad se encuentra a una altura h de la calzada por la cual circula el automóvil, generando así un esfuerzo lateral y un momento de vuelco. Este esfuerzo debe ser compensado por la fuerza de adherencia entre los neumáticos y la calzada (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 1995). Los efectos de derrape y vuelco son mayores al tomar una curva a velocidades límites por lo que se pueden producir accidentes por pérdida de trayectoria o volcamiento.

Para obtener las velocidades límites se desprecia la flexibilidad de la suspensión considerándola como una suspensión rígida en donde el desplazamiento del centro de gravedad no es notable. Del mismo modo se supone que la calzada en la curva tiene un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal. Figura 5.

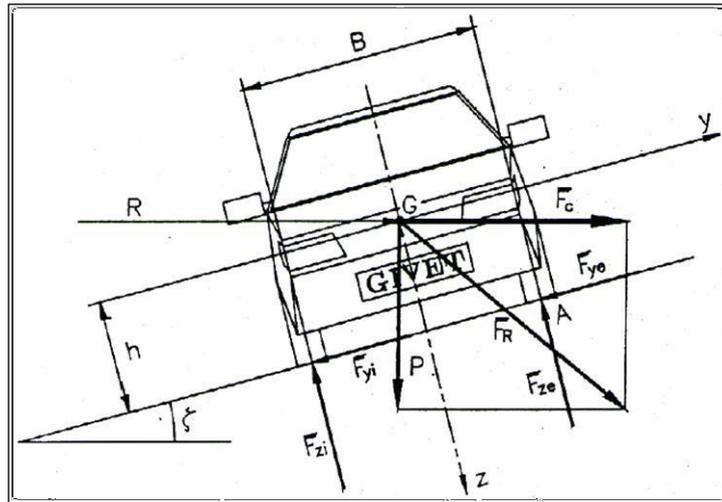


Figura 5: Modelado Bidimensional para el Cálculo Aproximado de las Velocidades Límite de Derrape y de Vuelco. **Fuente:** (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 1995)

5.7.1.1. Cálculo aproximado de la velocidad de límite de derrape.

Con las siguientes fórmulas se pueden hallar las velocidades límite de derrape en una curva, si un vehículo supera las velocidades que se calculen este perderá su trayectoria provocando un accidente de tránsito con pérdidas materiales y humanas.

Las ecuaciones tomadas de (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 1995) sobre la velocidad límite de derrape se deducen mediante el análisis de las fuerzas que actúan sobre los ejes “y” & “z” cuando el vehículo circula en una trayectoria curva y esta tiene una inclinación o peralte, es así que se obtiene la ecuación 8 donde: g es la gravedad, r es el radio de la curva, ζ es el peralte o inclinación de la vía y μ_{ymx} es el límite de adherencia máximo para que los neumáticos comiencen a derrapar. La ecuación 9 sirve para realizar el cálculo cuando la carretera no tiene peralte, aquí influyen las mismas variables que en la ecuación anterior sin tomar en cuenta el ángulo de inclinación de la vía, a continuación, se muestran dichas ecuaciones:

Cuando la curva tiene peralte $\zeta \neq 0$

$$V_{ld} = \sqrt{g * R * \frac{\mu_{ymx} + tg\zeta}{1 - \mu_{ymx} * tg\zeta}} \quad (8)$$

Si la curva no tiene peralte $\zeta = 0$

$$V_{ld} = \sqrt{g * R * \mu_{ymx}} \quad (9)$$

5.7.1.2. Cálculo aproximado de la velocidad límite de vuelco.

Para deducir la ecuación de velocidad límite de vuelco se toman en cuenta las fuerzas que actúan sobre el centro de gravedad y sobre el corte en la superficie de rodadura en el punto exterior de

la huella A , de la figura 5, (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 1995). Las ecuaciones de velocidad límite de vuelco para el cálculo con peralte y sin peralte tienen una nueva variable que es: la vía del vehículo B y la altura del centro de gravedad h , a continuación, se muestran las fórmulas:

Cuando la curva tiene peralte $\zeta \neq 0$

$$V_{lv} = \sqrt{g * R * \frac{\frac{B}{2h} + tg\zeta}{1 - \frac{B}{2h} * tg\zeta}} \quad (10)$$

Si la curva no está peraltada $\zeta = 0$

$$V_{lv} = \sqrt{g * R * \frac{B}{2h}} \quad (11)$$

5.8. Fuerzas de Frenado.

Las fuerzas de frenado son todas aquellas fuerzas que disminuyen progresivamente la velocidad de un vehículo, estas se desarrollan en la superficie de las ruedas en contacto con la calzada. Las fuerzas de frenado poseen límites establecidos por la adherencia del neumático – calzada y el otro por el sistema de frenos que posea el automotor, cuando se exceden estos límites en la fuerza de frenado las ruedas se bloquean haciendo que el vehículo derrape perdiendo pista y exponiéndose a un posible vuelco (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 1995).

5.8.1. Distancia de Frenado.

Para determinar la distancia de frenado se parte de la ecuación 12 que representa la fuerza de desaceleración que tiene un vehículo en movimiento.

$$a = -\frac{F_f + \sum R}{\gamma_f * P/g} \quad (12)$$

$$a = -\frac{F_f + P * \text{sen}\theta + P * f_f + C * V^2}{\gamma_f * P/g} \quad (13)$$

Luego considerando que:

El coeficiente de masas es $\gamma_f = 1,05$, que el ángulo $\theta > 0$ en ascensos, el valor de $C = \frac{1}{2} * C_x * A_f$ e integrando la distancia con respecto a la velocidad se obtiene la ecuación final para calcular la distancia de frenado de un vehículo.

$$S_p = \frac{P * \gamma_f}{2 * g * C} * Ln \left[1 + \frac{C * V_1^2}{\eta_f * \mu * P + P * \text{sen}\theta + P * f_r} \right] \quad (14)$$

6. FACTORES QUE INTERVIENEN EN UN ACCIDENTE DE TRÁNSITO Y ZONAS DE MAYOR SINIESTRALIDAD EN LA VÍA CUENCA – LOJA.

6.1. Accidentes de tránsito. Definición.

Según la LTTTSV un accidente de tránsito es todo suceso eventual o acción involuntaria, que como efecto de una o más causas y con independencia del grado de estas ocurre en vías o lugares destinados al uso público o privado, ocasionando personas muertas, individuos con lesiones de diversa gravedad o naturaleza y daños materiales en vehículos, vías o infraestructura, con la participación de los usuarios de la vía, vehículo, vía y/o entorno, funcionales u orgánicas a la persona, incluyendo la muerte o discapacidad (Reglamento a Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial, 2016).



Figura 6: Choque Frontal. **Fuente:** (Medina Dávalos, Medina Borja, & Escobar Suárez)

Es decir, un accidente de tránsito es todo acontecimiento que ocurre en la vía pública en donde interviene un vehículo en movimiento y produce lesiones y/o la muerte a personas (conductores y peatones) y daños materiales (Medina Dávalos, Medina Borja, & Escobar Suárez).

6.2. Principales causas de accidentes de tránsito.

Según la ANT las causas principales para que se suscite un accidente de tránsito se dividen en: factores humanos, factores mecánicos, factores viales y factores ambientales.

6.2.1. Factores humanos.

Son todas las causas donde interviene directamente el peatón o el conductor, seguidamente se muestra un listado de estos factores:

- **Imprudencia:** ocurre cuando un conductor maneja sin moderación o cautela en las vías, del mismo modo es imprudencia de los peatones cuando estos circulan o cruzan la calle por zonas no permitidas provocando choques o arrollamiento (Román Matamoros, 2015).

- **Negligencia:** ocurre cuando una persona irrespeta las leyes y señales de tránsito en pleno conocimiento de las mismas, estas faltas pueden ser por conducir un automóvil en mal estado mecánico, rebasar en lugares no permitidos y cualquier aspecto que incida en la seguridad al momento de la conducción (Román Matamoros, 2015).
- **Embriaguez:** pérdida transitoria de las facultades físicas y mentales debido a la ingesta de bebidas alcohólicas. Según el Código Orgánico Integral Penal determina como embriaguez la presencia de alcohol por litro de sangre de 0,3 a 0,8 gramos (Román Matamoros, 2015).
- **Exceso de velocidad:** El exceso de velocidad ocasiona menor adherencia y menor tiempo de reacción en el conductor al momento de advertir un peligro (Román Matamoros, 2015).

6.2.2. Factores mecánicos.

Es cualquier falla que se pueda producir en cualquier elemento que pertenezca a un sistema funcional del vehículo, estos factores pueden ser:

- **Fallo en el sistema de frenos:** el sistema de frenos forma parte de la seguridad activa de un vehículo y su principal función es la de detener el vehículo cuando el conductor así lo requiera, el sistema de frenos falla por el desgaste normal de los componentes como: las pastillas, las zapatas, el tambor, el disco de freno y por falta de líquido de frenos debido a alguna fuga en las cañerías o en el depósito del mismo (Gonzáles Argudo & Ordóñez Ruilova, 2014).
- **Fallo en el sistema de dirección:** el sistema de dirección forma parte de la seguridad activa de un vehículo y su principal función es la guiar al vehículo según disposición del conductor, la principal falla en este sistema se produce cuando falla la bomba de dirección y esta se vuelve dura lo que produciría que en caso de una maniobra rápida se requiera mayor fuerza de lo normal (Gonzáles Argudo & Ordóñez Ruilova, 2014).
- **Fallo en el sistema de suspensión:** el sistema de suspensión forma parte de la seguridad activa de un vehículo y su principal función es la mantener en todo momento el contacto del neumático con la calzada, el sistema de suspensión falla por el desgaste de sus elementos como: el amortiguador, muelles, rotulas, lo que producirá que las ruedas pierdan contacto con la vía y también que las irregularidades de la calzada sean percibidas por el conductor, del mismo modo pueden ocasionar la desalineación de las ruedas afectando también al sistema de dirección (Gonzáles Argudo & Ordóñez Ruilova, 2014).

- **Falta de mantenimiento:** Los tipos de mantenimiento más comunes que se le realizan a los vehículos son; el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo. Los dos son importantes para mantener en perfecto estado el vehículo y así proteger la integridad de los ocupantes, además el mantenimiento ayuda a que las fallas en los sistemas antes mencionados no se produzcan (González Argudo & Ordóñez Ruilova, 2014).

6.2.3. Factores de las vías de circulación.

Comprende aspectos relacionados con la falta de señalización, mala iluminación, peralte, tipo de material de construcción de la vía e imperfecciones en la superficie de la vía.

6.2.4. Factores ambientales.

Dentro de estos los más importantes fenómenos atmosféricos son: la lluvia y la niebla, debido a que vuelven la conducción inestable y reducen la visibilidad del conductor, se vuelven muchas de las veces las causas directas de un accidente de tránsito (Román Matamoros, 2015).

6.3. Clasificación de accidente de tránsito.

Los accidentes de tránsito se clasifican considerando diferentes aspectos, estos se muestran de acuerdo a los criterios contenidos en la figura 7.

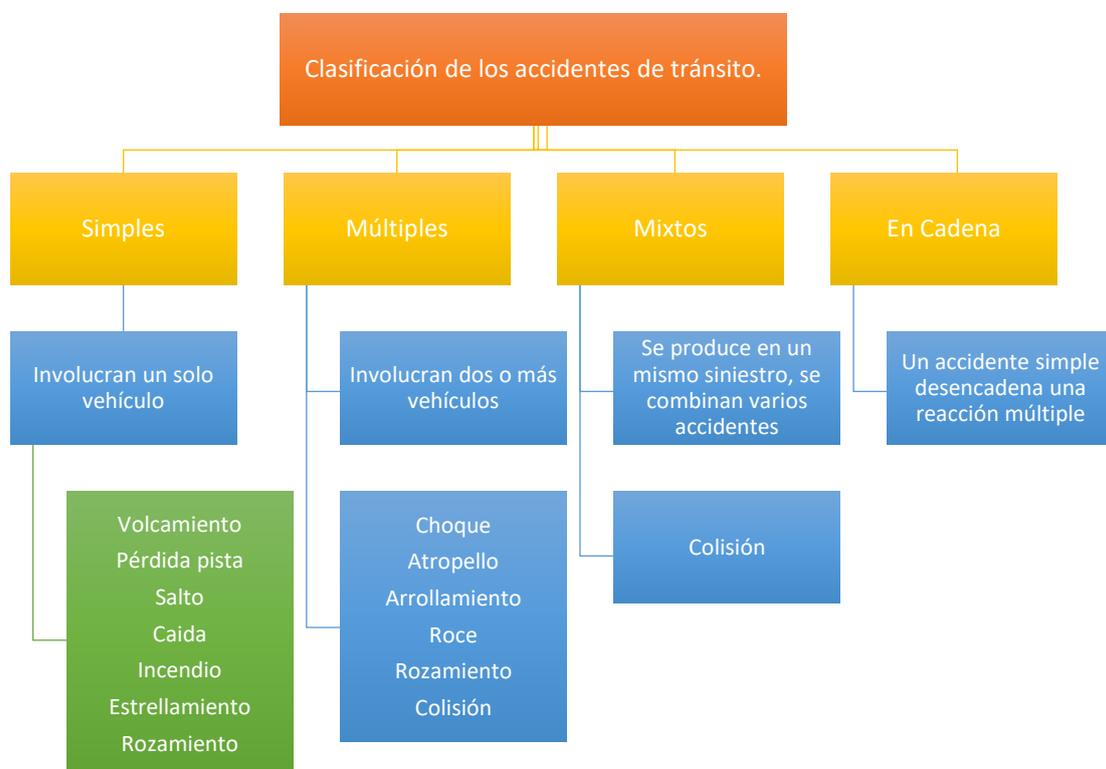


Figura 7: Clasificación de los accidentes de tránsito. **Fuente:** Autores

6.4. Accidentes de tránsito en el Ecuador.

Según la OMS los accidentes de tránsito y las lesiones causadas son la octava causa de muerte a nivel mundial y la primera en jóvenes de 15 a 29 años. En el año 2010, gobiernos de todo el mundo proclamaron el Decenio de Acción para la Seguridad Vial (2011-2020), cuyo objetivo consiste en estabilizar y después reducir la tendencia al aumento de las muertes por accidentes de tránsito, con lo que se calcula se salvarían 5 millones de vidas en esos 10 años (GODOY, 2015). Según un informe de la ONU sobre seguridad vial en el mundo, la periodicidad de un accidente de magnitud en Ecuador es cada 24 días en promedio. En Europa, un siniestro que involucra 15 personas, entre fallecidas y heridas se registra cada 720 días (El Comercio, 2018). A continuación, se presenta los datos de los accidentes de tránsito en el Ecuador en los último cinco años a partir del año 2019.

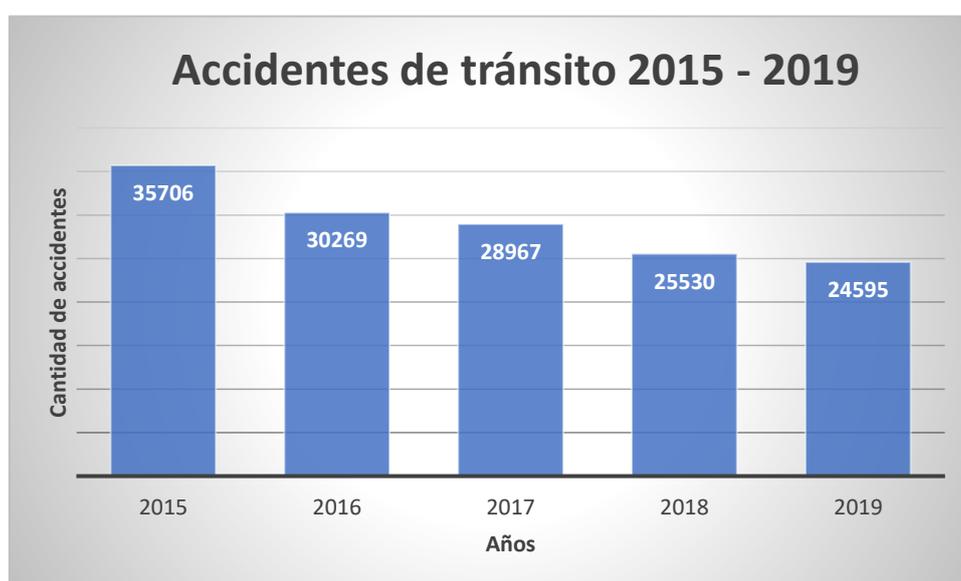


Figura 8: Accidentes de tránsito año 2015 – 2019. **Fuente:** Agencia Nacional de Tránsito. 2019

En la figura 8 se puede observar que los accidentes de tránsito que se han suscitado en el Ecuador en los últimos cinco años tienen una tasa de disminución anual, esto se debe a las políticas actuales que el Gobierno Nacional ha dispuesto, entre algunas de ellas están: las severas sanciones que se otorgan a quienes superen los rangos máximos de velocidad con días de prisión y multas equivalentes al salario básico unificado (SBU) incluyendo la pérdida de puntos en la licencia, aquí también influye la ubicación de foto radares en las vías que permiten un control de los límites de velocidad y adicional a esto se incluye el estado de las vías que han mejorado los últimos años permitiendo con esto que la tasa disminuya. Seguidamente se muestran los resultados de la evaluación de cada año para conocer la tasa de disminución de la accidentabilidad. Se puede notar en la tabla 5 como los accidentes han decaído año tras año.

Tabla 5: Índice de reducción de los accidentes de tránsito años 2015 - 2019. **Fuente:** Autores.

Año	Porcentaje de disminución
2016 – 2015	15.22%
2017 – 2016	4.00%
2018 - 2017	11.86%
2019 - 2018	3.66%
2019 - 2015	31.11%

6.5. Causas para que ocurran accidentes de tránsito en Ecuador.

La Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial (DNT), define 28 causas para que se produzca un accidente de tránsito, las cuales se agrupan en: impericia del conductor, imprudencia del peatón, imprudencia del pasajero, daños mecánicos, factor climático, deficiencias u obstáculos en la vía y casos fortuitos (Congacha, Brito, Pacheco, & Delgado, 2019). Los datos que a continuación se muestran indican las principales causas por las cuales ocurren los accidentes a lo largo de las vías del país.

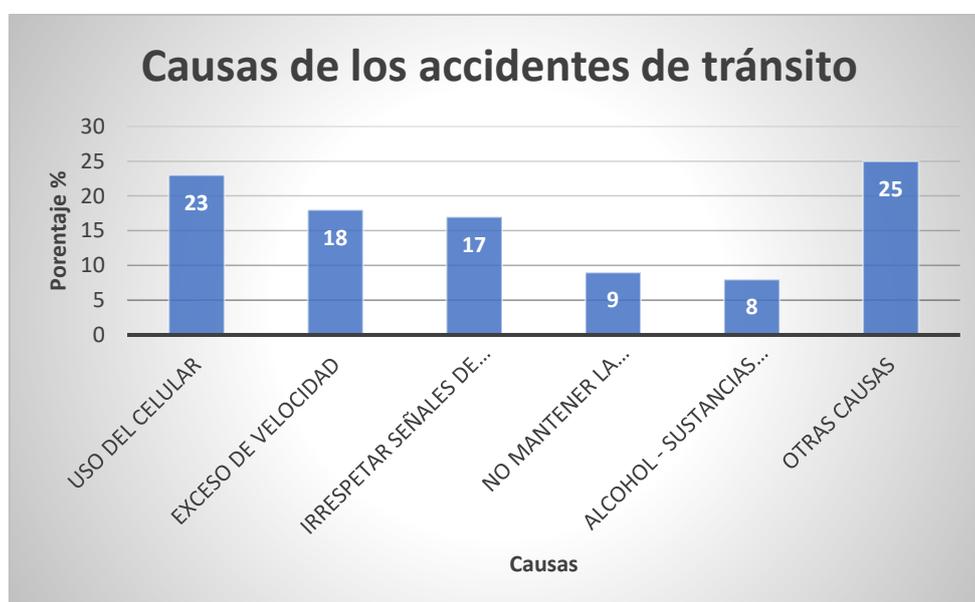


Figura 9: Causas de los accidentes de tránsito en Ecuador. **Fuente:** Agencia Nacional de Tránsito.2019

En la figura 9 se observan las principales causas para que ocurra un accidente de tránsito en el Ecuador según la Agencia Nacional de Tránsito (ANT). Las causas para que el accidente ocurra son las siguiente: un 23% por el uso del celular, un 18% por exceso de velocidad, un 17% por

no respetar las señales de tránsito ni semáforos, un 9% por no mantener la distancia entre vehículos, un 8% por manejar bajo efectos del alcohol o sustancias estupefacientes y un 25% por otras causas (ver pantallas de video, maquillaje, factores atmosféricos, fallo mecánico, etc.).

6.6. Accidentes de tránsito en la vía Cuenca – Loja.

La vía Cuenca – Loja es un tramo de 214 km aproximadamente que pertenece a la vía principal Troncal de la Sierra (E35). En la provincia del Azuay la E35 pasa por la ciudad de Cuenca donde la bordea por el este, sudeste y el sur con el nombre de Av. Circunvalación Sur, luego pasa por el cantón Oña y pasa a la provincia de Loja hasta llegar a su capital del mismo nombre, en ese lugar cambia de dirección norte-sur a este-oeste y empieza a descender hacia la Hoya de Catamayo (Cazar, 2018).

La vía Cuenca – Loja al ser la principal ruta de comunicación entre las provincias de Azuay y Loja, posee un flujo vehicular alto por lo que a causa de esto se ha visto inmersa en los últimos años como protagonista de graves accidentes de tránsito donde se han visto involucrados vehículos de la categoría M3, los mismo que han producido perdidas tanto humanas como materiales, en la figura 10 se presentan las zonas en donde en los últimos años ha existido un mayor índice de siniestralidad.

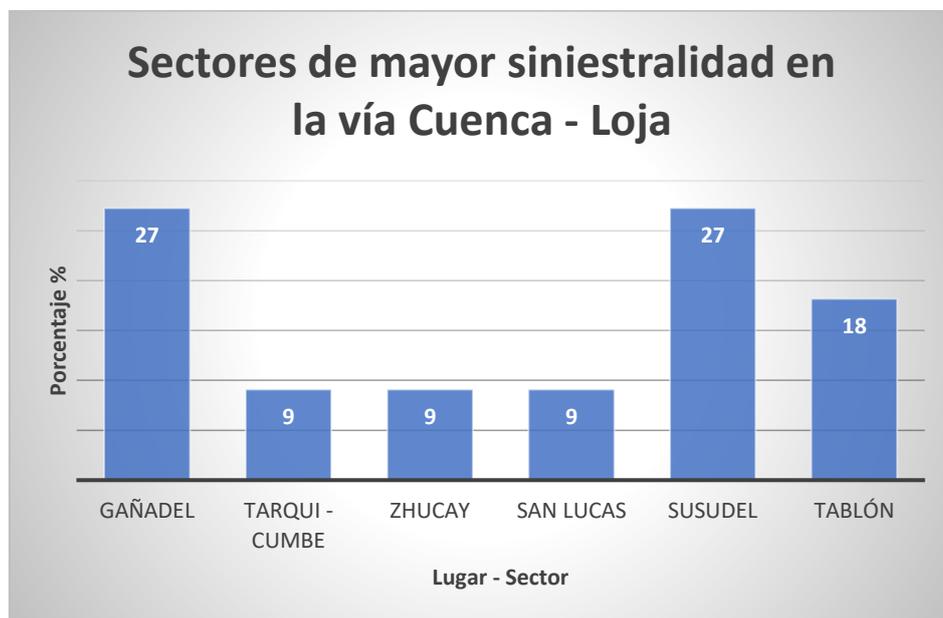


Figura 10: Sectores de mayor siniestralidad en la vía Cuenca - Loja. **Fuente:** Autores

En la figura anterior se observa los lugares a lo largo de la vía Cuenca – Loja donde ocurrieron con mayor frecuencia siniestros de tránsito en los últimos cinco años, aquí se vieron involucrados buses de transporte público de pasajeros de distintas cooperativas que prestan sus servicios, siendo Susudel y Gañadel los sectores en los que más accidentes de tránsito se han

suscitado con un 27%, luego le sigue el sector de El Tablón con un 18% y por último con un 9% los sectores de Tarqui – Cumbe, Zhucay y San Lucas.

Uno de los motivos más comunes para que se generen los accidentes de tránsito es la negligencia del conductor como se detalla en la figura 11, a esto también se suman las condiciones ambientales.

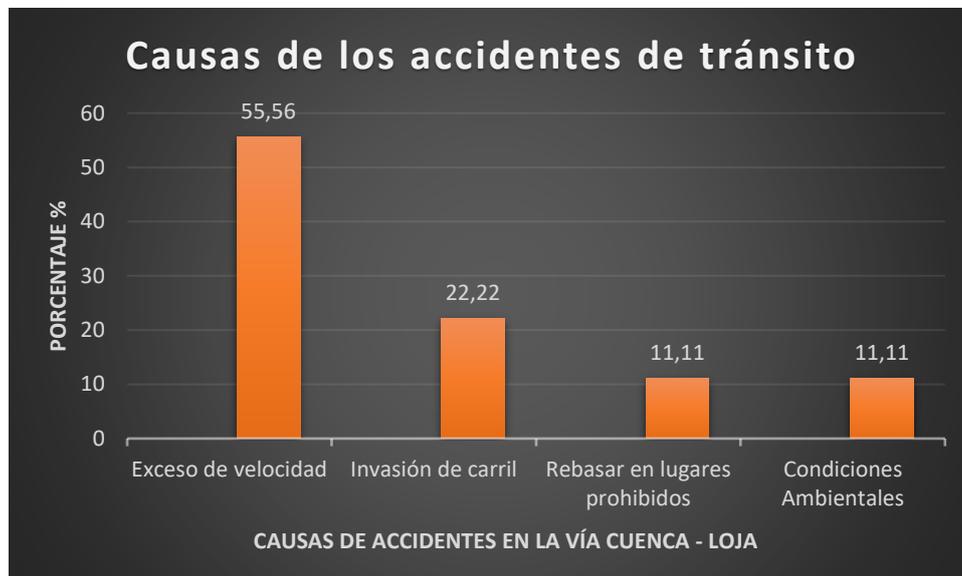


Figura 11: Causas de los accidentes de tránsito en la vía Cuenca - Loja. **Fuente:** Autores

En la figura anterior se muestran las causas probables por las cuales se produjeron los siniestros de tránsito en la vía Cuenca – Loja, siendo el exceso de velocidad la principal causa para tales fatalidades con un 55,56%, luego le sigue la invasión de carril con un 22,22% y por último con un 11,11% por rebasar en lugares prohibidos y por condiciones ambientales.

7. MARCO METODOLÓGICO.

7.1. Levantamiento y procesamiento de los datos.

La recolección de toda la información se realiza con el uso del dispositivo Freematics ONE+ (figura 12), este componente tiene la ventaja de comunicarse con el puerto OBD II para realizar el levantamiento de todas las variables que intervienen en el funcionamiento del vehículo Categoría M3. Para el censo este dispositivo realiza la adquisición de los datos en tiempo real y los archivos generados se almacenan en un formato “.CSV”, esta información se usará para evaluar el código que se creará.



Figura 12: Dispositivo Freematics ONE+. **Fuente:** (Freematics, 2021)

7.2. Trazado de la Ruta.

Una de las variables importantes que se toma en consideración para el análisis es el recorrido que realiza la unidad de transporte, esto para generar el trazado de la vía, por lo que el dispositivo recolecta estos datos con puntos de: latitud, longitud y altitud. Es importante aclarar que la latitud y longitud están expresadas en coordenadas angulares, la figura 13 muestra el trazado de la vía usando la programación con el software de ingeniería Matlab®.

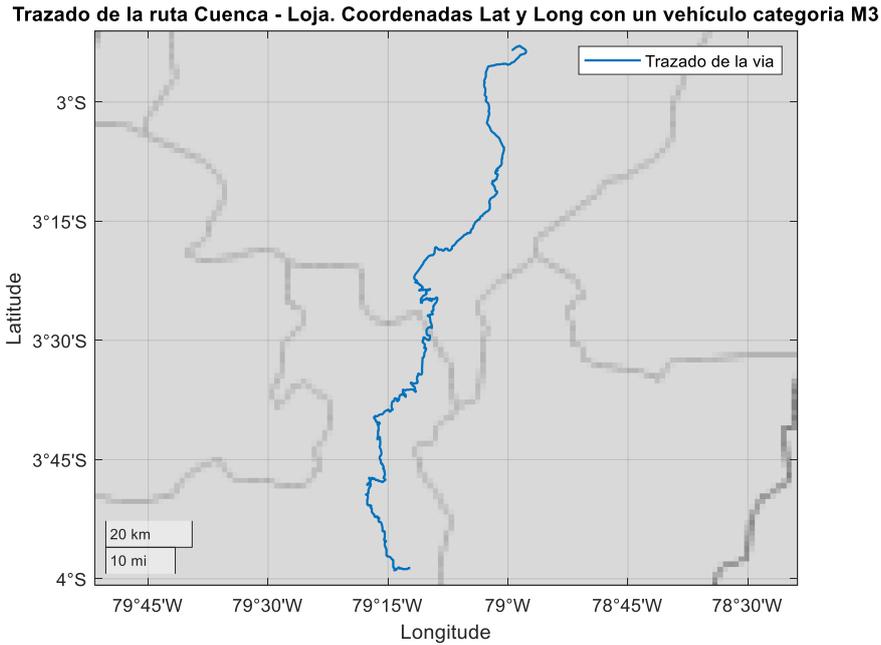


Figura 13: Trazado de la ruta mediante vectores de Latitud y Longitud en Matlab®. **Fuente:** Autores.

Matlab® procesa los datos con coordenadas geográficas (figura 14) de latitud y longitud como un sistema que permite establecer la ubicación de cada punto de la tierra, este sistema maneja coordenadas angulares esféricas y esferoides cuyo centro es el centro de la Tierra, siendo ángulos sexagesimales y se expresan en grados.

- La latitud de cualquier punto de la tierra es el ángulo que se forma entre el plano ecuatorial y la línea que atraviesa ese punto y el centro de la Tierra. El ecuador es el paralelo 0° y este divide al globo terráqueo en Norte y Sur, obteniéndose así que el polo norte tenga 90°N y el polo sur sea 90°S (Gilabert Pérez).
- La longitud de un punto cualquiera en la Tierra es el ángulo entre el meridiano que se tome como referencia y el dato que pasa por ese punto. El meridiano de referencia es el de Greenwich, este se encarga de dividir a la Tierra en los hemisferios este y oeste (Gilabert Pérez).

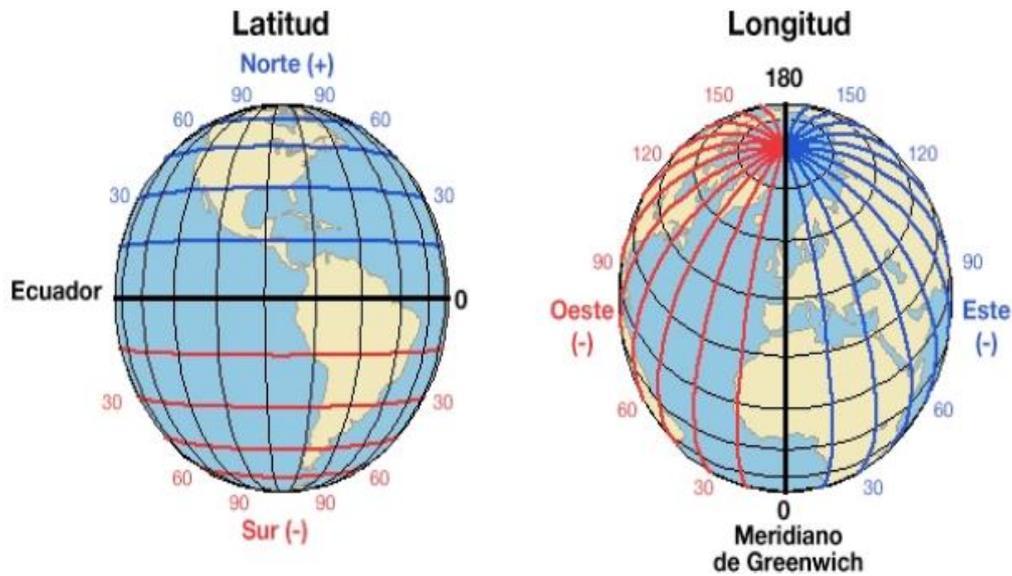


Figura 14: Sistema de Coordenadas Geográficas de la Tierra. **Fuente:** (Gilbert Pérez).

Para el desarrollo del algoritmo y la interpretación de los datos obtenidos se realiza cálculos basándose en el Sistema de medidas Internacional (S.I.), por lo que los datos de latitud y longitud que son un sistema de coordenadas geográficas se deberán transformar de grados sexagesimales a metros para ubicarlos y poder trabajar con las todas las variables recolectadas. La alternativa que se usa para su transformación son las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), que, a diferencia del sistema de coordenadas geográficas, este se expresa en metros.

Para llevar a cabo la transformación de las coordenadas es importante utilizar el repositorio de Matlab® y obtener la función “*deg2utm*”, siendo esta opción de libre acceso la cual se puede descargar y usar cuando se ejecute el código.

La estructura del código tiene la siguiente forma:

$$[x, y, utmzone] = deg2utm(Lat, Long) \quad (15)$$

Esta función toma como datos de entrada un vector de latitud y otro de longitud correspondientes a la posición geográfica, como salida devuelve dos nuevos vectores con las mismas posiciones geográficas, pero en este caso con el sistema de coordenadas UTM.

En el algoritmo que se está desarrollando se modificaron los nombre de las variables, es decir las salidas del vector “*x*” se cambió por *xGPS* & “*y*” se cambió por *yGPS*, los vectores de entrada “*Lat*” por *Latr* y “*Long*” por *Longr*. De esta manera finalmente se tiene el código modificado de la siguiente manera:

$$[x_{GPS}, y_{GPS}, \sim] = deg2utm(Latr, Longr) \quad (16)$$

La figura 15 muestra el trazado de la ruta Cuenca – Loja con coordenadas geográficas y la figura 16 en coordenadas UTM una vez usado el código.

Trazado de la ruta Cuenca - Loja. Coordenadas Lat y Long con un vehículo categoría M3

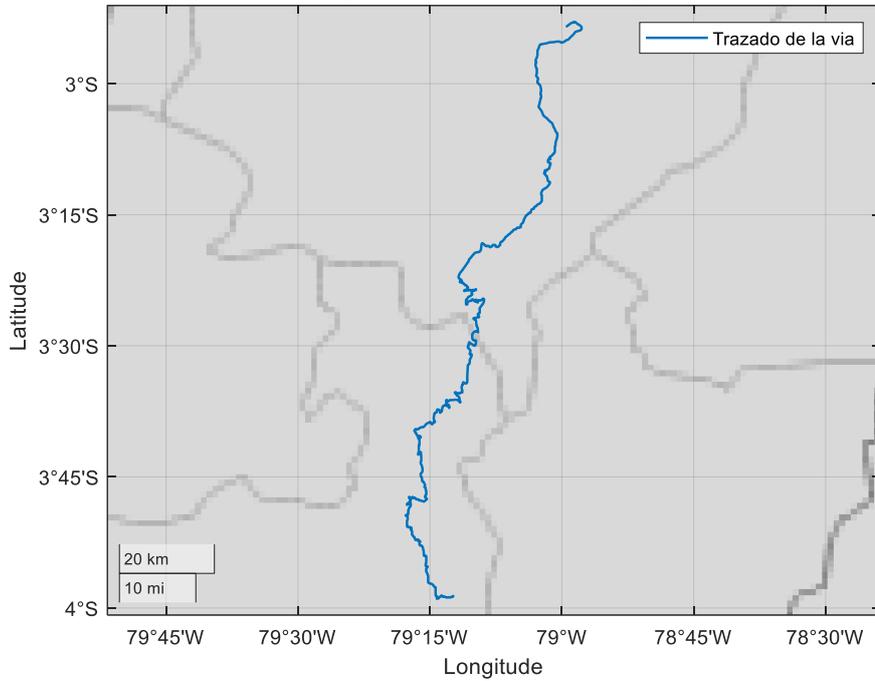


Figura 15: Trazado de la ruta con Coordenadas Geográficas. **Fuente:** Autores.

Trazado de la ruta Cuenca - Loja. Coordenadas UTM Norte Este con un vehículo categoría M3

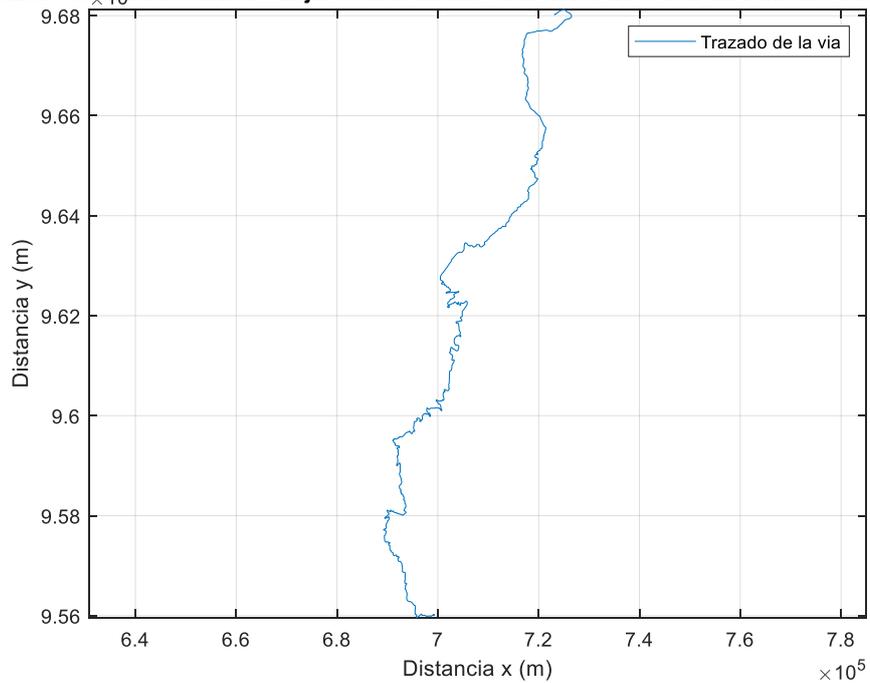


Figura 16: Trazado de la ruta con Coordenadas UTM. **Fuente:** Autores.

7.3. Cálculo de la curvatura en todos los puntos vía.

Una vez transformados los vectores de latitud (*Latr*) y longitud (*Longr*) a coordenadas UTM (*xGPS* & *yGPS*), estos pasan a formar parte de los vectores que se necesitan para poder calcular la curvatura y los radios. Se toma en consideración una nueva identificación a los vectores UTM, pasando a cambiarse de *xGPS* a "x11" & de *yGPS* a "y11" luego de ser modificados los errores que el GPS levantó.

Para encontrar el resultado se hace uso del cálculo vectorial mediante la ecuación 5, con esto se calculará la curvatura de una curva cuando está parametrizada por datos discretos, por lo tanto: $x = f(t), y = g(t)$, tal que f'' y g'' existen, entonces la curvatura k en $P(x, y)$ es:

$$k = \frac{|f'(t) \cdot g''(t) - g'(t) \cdot f''(t)|}{\left[(f'(t))^2 + (g'(t))^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (17)$$

Donde:

$f'(t)$ = primera derivada de $x11/Ts$

$f''(t)$ =segunado derivada de $x11/Ts$

$g'(t)$ = primera derivada de $y11/Ts$

$g''(t)$ = segunda derivada de $y11/Ts$

Las variables que están presentes para el cálculo son: $x11$, $y11$ y Ts (tiempo en segundos), seguidamente se hace uso de las derivadas para encontrar la variación que tendrán los vectores. Con la primera derivada lo que se conseguirá es conocer donde los puntos del trazado de la ruta son crecientes, decrecientes y donde están los puntos críticos es decir donde deja de ser creciente y empieza a ser decreciente, con la segunda derivada se conocerá la concavidad de los puntos o su inflexión, es decir donde cambia su concavidad.

Al efectuarse el cálculo en el software, se tiene como resultado que se crea un nuevo vector con valores de curvatura de la vía denominado "k", las figuras 17 y 18 dan a conocer lo explicado. Se aclara que se hace uso del comando "scatter" que presenta graficas de dispersión y dan una mejor idea de comprensión.

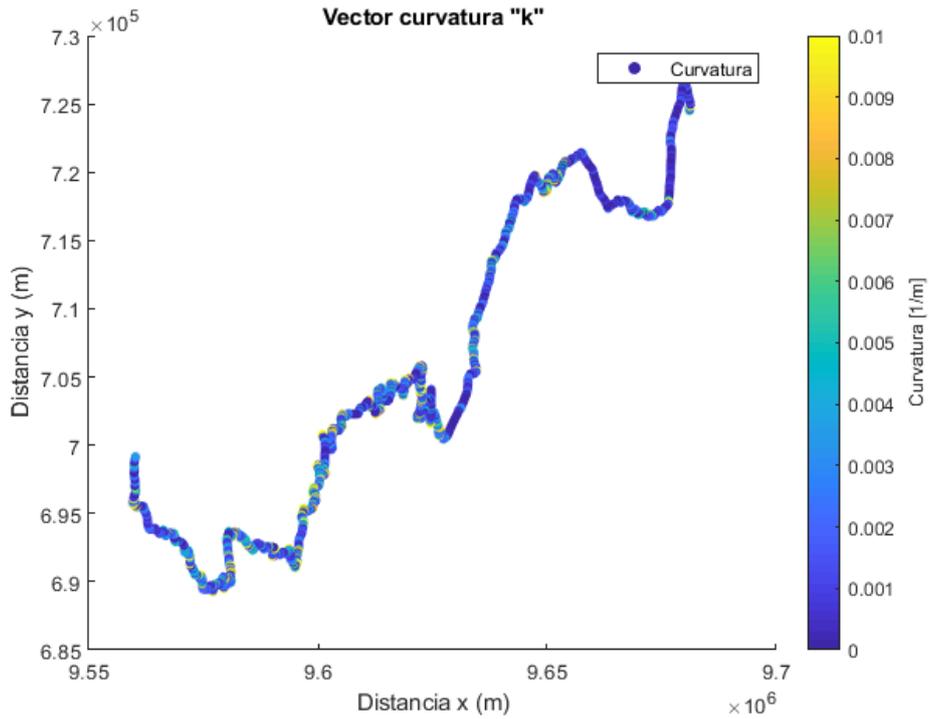


Figura 17: Vector curvatura (k) sobrepuesto en la ruta Cuenca - Loja. **Fuente:** Autores.

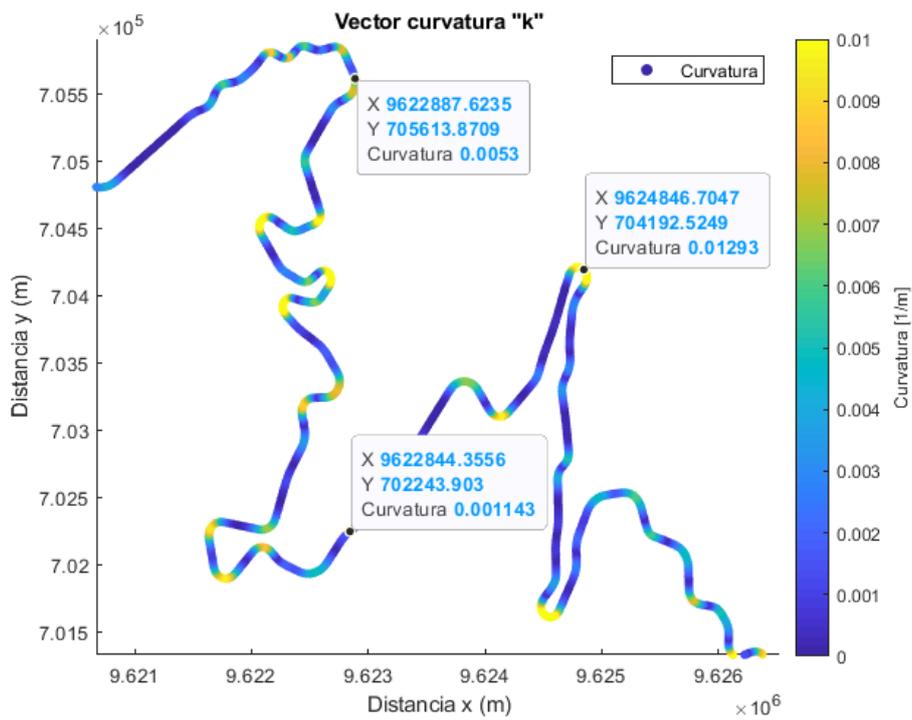


Figura 18: Zona específica de la ruta para identificar el vector curvatura (k). **Fuente:** Autores.

La gama de colores de la gráfica muestra los distintos valores de curvatura, partiendo desde “0” hasta valores iguales o mayores a “0.01”. Con los valores de la curvatura de una curva se va a definir los radios de toda la vía. Se realiza un zoom en la imagen para poder apreciar de mejor

manera una parte de la ruta ya que el trazado está conformado por alrededor de 122083 puntos, razón por la cual se lleva a cabo una pequeña ampliación en la figura 18 para su interpretación.

7.4. Cálculo de los radios de curvatura en todos los puntos de la vía.

Con los datos que se obtienen de curvatura (figura 17) se procede a calcular todos los radios de las curvas, se realiza un nuevo cálculo sencillo que facilita encontrar dichos radios con la ayuda de la ecuación 6:

$$r = \frac{1}{k}$$

Lo que nos permite este cálculo es conocer a lo largo de la vía el valor de los distintos radios que conforman toda la ruta, el vector tiene como nombre en el software “radio” y este albergará los valores de los radios en metros en cada punto de la ruta trazada, para más detalles las figuras 19 y 20 muestran con la gama de colores los valores que toma ahora el radio en cada punto de la ruta.

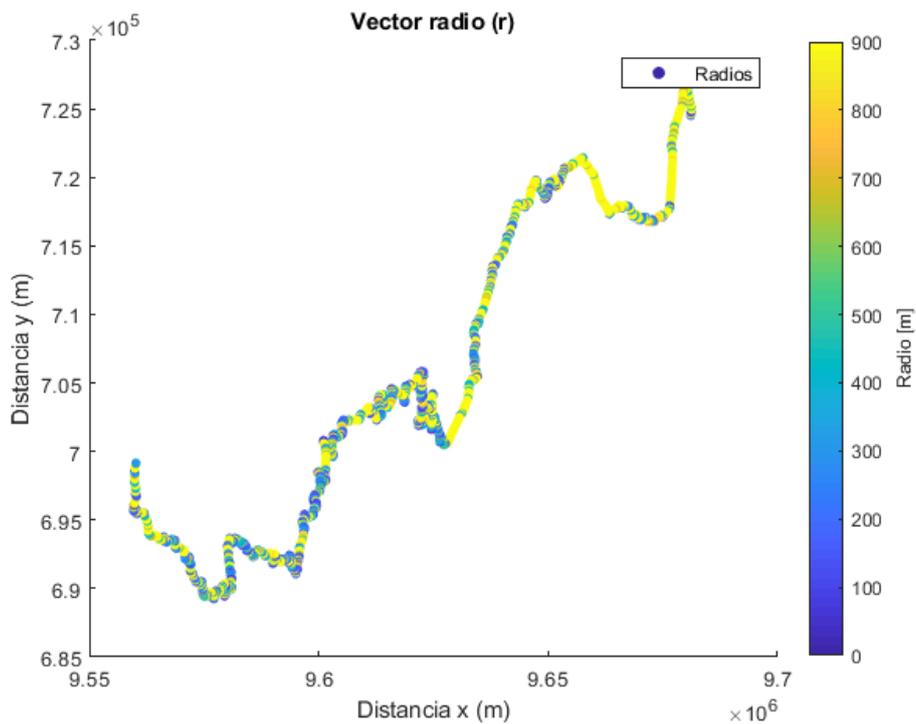


Figura 19: Vector radio (r) sobrepuesto en la ruta Cuenca - Loja. **Fuente:** Autores.

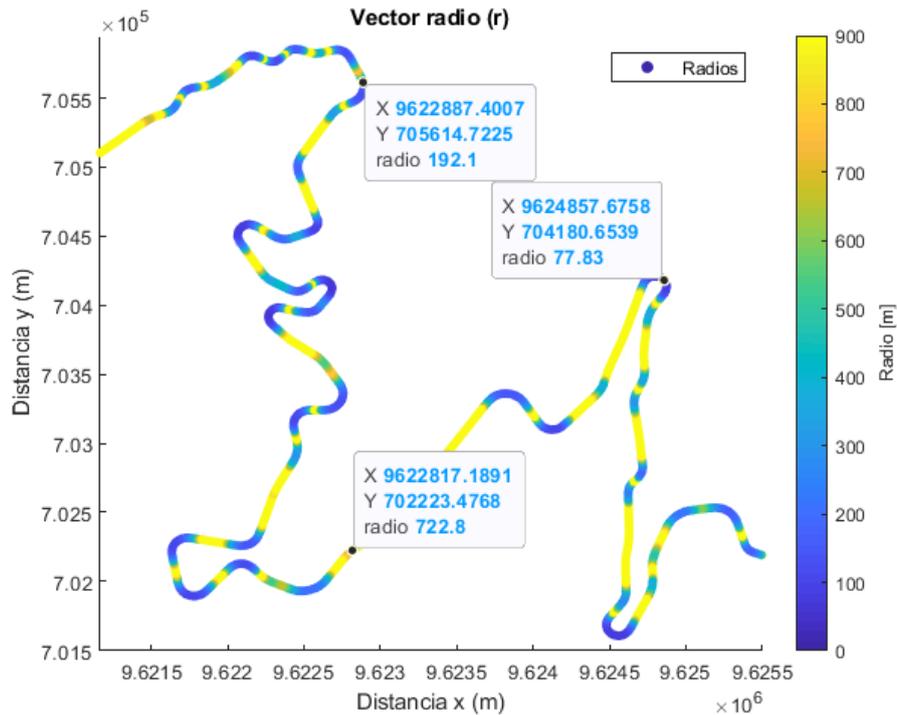


Figura 20: Zona específica de la ruta para identificar el vector radio (r). **Fuente:** Autores.

Como se aprecia en las figuras a lo largo de la ruta existen una variedad de radios que se ven representados por la gama de colores, el valor numérico de estos radios se evalúa de mejor manera consultando el vector "radio" en el software.

7.4.1. Verificación de los radios de curvatura utilizando Google Earth Pro.

Para comprobar los radios de curvatura calculados y almacenados en el vector "radio", es necesario que dichos radios a lo largo de la ruta trazada sean lo más cercano posible a la medida real, por lo que para realizar esta verificación se usa el software de acceso libre "Google Earth Pro" de los desarrolladores de "Google", el cual permite realizar la medición real a escala 1:1 de los radios de curvatura de la vía para luego comparar con los que se calculó con el código creado.

Para efectuar esta verificación se toman en cuenta los vectores: x_{11} , y_{11} y $radio$, los cuales constan de 122083 puntos cada uno. Los primeros dos vectores ayudan a ubicar la coordenada UTM y el tercer vector ayuda a seleccionar el valor numérico de los radios de las curvas de interés para poder comprobar sus medidas. La manera más sencilla de hacerlo es abrir el vector de estudio en Matlab® y buscar el punto de interés que se desee verificar para posteriormente graficar las coordenadas en Google Earth Pro, una vez graficada la coordenada en el software mencionado se traza un círculo que dará a conocer el valor del radio y se compara con el radio calculado. Los sitios de interés a verificar son los siguientes.

7.4.1.1. Intersección Av. de las Américas y Circunvalación Sur, semáforo del intercambiador.

Para realizar la comprobación se obtiene los siguientes vectores en Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 7802
- *x11* Coordenada Norte = 9676540.70594265
- *y11* Coordenada Este = 717828.613033782
- *radio* = 42.97m

Posterior a ello se ubican las coordenadas del punto (*x11*,*y11*) en Google Earth Pro, seguidamente en el mismo software se selecciona la opción “Regla” y se dibuja un círculo tangente al punto graficado, del cual para este caso se obtiene como resultado.

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 42.72m

Finalmente se comprueba el valor en metros del radio que se dibuja en Google Earth Pro con el radio calculado por Matlab®. La figura 21 muestra la ubicación de la coordenada y el punto de análisis del radio de curvatura en Matlab®, mientras que la figura 22 muestra el radio de curvatura graficado en Google Earth Pro.

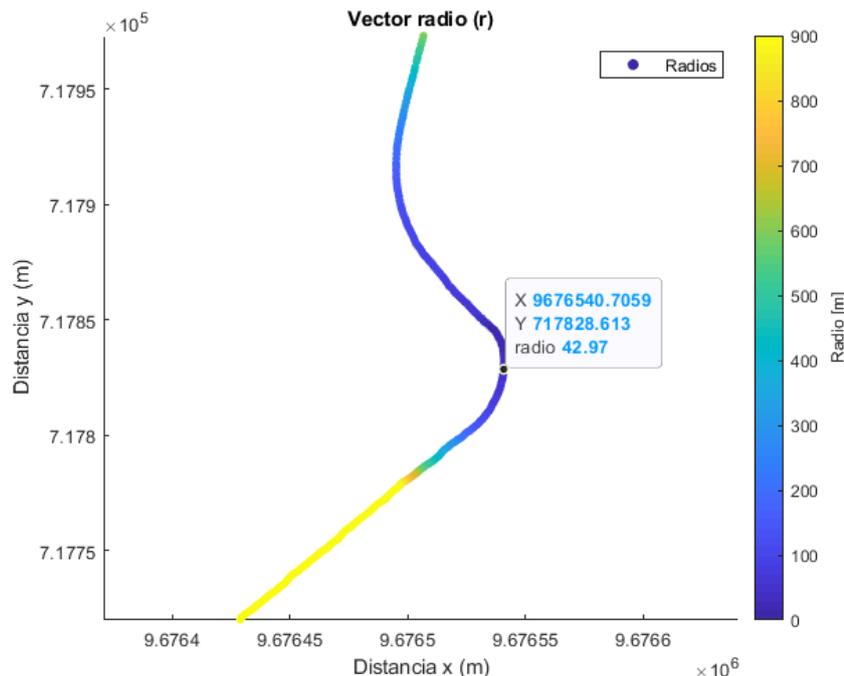


Figura 21: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en la Intersección Av. de las Américas y Circunvalación Sur con Matlab®. **Fuente:** Autores.

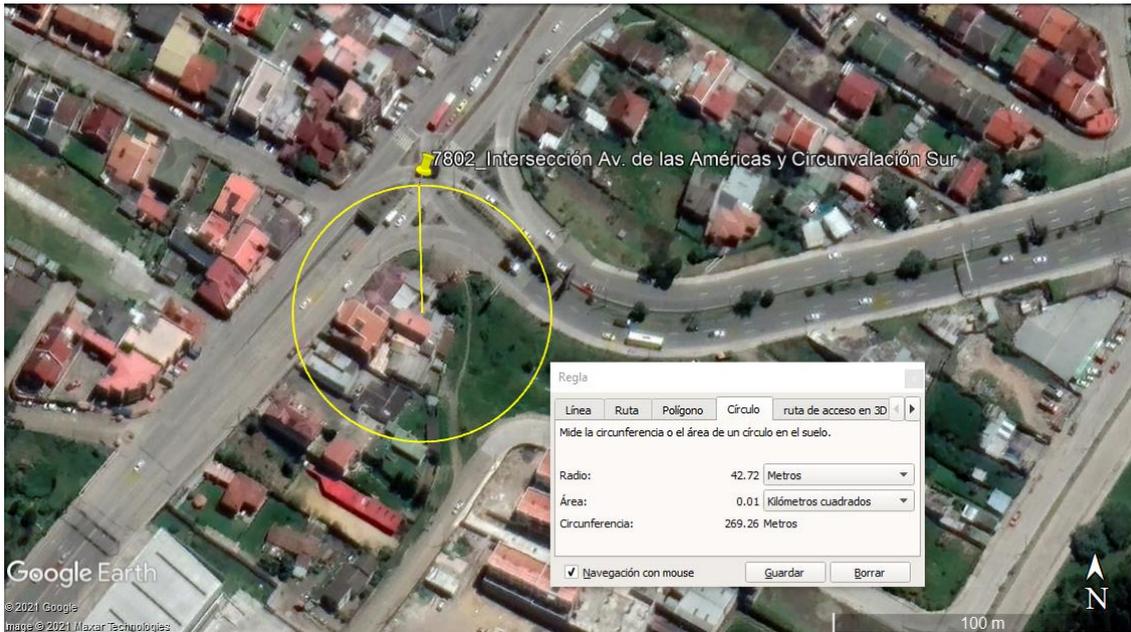


Figura 22: Valor del radio de curvatura en la Intersección Av. de las Américas y Circunvalación Sur con Google Earth Pro. **Fuente:** (Google Earth, 2021)

La figura 21 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 7802, el cálculo del radio en ese punto es de 42.97m. La figura 22 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 42.72m. Para una mejor comprensión se repetirá el mismo procedimiento descrito anteriormente, para ello la verificación de los demás sectores se tiene que ubicar únicamente las variables que intervienen.

7.4.1.2. Redondel que dirige a Girón y Loja.

Vectores calculados por Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 16351
- *x11 Coordenada Norte* = 9663357.97091864
- *y11 Coordenada Este* = 717332.706800703
- *radio* = 31.34m

Seguidamente se debe ubicar las coordenadas en Google Earth Pro para verificar, las figuras 23 y 24 muestran los resultados.

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 31.50m

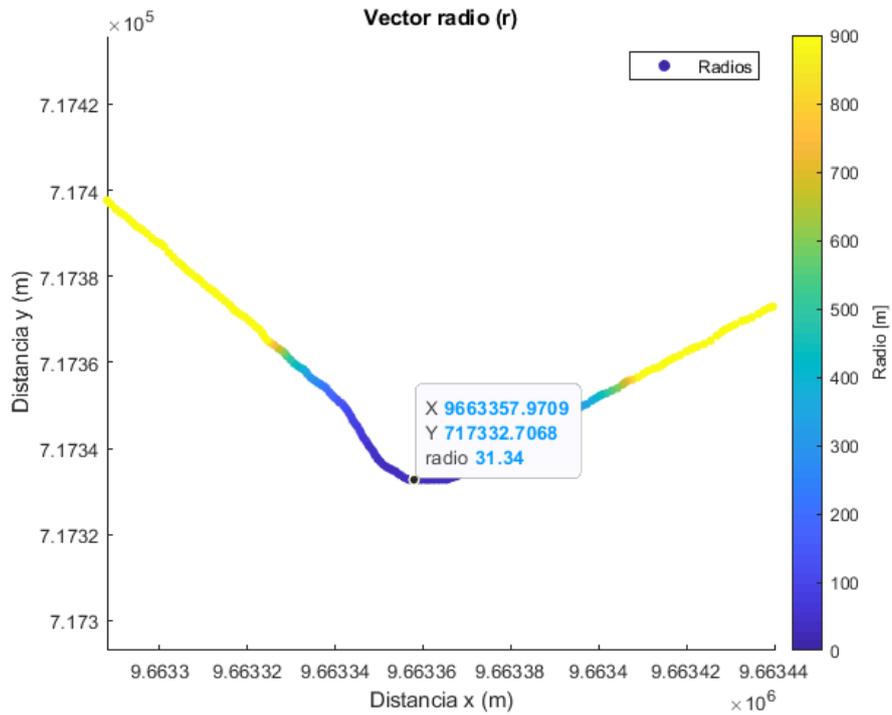


Figura 23: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en el redondel que dirige a Girón y Loja con Matlab®. **Fuente:** Autores.

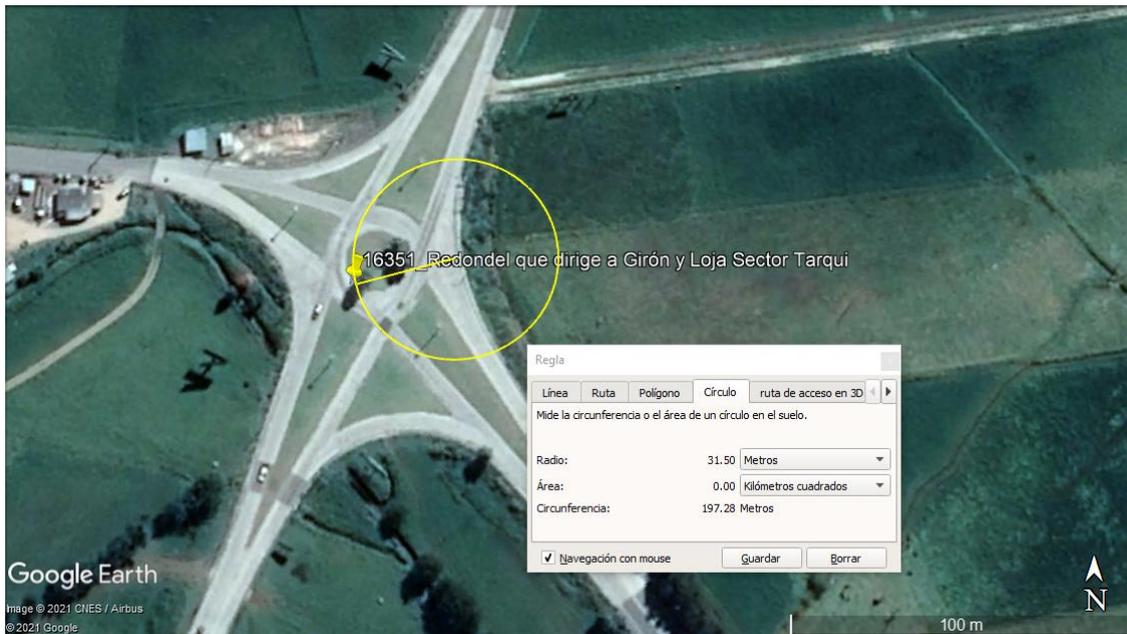


Figura 24: Valor del radio de curvatura en el redondel que dirige a Girón y Loja con Google Earth Pro. **Fuente:** (Google Earth, 2021).

La figura 23 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 36760, el cálculo del radio en ese punto es de 31.34m. La figura 24 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 31.50m.

7.4.1.3. Sector La Jarata.

Vectores calculados por Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 36760
- *x11* Coordenada Norte = 9634271.77099716
- *y11* Coordenada Este = 709338.616625182
- *radio* = 133.4m

Seguidamente se debe ubicar las coordenadas en Google Earth Pro para verificar, las figuras 25 y 26 muestran los resultados.

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 133.79m

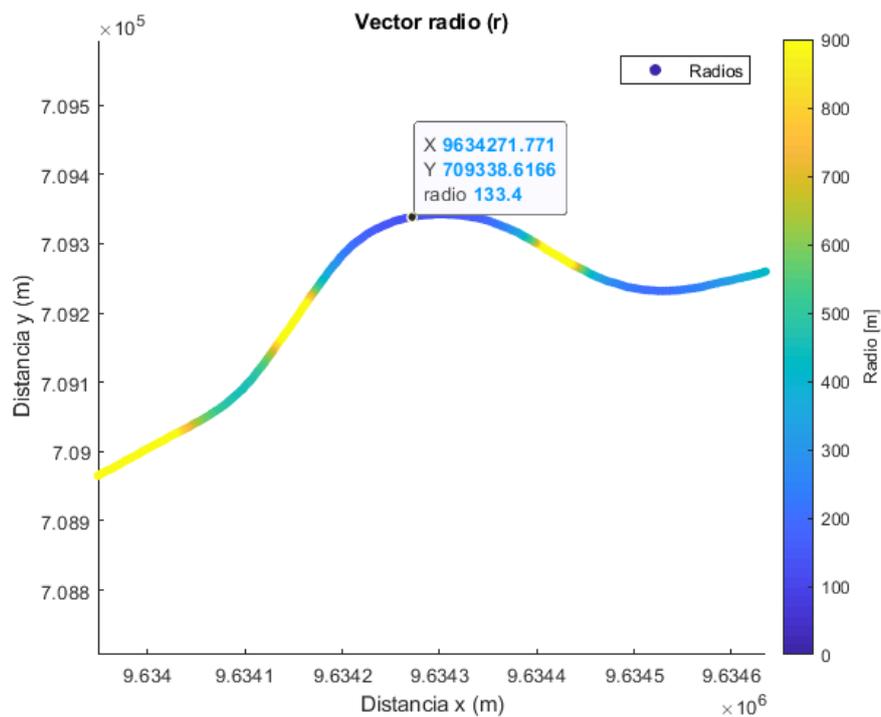


Figura 25: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en el sector La Jarata con Matlab®. **Fuente:** Autores.

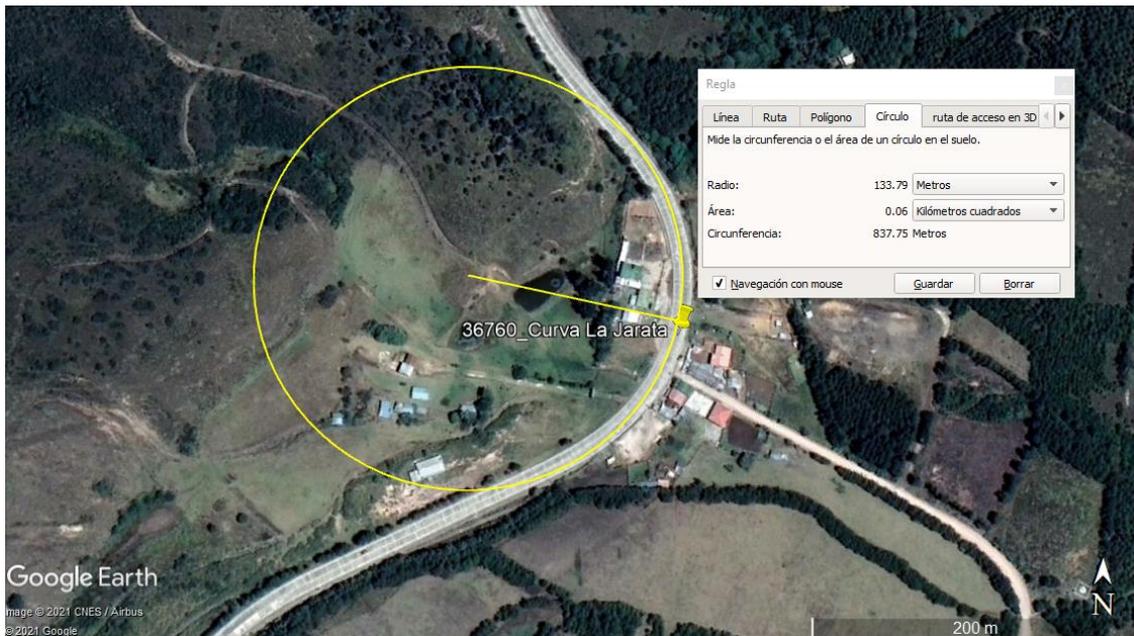


Figura 26: Valor del radio de curvatura en el sector La Jarata con Google Earth Pro. **Fuente:** (Google Earth, 2021).

La figura 25 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 36760, el cálculo del radio en ese punto es de 133.4m. La figura 26 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 133.79m.

7.4.1.4. Primera curva con dirección a Loja sector Susudel.

Vectores calculados por Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 46368
- *x11 Coordenada Norte* = 9624509.20126047
- *y11 Coordenada Este* = 701624.379052497
- *radio* = 78.42m

Seguidamente se debe ubicar las coordenadas en Google Earth Pro para verificar, las figuras 27 y 28 muestran los resultados.

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 78.29m

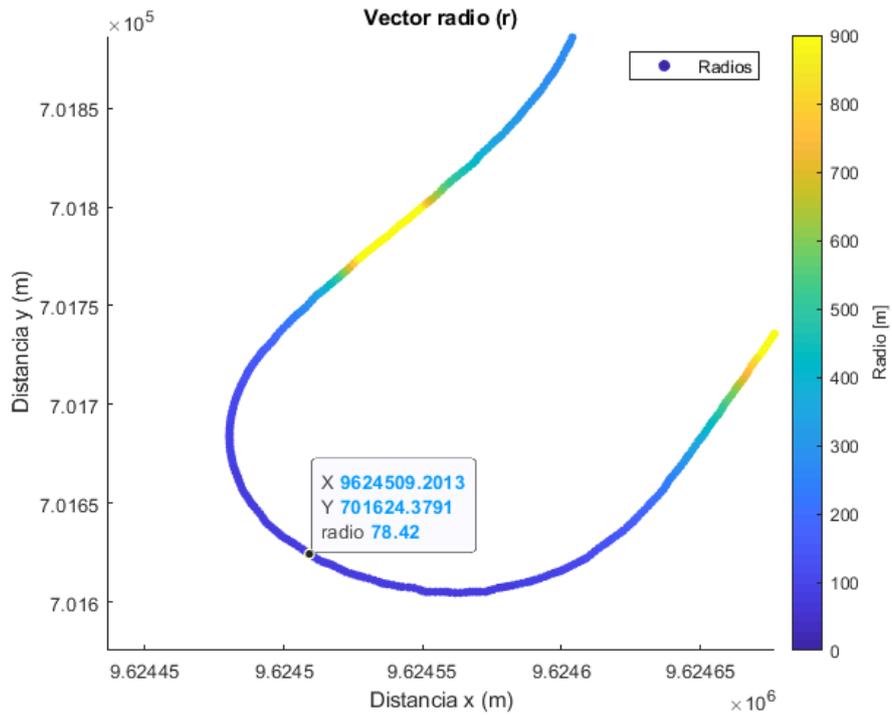


Figura 27: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en la primera curva con dirección a Loja sector Susudel con Matlab®. **Fuente:** Autores.

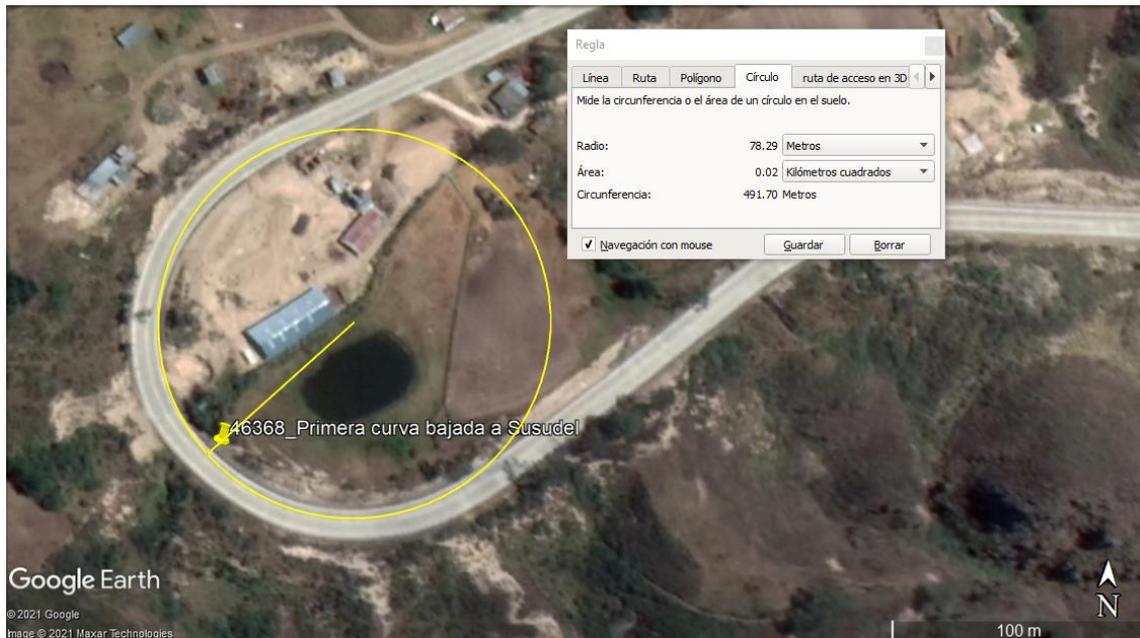


Figura 28: Valor del radio de curvatura de la primera curva en el sector Susudel con Google Earth Pro. **Fuente:** (Google Earth, 2021).

La figura 27 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 46368, el cálculo del radio en ese punto es de 78.42m. La figura 28 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 78.29m.

7.4.1.5. Segunda curva con dirección a Loja sector Susudel.

Vectores calculados por Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 47926
- *x11 Coordenada Norte* = 9624834.19343834
- *y11 Coordenada Este* = 704200.132717428
- *radio* = 77.77m

Seguidamente se debe ubicar las coordenadas en Google Earth Pro para verificar, las figuras 29 y 30 muestran los resultados.

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 77.78m

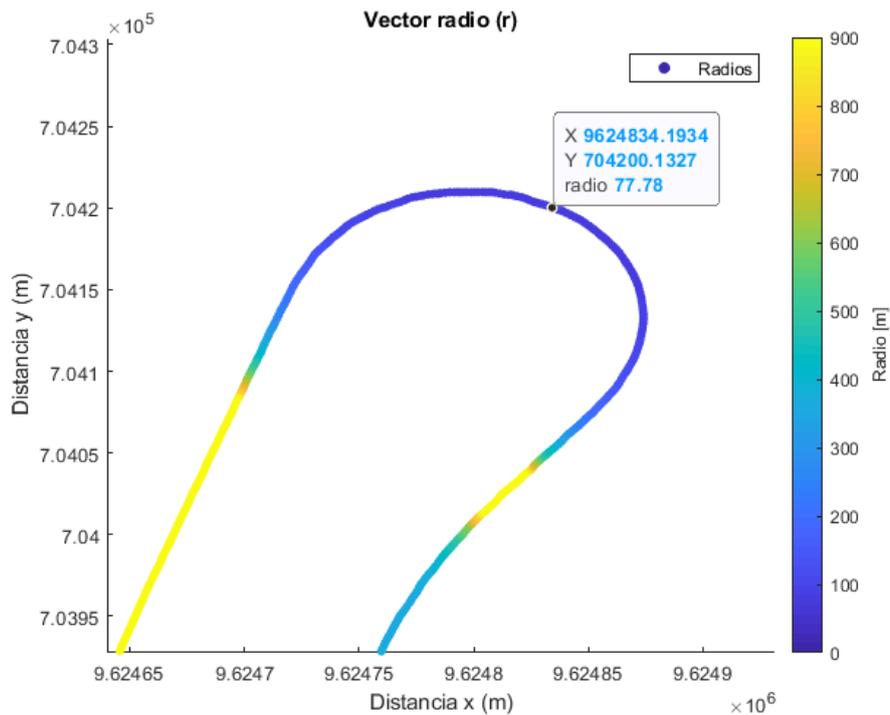


Figura 29: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en la segunda curva con dirección a Loja sector Susudel con Matlab®. **Fuente:** Autores.

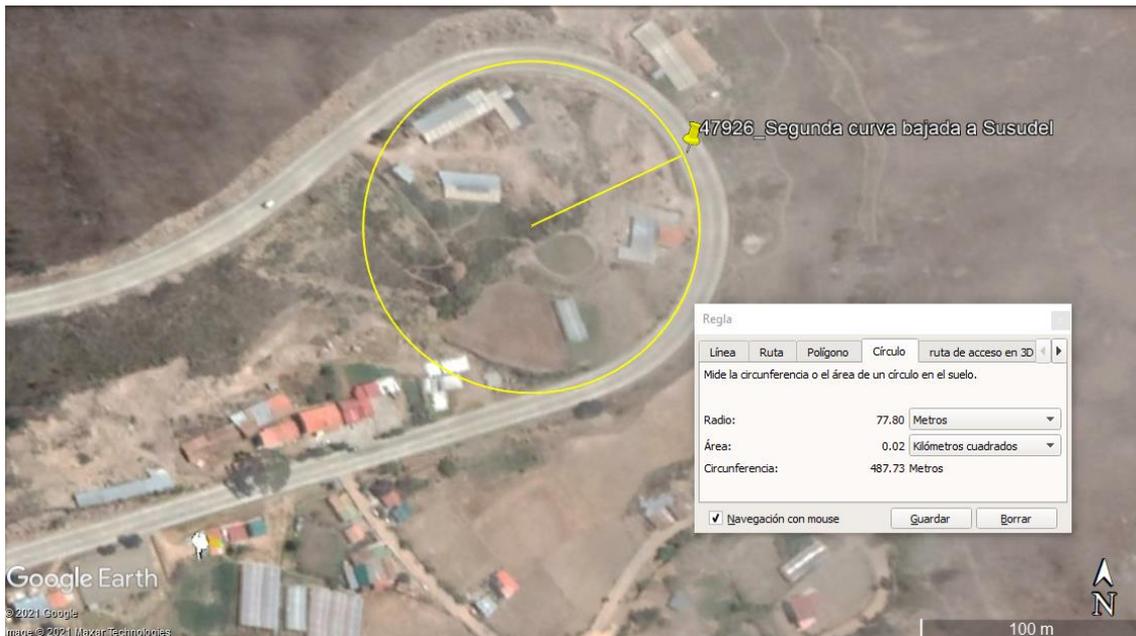


Figura 30: Valor del radio de curvatura en la segunda curva en el sector Susudel con Google Earth Pro. **Fuente:** (Google Earth, 2021)

La figura 29 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 47926, el cálculo del radio en ese punto es de 77.78m. La figura 30 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 77.80m.

7.4.1.6. Entrada a San Antonio de Cumbe.

Vectores calculados por Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 70489
- *x11 Coordenada Norte* = 9604828.8302985
- *y11 Coordenada Este* = 701454.28891156
- *radio* = 76.22m

Seguidamente se debe ubicar las coordenadas en Google Earth Pro para verificar, las figuras 31 y 32 muestran los resultados:

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 76.50m

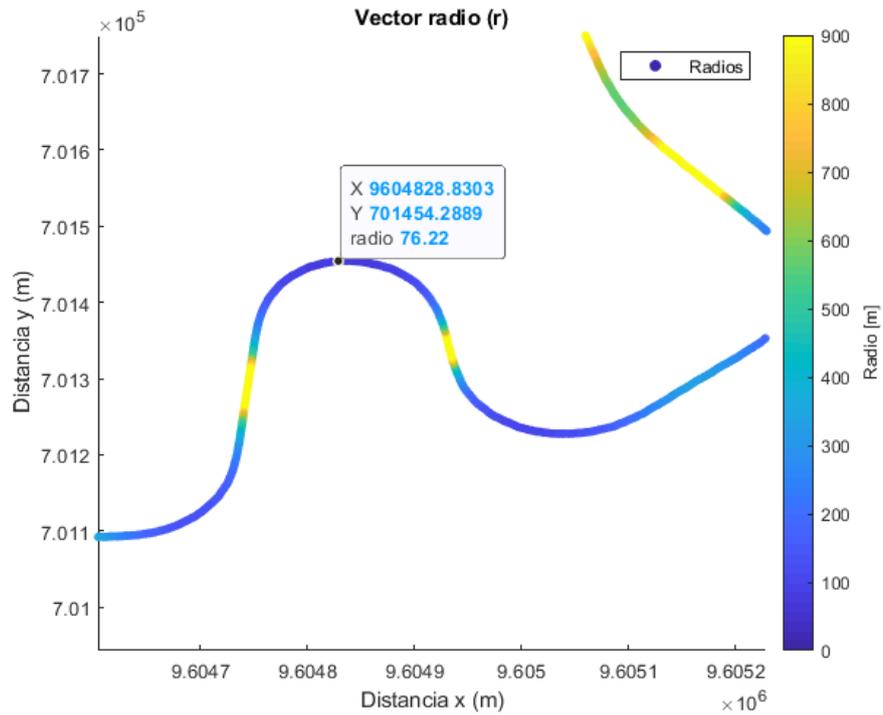


Figura 31: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en la entrada a San Antonio de Cumbe con Matlab®. **Fuente:** Autores.

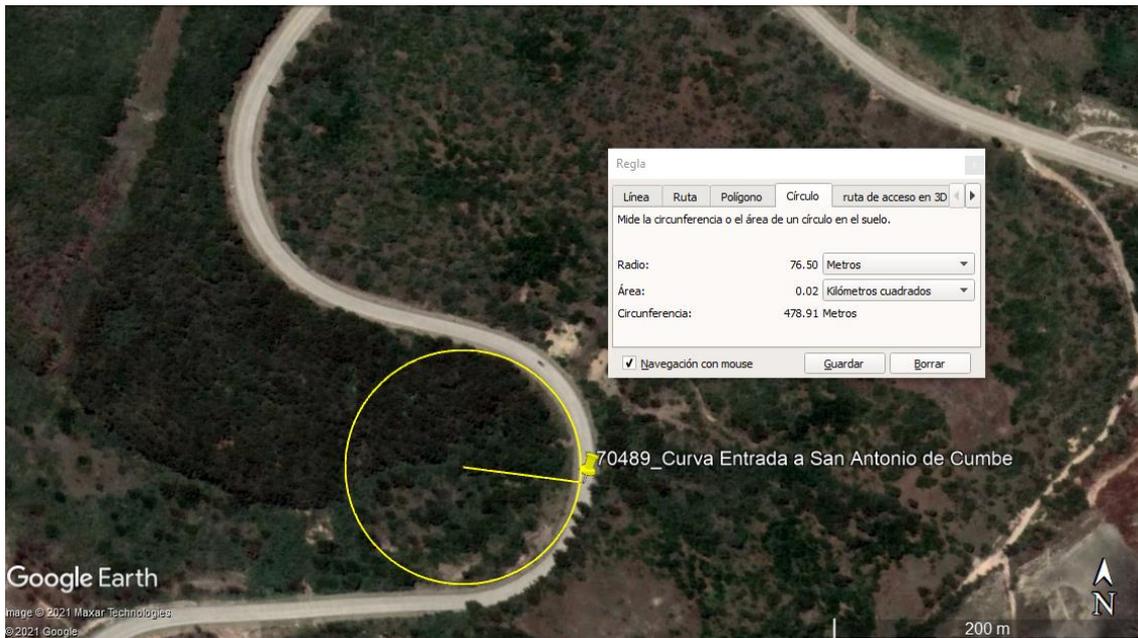


Figura 32: Valor del radio de curvatura en la entrada a San Antonio de Cumbe con Google Earth Pro. **Fuente:** (Google Earth, 2021).

La figura 31 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 70489, el cálculo del radio en ese punto es de 76.22m. La figura 32 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 76.50m.

7.4.1.7. Sector la Curva - Baber.

Vectores calculados por Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 73696
- *x11* Coordenada Norte = 9600998.10285623
- *y11* Coordenada Este = 700765.910685223
- *radio* = 85m

Seguidamente se debe ubicar las coordenadas en Google Earth Pro para verificar, las figuras 33 y 34 muestran los resultados:

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 85.28m

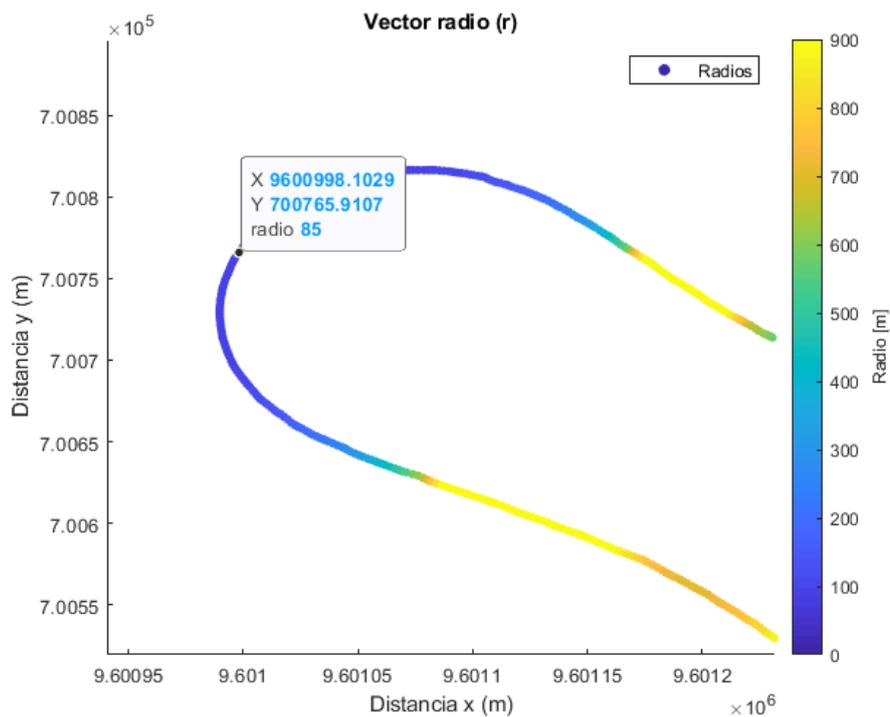


Figura 33: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en el sector La Curva – Baber con Matlab®.

Fuente: Autores.

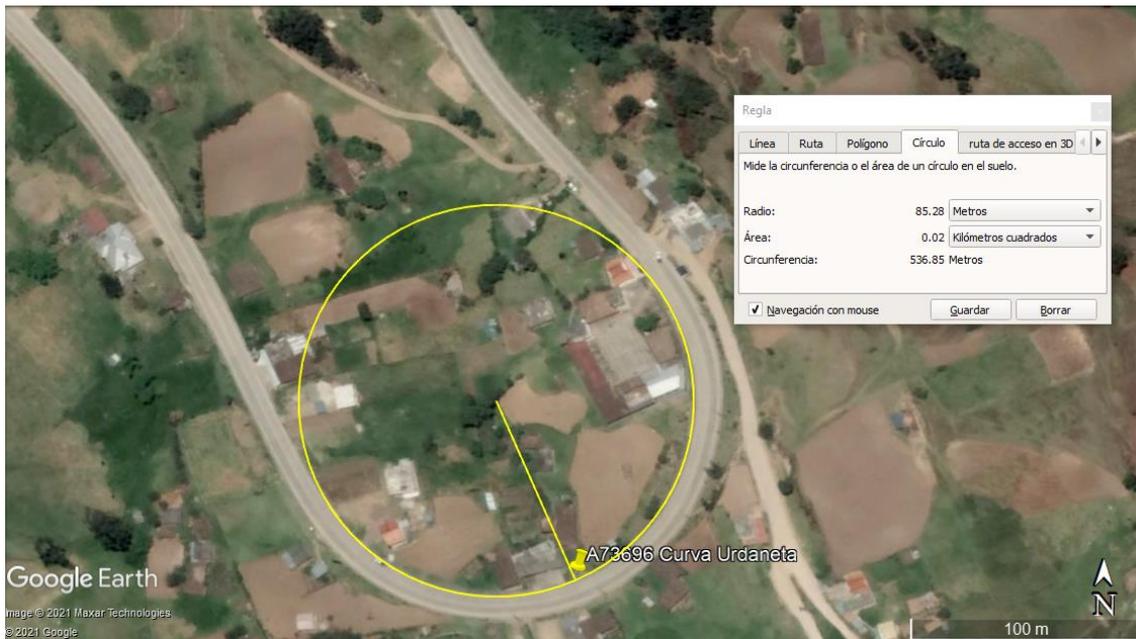


Figura 34: Valor del radio de curvatura en el sector La Curva - Baber con Google Earth Pro. **Fuente:** (Google Earth, 2021).

La figura 33 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 73696, el cálculo del radio en ese punto es de 85m. La figura 34 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 85.28m.

7.4.1.8. Sector Yarímalá curva Sub Estación EERSSA Saraguro.

Vectores calculados por Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 84850
- *x11 Coordenada Norte* = 9596859.69076325
- *y11 Coordenada Este* = 695398.994989273
- *radio* = 68.29m

Seguidamente se debe ubicar las coordenadas en Google Earth Pro para verificar, las figuras 35 y 36 muestran los resultados:

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 68.84m

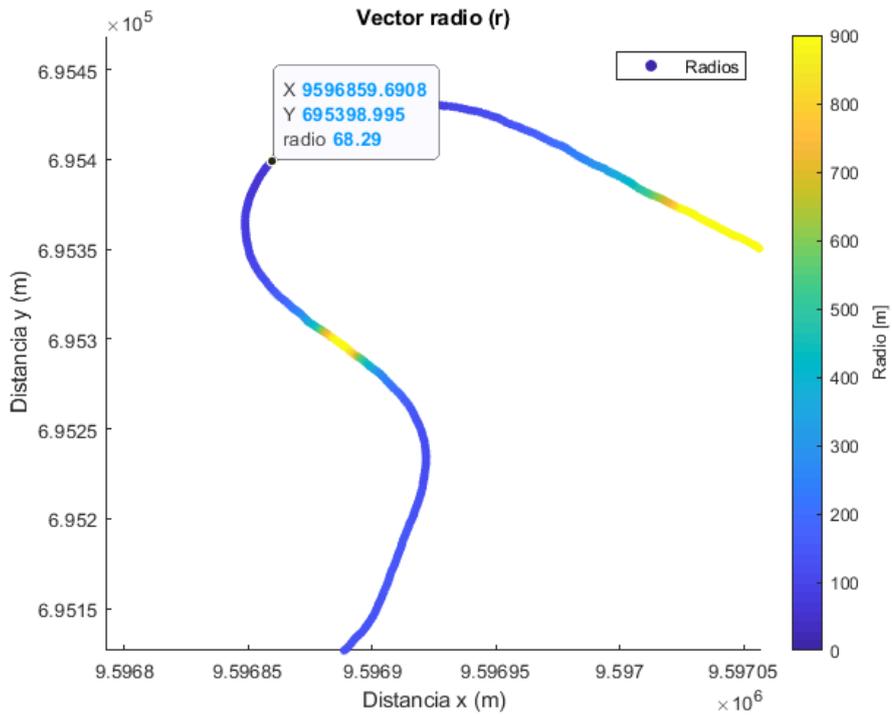


Figura 35: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en el sector Yarímalá curva Sub Estación EERSSA Saraguro con Matlab®. **Fuente:** Autores.

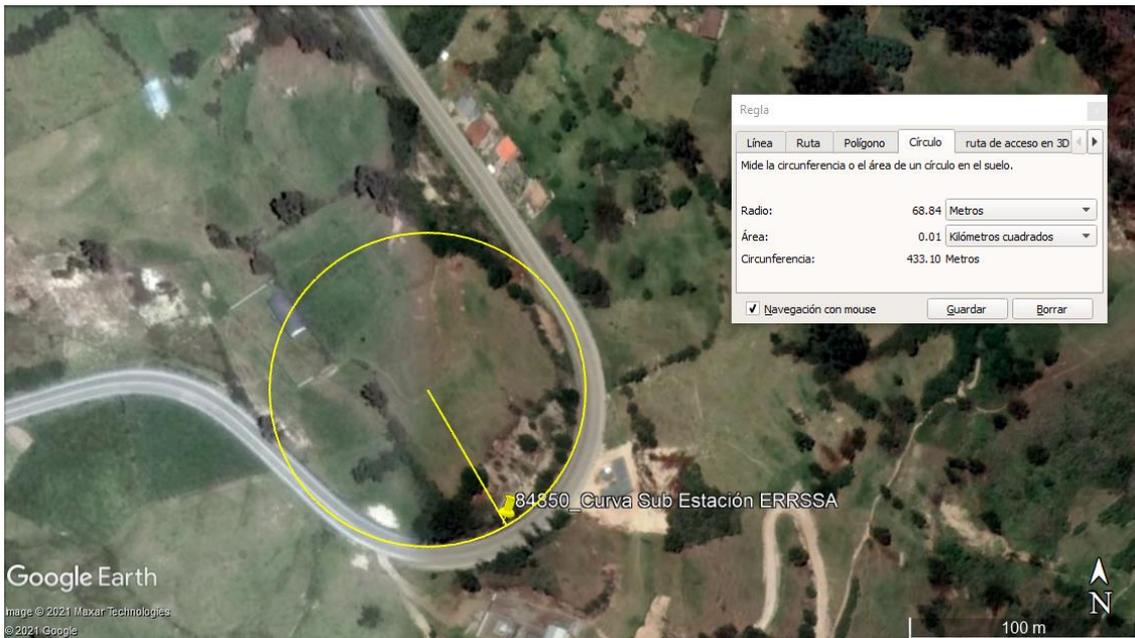


Figura 36: Valor del radio de curvatura en el sector Yarímalá curva Sub Estación EERSSA Saraguro con Google Earth Pro. **Fuente:** (Google Earth, 2021).

La figura 35 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 84850, el cálculo del radio en ese punto es de 68.29m. La figura 36 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 68.84m.

7.4.1.9. San Lucas sector Pichig.

Vectores calculados por Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 93190
- *x11 Coordenada Norte* = 9590545.08046209
- *y11 Coordenada Este* = 692466.625676726
- *radio* = 67.28m

Seguidamente se debe ubicar las coordenadas en Google Earth Pro para verificar, las figuras 37 y 38 muestran los resultados:

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 67.42m

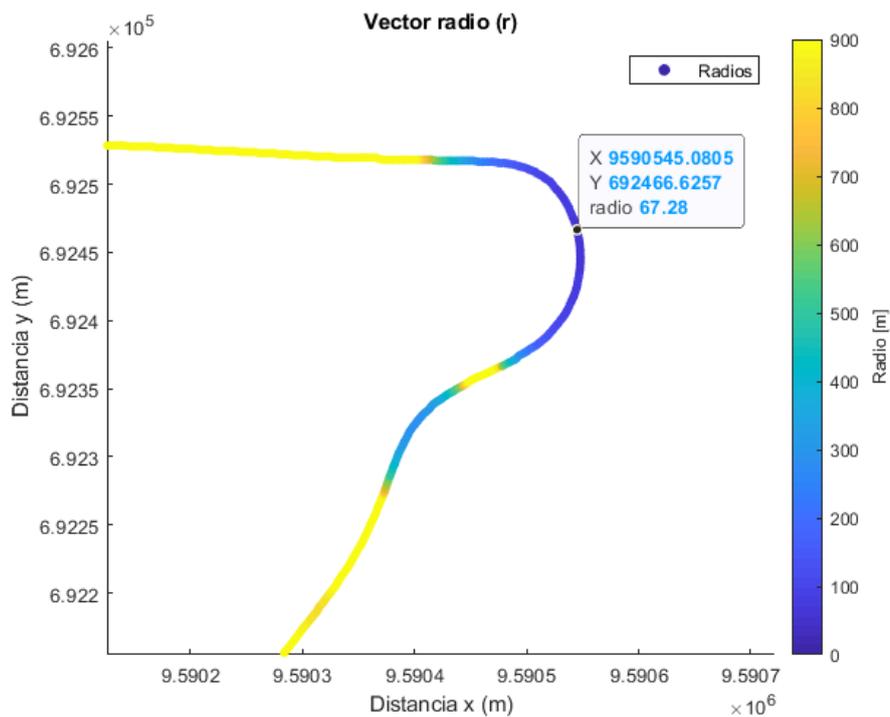


Figura 37: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en San Lucas sector Pichig con Matlab®.

Fuente: Autores.

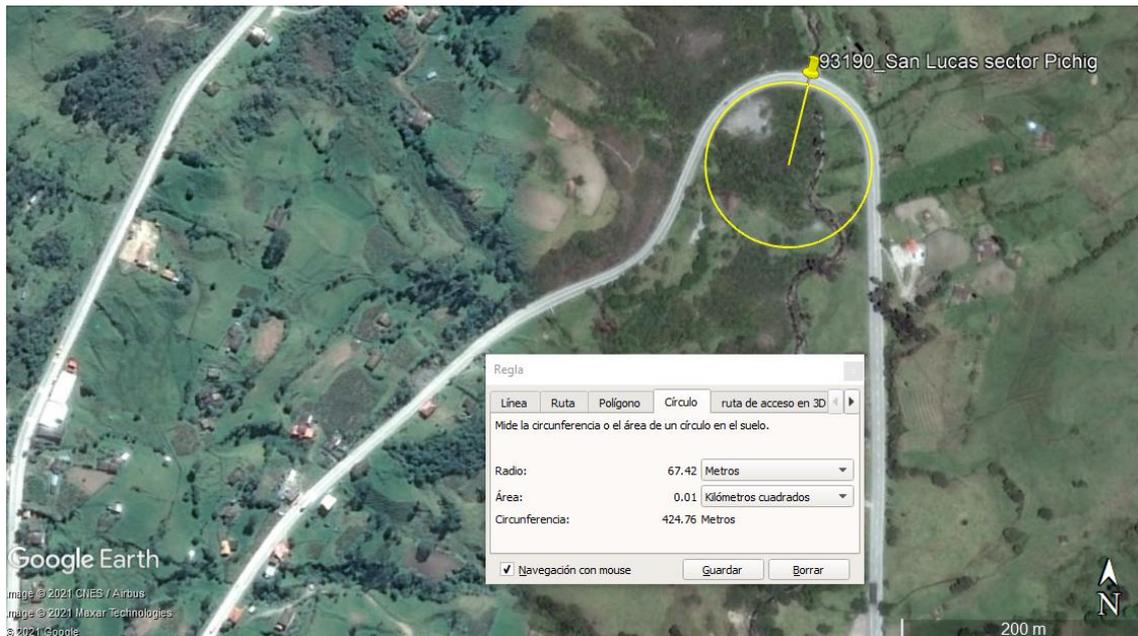


Figura 38: Valor del radio de curvatura en San Lucas sector Pichig con Google Earth Pro. **Fuente:** (Google Earth, 2021)

La figura 37 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 93190, el cálculo del radio en ese punto es de 67.28m. La figura 38 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 67.42m.

7.4.1.10. Quebrada Shimunga sector Santiago.

Vectores calculados por Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 102059
- *x11* Coordenada Norte = 9581098.3007553
- *y11* Coordenada Este = 690630.322458332
- *radio* = 68.52m

Seguidamente se debe ubicar las coordenadas en Google Earth Pro para verificar, las figuras 39 y 40 muestran los resultados:

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 68.71m

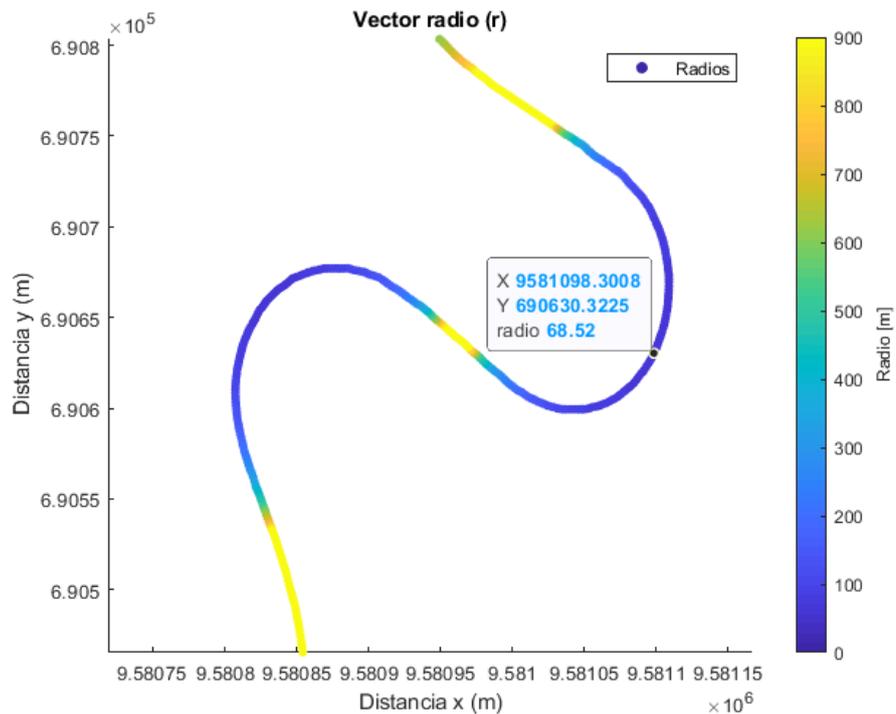


Figura 39: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en la Quebrada Shimunga sector Santiago con Matlab®. **Fuente:** Autores.



Figura 40: Valor del radio de curvatura en la Quebrada Shimunga sector Santiago con Google Earth *Pro*. **Fuente:** (Google Earth, 2021).

La figura 39 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 102059, el cálculo del radio en ese punto es de 68.52m. La figura 40 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 68.71m.

7.4.1.11. Zenen Bajo.

Vectores calculados por Matlab®:

- *Número de ubicación en el vector* = 108334
- *x11* Coordenada Norte = 9574549.23814311
- *y11* Coordenada Este = 690521.247172359
- *radio* = 72.15m

Seguidamente se debe ubicar las coordenadas en Google Earth Pro para verificar, las figuras 41 y 42 muestran los resultados:

Datos levantados en Google Earth Pro:

- *radio* = 72.25m

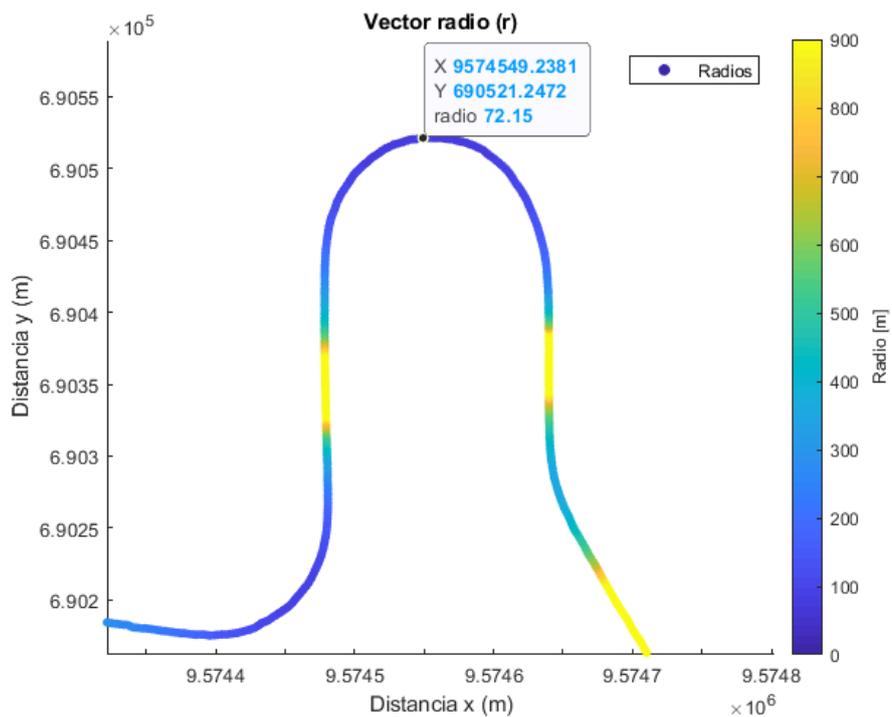


Figura 41: Ubicación de la coordenada y el radio de curvatura en el sector Zenen Bajo con Matlab®. **Fuente:** Autores.

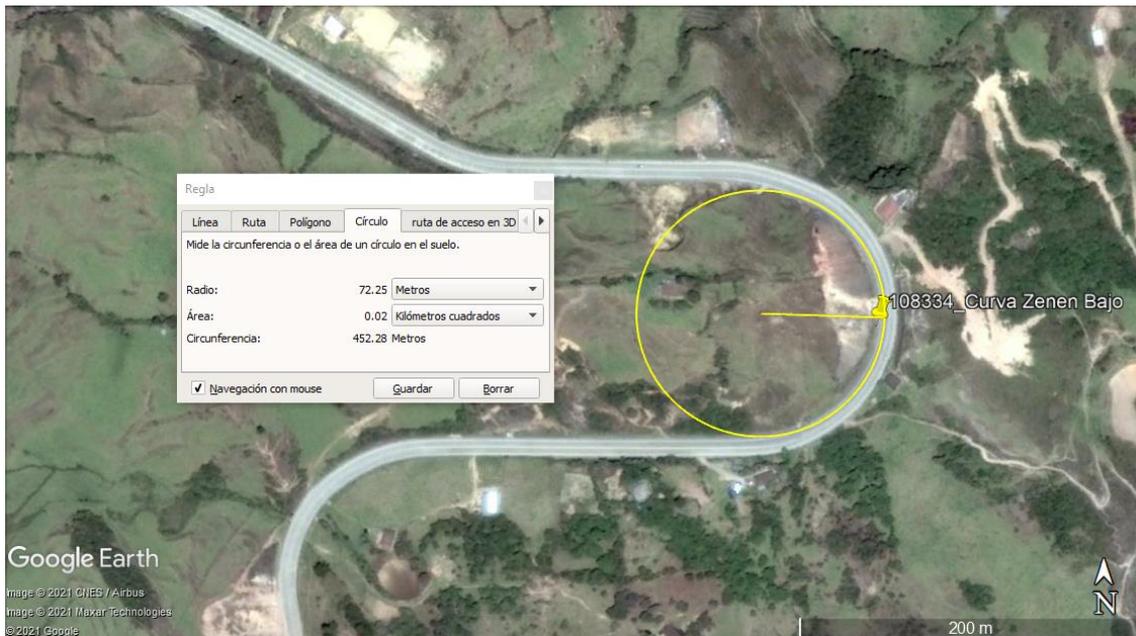


Figura 42: Valor del radio de curvatura en la Quebrada Shimunga sector Santiago con Google Earth Pro.
Fuente: (Google Earth, 2021).

La figura 41 indica las coordenadas en Matlab® del punto a analizar, dato 108334, el cálculo del radio en ese punto es de 72.15m. La figura 42 muestra la posición de las coordenadas en Google Earth Pro y el valor del radio, siendo este de 72.25m.

Es importante aclarar que los valores de los radios calculados con Matlab® y los levantados en Google Earth Pro difieren por cantidades pequeñas ya que la exactitud entre ambos es distinta. En base a esto se afirma que la verificación que se realizó para comprobar los radios de curvatura es correcta.

7.5. Análisis dinámico de la unidad de transporte.

Para realizar el análisis de la circulación del vehículo categoría M3 a lo largo de toda la ruta, se tiene que realizar cálculos que determinen las velocidades de vuelco y velocidades de derrape y con esto establecer los límites de circulación del vehículo cuando transite por la vía. Las variables que se toman en consideración para los cálculos con Matlab® son: peralte, el coeficiente de adherencia μ , la gravedad g , vía o ancho frontal del vehículo B y la altura del centro de gravedad del vehículo h .

7.5.1. Cálculo aproximado de la velocidad de derrape de la unidad de transporte.

El cálculo que se presenta sirve para determinar las velocidades límites de derrape en curva, es decir la velocidad límite a la cual el automotor deberá ingresar a la curva. La fórmula en su estructura tiene una variable de ángulo denominada peralte de vía que según (MTOP M. d., 2013) detalla que el valor del peralte para terrenos montañosos similares a la vía Cuenca – Loja tiene un porcentaje del 10% aproximadamente, valor que tiene que ser expresado en grados

sexagesimales. La siguiente variable a tomar en consideración es el coeficiente de adherencia entre el neumático y la calzada que, según (Muñoz Guzmán, 2007) en su libro “*Cálculo de la velocidad en la investigación de accidentes de tráfico*” el valor de este coeficiente es de: 0.60 para pavimento usado seco con llantas usadas y 0.45 para el mismo tipo de calzada y neumáticos pero mojados. El radio es un vector que se calculó con anterioridad y la gravedad tiene un valor de $9.81m/s^2$. El cálculo de la velocidad de derrape se realizará usando la ecuación 8:

$$Vld = \sqrt{g \cdot r \cdot \frac{\mu_{y\max} + tg\zeta}{1 - \mu_{y\max} \cdot tg\zeta}}$$

El cálculo en Matlab® responde a las variables:

g = gravedad

r = radio

$\mu_{y\max}$ = Coeficiente de adherencia entre el neumático y el suelo

$tg\zeta$ = tangente del peralte de la vía en grados

El resultado que se obtiene mediante el cálculo se puede apreciar en las figuras 43 y 44.

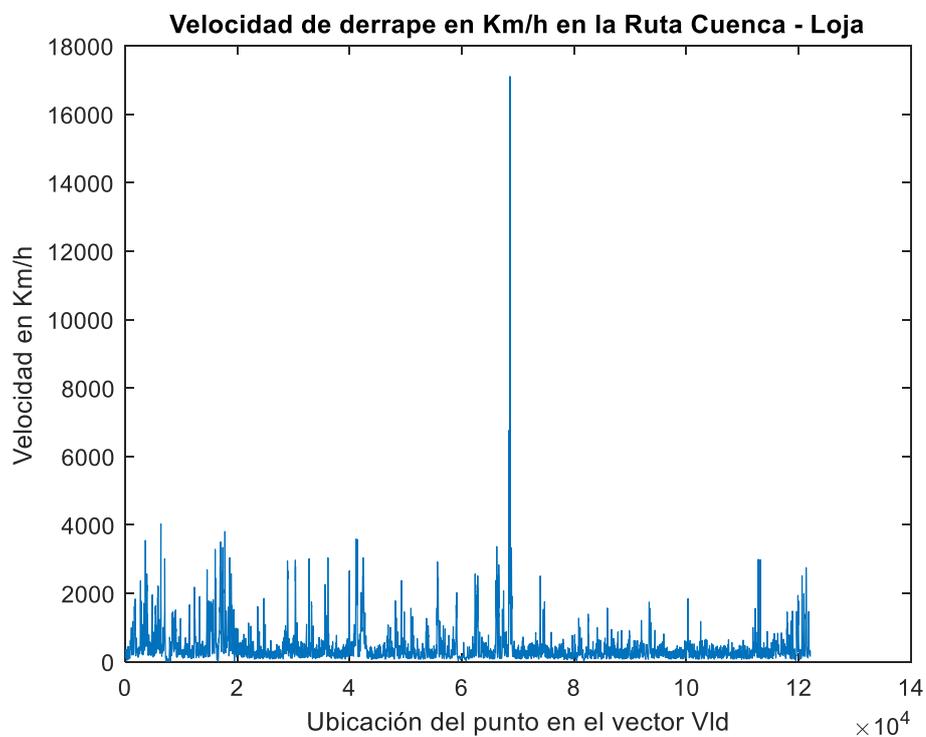


Figura 43: Velocidades de derrape en km/h a lo Largo de la ruta Cuenca - Loja. **Fuente:** Autores.

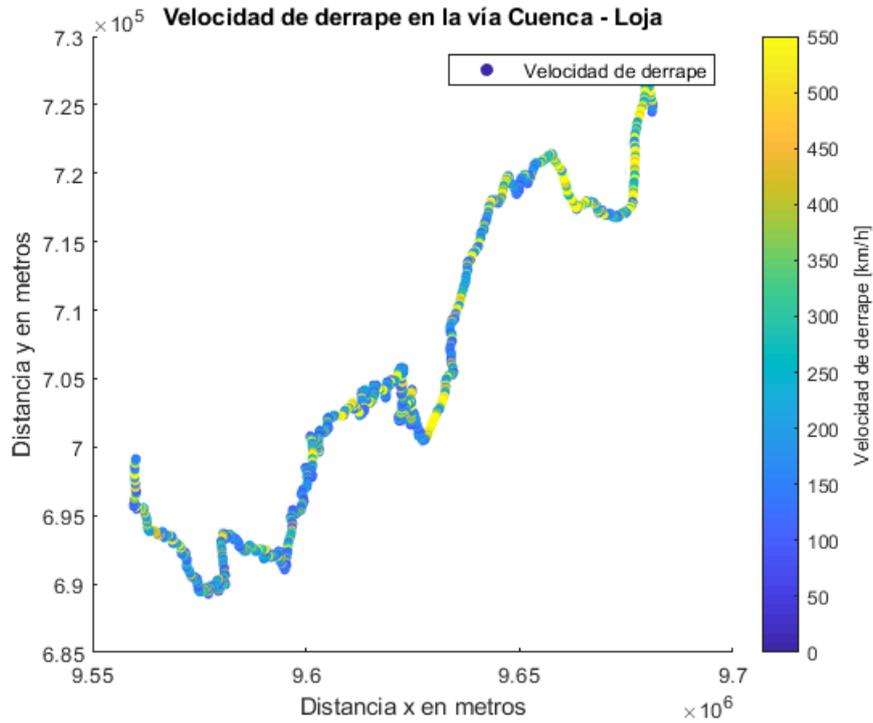


Figura 44: Vector velocidad de derrape en km/h sobrepuesto a lo largo de toda la ruta. **Fuente:** Autores.

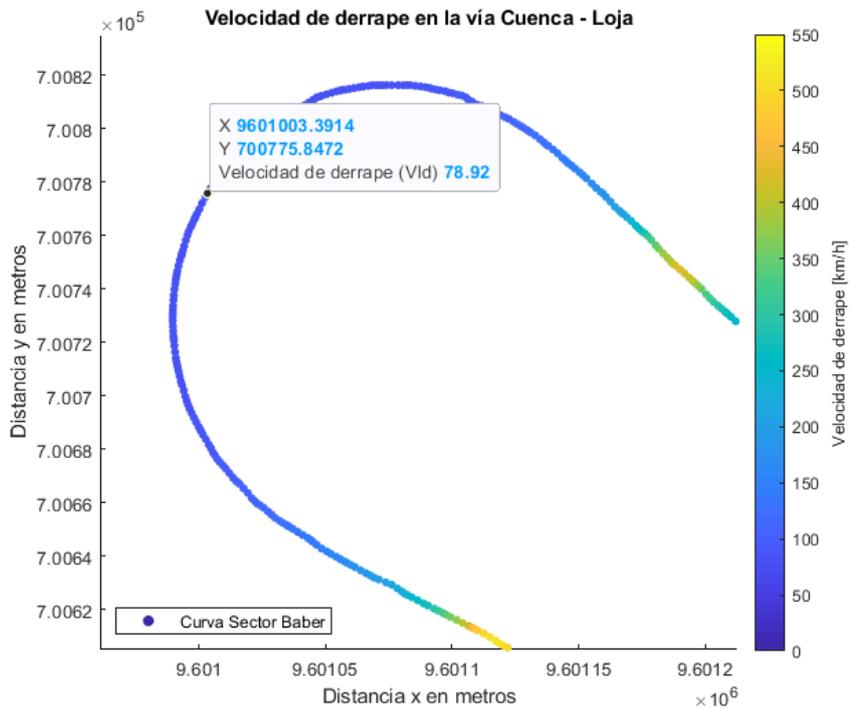


Figura 45: Parte específica de la ruta en el sector Baber – Urdaneta, se muestra según la gama de colores el dato de la velocidad de derrape. **Fuente:** Autores.

Las velocidades que muestran las figuras 43 y 44, están representadas en km/h , la barra de colores representa los valores de velocidad entre: 0 y $550km/h$ que son datos calculados por el algoritmo. Todos los valores de velocidad se almacenarán en un vector denominado "Vld" que

tendrá una cantidad de 122083 datos. Una parte específica de la ruta se puede mostrar en la figura 45 en donde se tiene un cálculo que el algoritmo realiza para determinar la velocidad a la cual el vehículo debe ingresar a la curva, para conocer esta velocidad se tiene que consultar el vector "Vld" en el punto que se desee en Matlab®, siendo para este caso en el "Sector Baber – Urdaneta" la velocidad de derrape calculada para tomar la curva de 78,92km/h. Si se toma la curva con una velocidad cercana, igual o mayor a la indicada se tendrá una probabilidad alta de sufrir un derrape y/o accidente.

7.5.2. Cálculo aproximado de la velocidad de vuelco de la unidad de transporte.

Para efectuar este cálculo se toma en consideración la variable "B" que es el valor de la vía del autobús, será un valor tomado directamente de la Norma INEN 1668, para la altura del centro de gravedad del bus "h" se tomará el valor calculado de 1.462m según (Arroba Arroba C. , 2013), las demás incógnitas son variables conocidas de cálculos anteriores. La ecuación 10 ayuda a calcular la velocidad límite de vuelco:

$$V_w = \sqrt{g \cdot r \cdot \frac{\frac{B}{2h} + tg\zeta}{1 - \frac{B}{2h} * tg\zeta}}$$

El cálculo en Matlab® responde a las variables:

g = gravedad.

r = radio.

B = valor de la vía del vehículo en metros.

h = altura del centro de gravedad del vehículo.

$tg\zeta$ = tangente del peralte de la vía en grados.

El resultado que se obtiene mediante el cálculo se puede apreciar en las figuras 46 y 47.

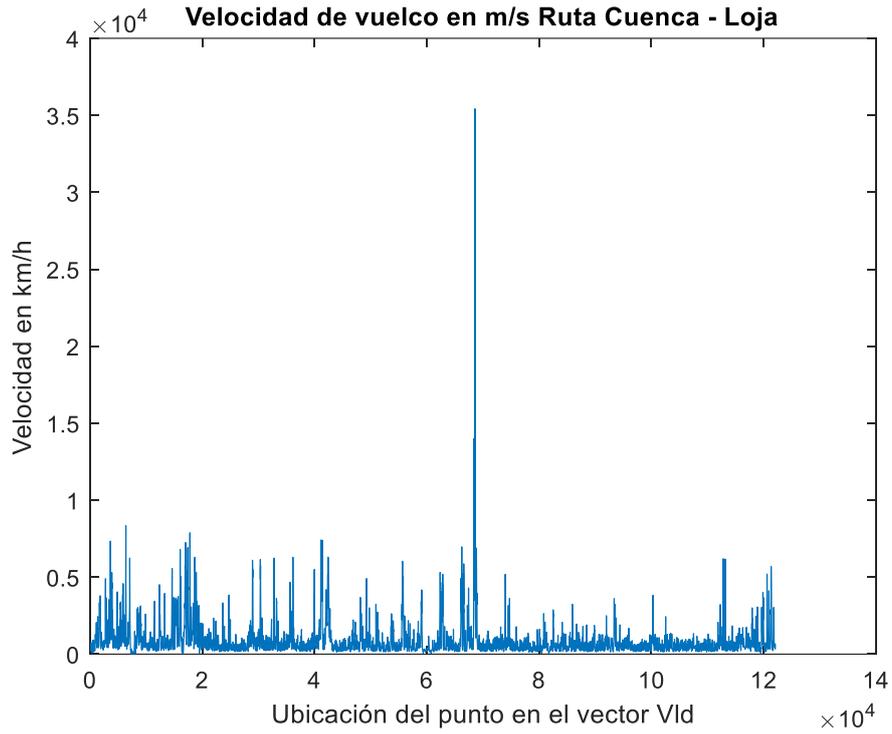


Figura 46: Velocidades de vuelco a lo largo de la ruta Cuenca - Loja. **Fuente:** Autores.

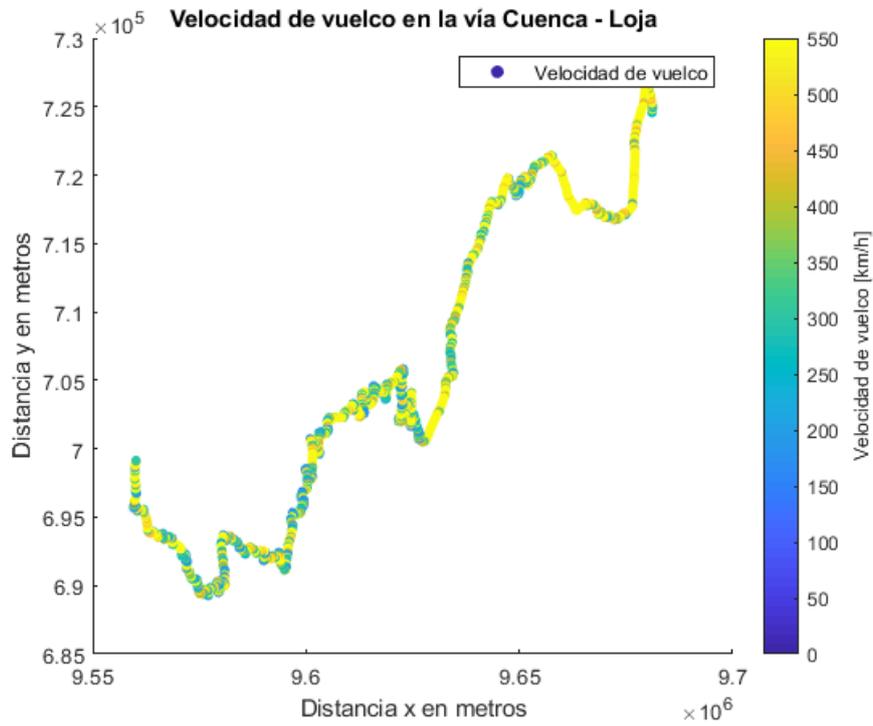


Figura 47: Vector velocidad de vuelco sobrepuesto a lo largo de toda la ruta. **Fuente:** Autores.

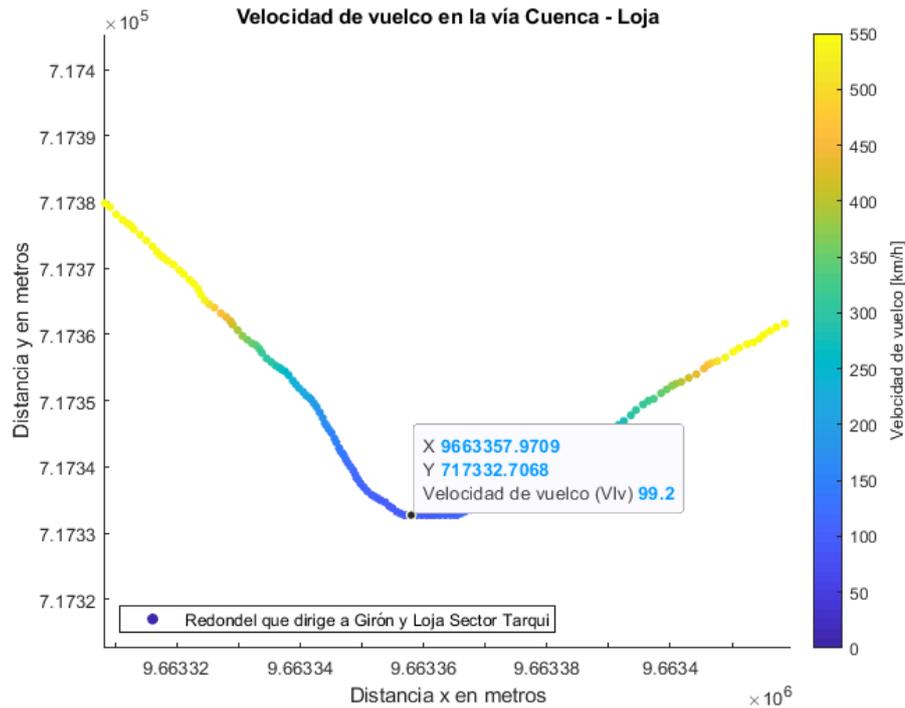


Figura 48: Parte específica de la ruta en el redondel que dirige a Girón y Loja Sector Tarqui para mostrar el dato de la velocidad de vuelco. **Fuente:** Autores

Las velocidades que se presentan en las figuras 46 y 47 están representadas en km/h y al igual que el cálculo anterior, la barra de colores representa la velocidad de vuelco en cada punto de la ruta. De la misma manera el cálculo de esta velocidad se almacena en un vector denominado "Vlv" que tendrá una extensión de 122083 datos.

La figura 48 muestra un sector específico a lo largo de la ruta siendo este el "Redondel que dirige a Girón y Loja en el Sector Tarqui", aquí el algoritmo realiza un cálculo que determina la velocidad a la cual el conductor no debe circular. Para conocer esta velocidad se tiene que consultar el vector "Vlv" en el punto que se desee en Matlab®, para este ejemplo la velocidad de vuelco calculada es de $99,20km/h$ y con este dato se puede afirmar que, si se circula con el vehículo a una velocidad cercana, igual o mayor a la calculada el vehículo va a sufrir un accidente.

7.6. Cálculo para encontrar la distancia de frenado.

La distancia que el vehículo recorrerá cuando se lleve a cabo la frenada será desde el momento que se acciona el pedal del freno hasta que el automotor se detenga completamente, este evento dependerá de algunos factores tales como:

- El estado de los neumáticos.
- La velocidad a la cual el vehículo se encuentra circulando.

- Las condiciones climáticas.
- El estado de la carretera por la cual circula.

La ecuación 14 se utiliza para realizar este cálculo:

$$S_p = \frac{P \cdot \gamma_f}{2 \cdot C \cdot g} \cdot \ln \left[1 + \frac{C \cdot V_1^2}{F_f + P \cdot \sin \theta + P \cdot f_r} \right]$$

El cálculo en Matlab® responde a las variables:

P = peso del vehículo.

γ_f = coeficiente de masas rotativas.

C = Coeficiente de resistencia

cx = coeficiente de resistencia aerodinámica al avance.

Af = área frontal del vehículo.

V_1^2 = valor de la velocidad del vehículo en m/s

F_f = fuerza de rozamiento.

f_r = coeficiente de resistencia a la rodadura.

g = gravedad.

Los valores que se colocan en la ecuación para que Matlab® calcule son: el valor del peso que es tomado de la matrícula y manual técnico del vehículo categoría M3 (*chasis + carrocería + pasajeros + carga* = 15743.56kg), el coeficiente de masas rotativas para el bus $\gamma = 1.05$, el coeficiente de resistencia aerodinámica $cx = 0.863$ (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 1995), el área frontal del autobús es $Af = 9.88m^2$ (MovilBus, 2018), el coeficiente C de resistencia se obtiene del cálculo $C = \frac{1}{2} * cx * Af$ con las variables que ya se conocen, la velocidad V_1^2 toma los valores del vector de la velocidad del conductor $VSS1$ y se los transforma a m/s , para la fuerza de rozamiento F_f el cálculo es $F_f = \mu \cdot P$, el coeficiente de resistencia a la rodadura se calcula con la siguiente fórmula: $f_r = 0.015 + 0.01 \cdot \left(\frac{v_{ld}}{100}\right)^{2.5}$, donde la $VSS1$ está expresada en km/h según (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 1995). Obtenidas todas las variables, Matlab® realiza el cálculo y se obtienen los resultados de las distancias de frenado que se almacenan en el vector " S_p " con una cantidad de 122083 datos.

7.7. Clasificación de Zonas Urbanas y Rurales en la ruta Cuenca - Loja.

A lo largo de la ruta Cuenca – Loja se puede evidenciar que existen zonas urbanas y rurales, por lo tanto, es necesario identificar estos tramos. La manera más sencilla para ubicarlos es en base a lo que dictamina la (ONU HABITAT, 2021) que define a una zona si es urbana o rural, esto lo realiza al tomar en consideración la densidad poblacional definiendo así que una zona mayor a 2000 habitantes es considerada una zona urbana y si el número de población es inferior al indicado es una zona rural. Una vez entendido el concepto se tiene que tomar en consideración al vector x_{11} & y_{11} , luego ubicar las coordenadas en Google Earth Pro y así poder establecer las zonas. La identificación se la realiza creando un nuevo vector a lo largo de toda la ruta que contenga los siguientes valores, tabla 6.

Tabla 6: Identificación de zonas urbanas y rurales. **Fuente:** Autores.

Zona	Identificador
Urbana	0
Rural	1

El vector creado tiene el nombre de "Zonas" y consta de 122083 datos, la figura 49 indica como este vector está sobrepuesto en la ruta y los valores de cero y uno que identifican a cada zona.

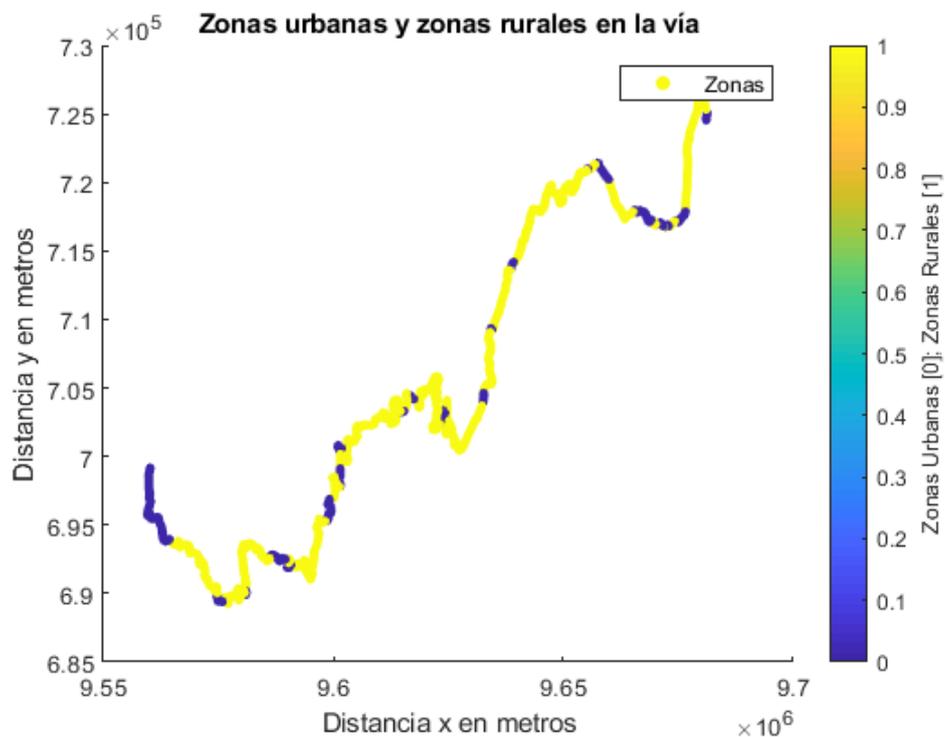


Figura 49: Clasificación de las zonas urbanas y rurales a lo largo de la ruta. **Fuente:** Autores.

Lo que la figura anterior indica es la clasificación que se realiza a las zonas urbanas y rurales, el color azul representa la zona urbana “0” mientras que el color amarillo será la zona rural “1”.

7.7.1. Identificación en la ruta de rectas, curvas medias y curvas peligrosas.

En cálculos anteriores el vector "*radio*" ayudó a obtener los radios de curvatura a lo largo de la ruta, seguidamente lo que se tiene que realizar es clasificarlos y para esto se realiza un nuevo vector que contenga las siguientes características, la tabla 7 brinda más detalles:

Tabla 7: Tipos de curvas alrededor de la ruta. **Fuente:** Autores.

Tipo de Curva	Radios	Identificador
Rectas	>200m	0
Curvas medias	>95m y <199m	1
Curvas peligrosas	<94m	2

El nuevo vector tiene el nombre de "*rcmcp*", aquí se puede identificar cada tipo de curva en el vector tomando en consideración su identificación de: 0, 1 o 2. Las figuras 50 y 51 muestran la clasificación del vector en la ruta.

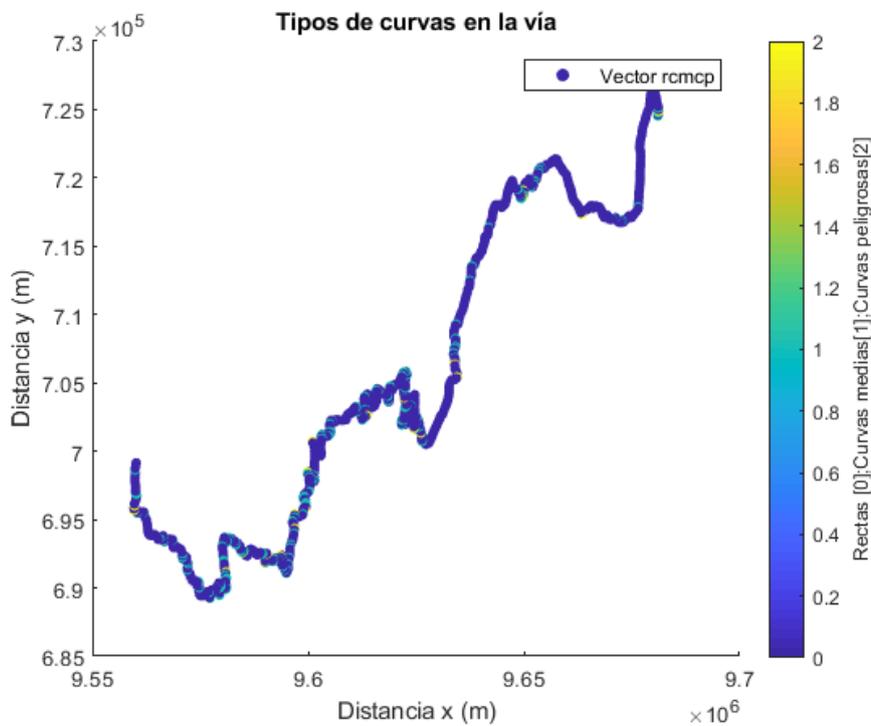


Figura 50: Clasificación de: rectas, curvas medias y curvas peligrosas a lo largo de la ruta. **Fuente:** Autores.

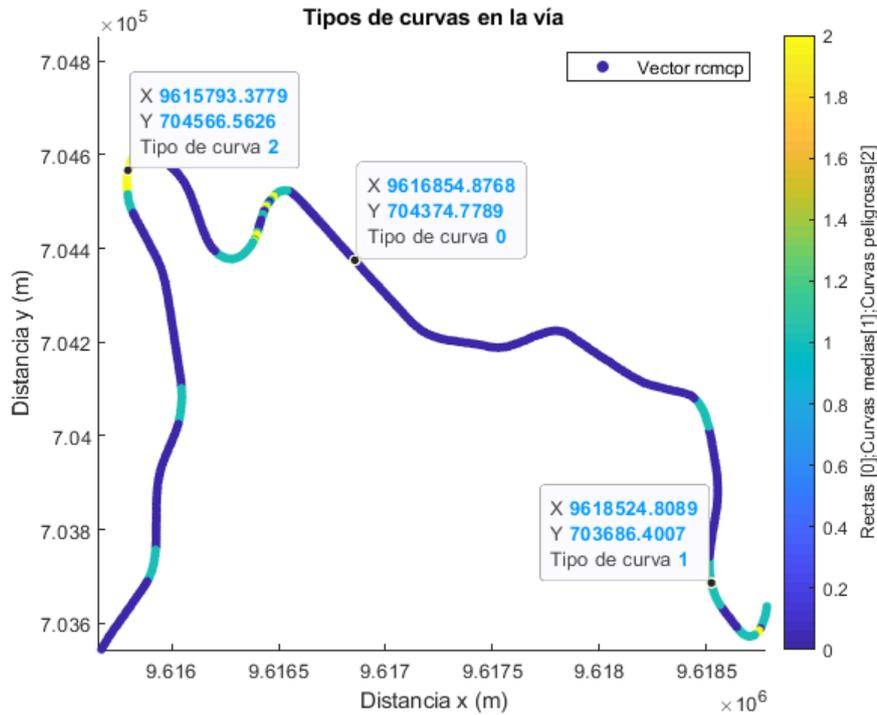


Figura 51: Parte específica de la vía donde se muestra la clasificación de la categoría de las curvas. **Fuente:** Autores.

7.7.2. Clasificación de: rectas, curvas medias y curvas peligrosas en las zonas urbanas y rurales.

La categorización que se mostró en el apartado anterior ofrece una manera muy general de la clasificación de las curvas, lo que se requiere una vez obtenido el anterior análisis es que aquella clasificación sea identificada por zonas urbanas y rurales. Para esto se crea un nuevo vector que se denomina "v_{tc}" el cual va a almacenar los datos que identifican a los tipos de curvas en el área urbana y rural. La clasificación se puede apreciar en la tabla 8 que a continuación se muestra.

Tabla 8: Tipos de curvas en zonas urbanas y rurales. **Fuente:** Autores.

Tipo de curva zona urbana	Radios	Identificador
Rectas	>200m	0
Curvas medias	>95m y <199m	2
Curvas peligrosas	<94m	4
Tipo de curva zona rural	Radios	Identificador
Rectas	>200m	1

Curvas medias	>95m y <199m	3
Curvas peligrosas	<94m	5

Esta clasificación ayudará a realizar una comparación de lo que dictamina el RLTTTSV en su Art. 191 sobre los límites de velocidad para transporte público frente a lo que se calculó al obtener el vector "Vld". Para esta comparación el nuevo vector ayuda a realizar una nueva programación que facilita identificar los puntos peligrosos en donde el autobús podría exceder límites de velocidad. Las figuras 52 y 53 muestran como este nuevo vector clasifica a las curvas y rectas de la ruta en zonas urbanas y rurales.

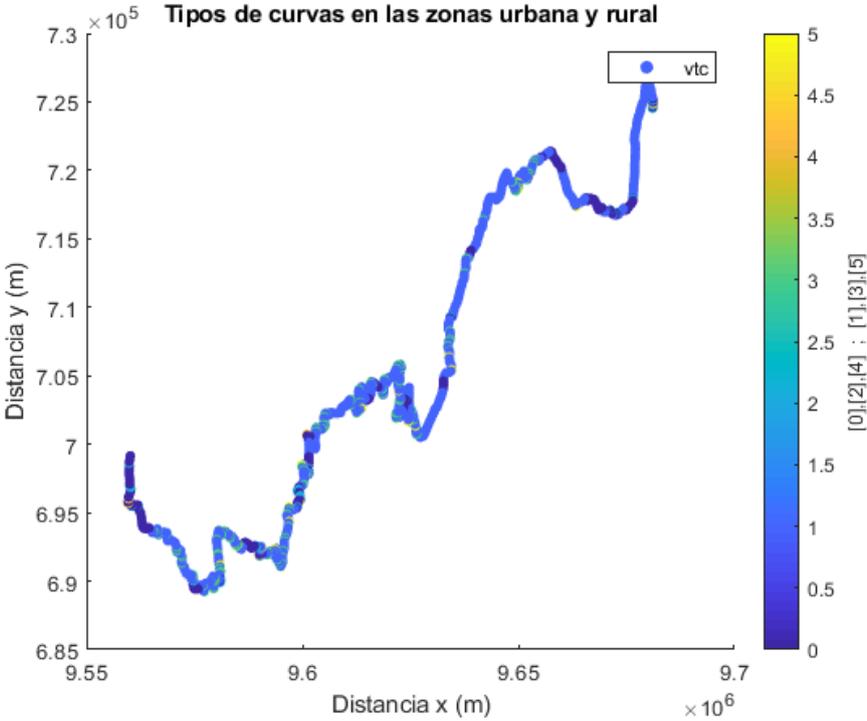


Figura 52: Clasificación de curvas y rectas de la ruta Cuenca - Loja en zonas urbanas y rurales. **Fuente:** Autores.

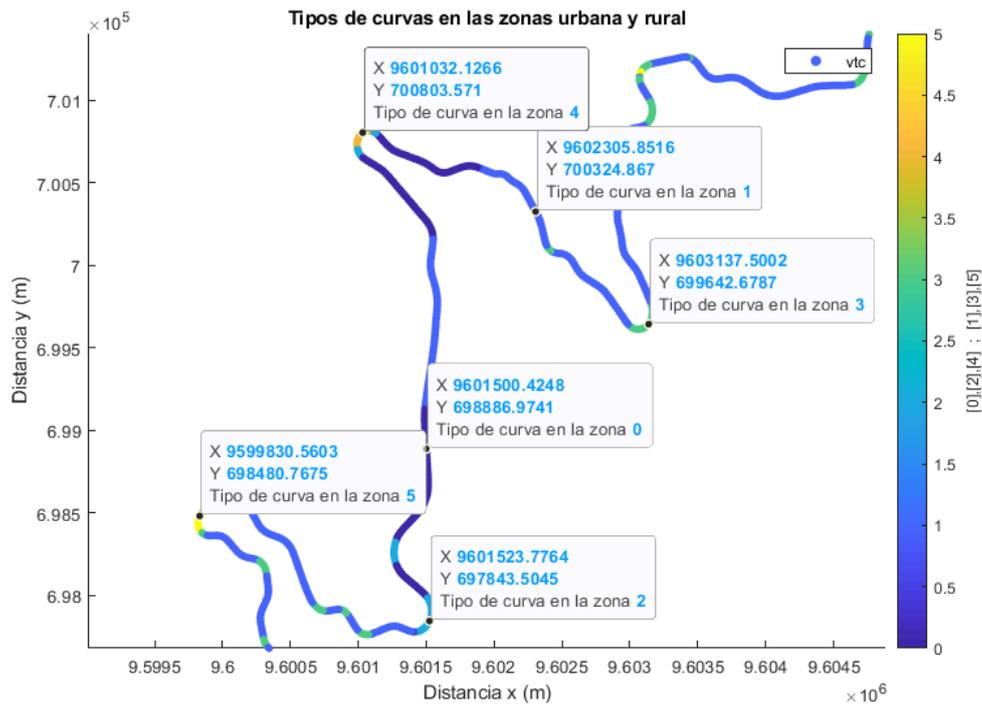


Figura 53: Parte específica de la vía donde se muestra la clasificación de las curvas en las zonas urbanas y rurales. **Fuente:** Autores.

8. RESULTADOS

En el artículo 191 del “RLTTTSV” los límites establecidos y los rangos moderados de circulación en las vías para los vehículos de transporte público (Tabla 4), permitirán realizar una programación para comparar el recorrido que realiza la unidad de transporte frente a lo que establece mencionado artículo. Los análisis de las velocidades de circulación de la unidad de transporte y lo que el algoritmo calcula servirán de ayuda para encontrar los sitios de mayor siniestralidad en la ruta Cuenca – Loja y conocer el comportamiento del conductor.

8.1. Velocidad limitada por las velocidades de vuelco, derrape y la ley.

En el cálculo de la “Velocidad límite de vuelco (Vlv)” y la “Velocidad límite de derrape (Vld)”, los valores que se obtienen como resultado en cada punto dependen mucho del radio de curvatura “radio” y del coeficiente de deslizamiento entre el neumático y el suelo “ μ ”. El resultado que tiene el vector “ Vlv ” en ciertos puntos son velocidades extremadamente altas y las unidades de transporte están limitadas a acercarse a estos valores. El resultado que tiene el vector “ Vld ” muestra que la velocidad en ciertos puntos de la ruta es mayor a lo que la unidad de transporte puede llegar a desarrollar. Para corregir esto se realiza una limitación a la velocidad de vuelco y derrape calculadas, tomando en consideración lo que dictamina el “RLTTTSV”. En la figura 54 y 55 se muestran los valores de velocidad de vuelco y derrape limitadas según lo que dictamina el reglamento.

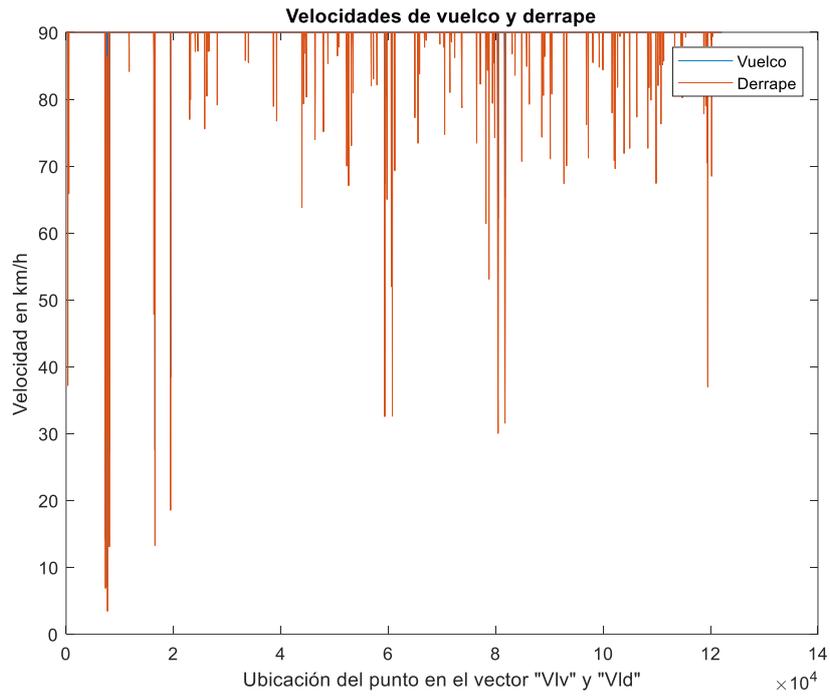


Figura 54: Velocidades de vuelco y derrape limitadas por lo dictamina el RLTTTSV. **Fuente:** Autores.

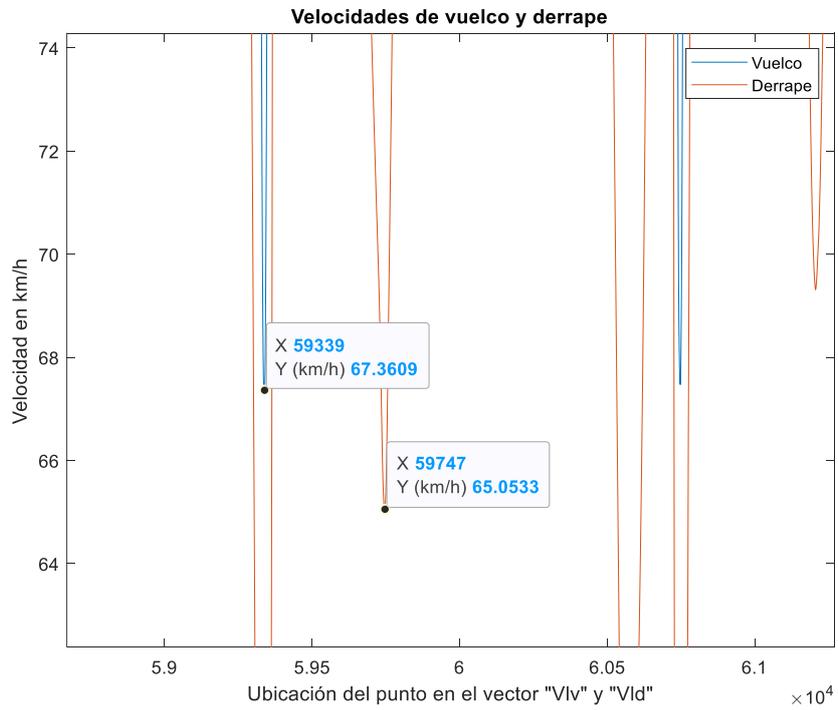


Figura 55: Velocidad de vuelco y derrape en un punto del recorrido. **Fuente:** Autores.

8.2. Comparación de la velocidad del conductor y la velocidad limitada para conocer las zonas de mayor siniestralidad.

Las velocidades que el conductor tiene al momento de circular a lo largo del trayecto Cuenca – Loja son evaluadas por el algoritmo y almacenadas en el vector denominado "VSS1". Este vector almacena todos los valores de velocidad en *km/h* que el conductor mantiene cuando circula. Esto sirve para clasificarlo y a su vez determinar cuándo es propenso a sufrir un accidente y cuando no. Para esto es necesario realizar una comparación entre el vector "VSS1" que muestra valores de velocidad que adopta el conductor y el vector "Vlc" el cual indica velocidades limitadas calculadas con anterioridad. Al realizar la comparación entre ambos vectores, la figura 56 da a conocer los puntos donde el conductor sobrepasa los límites de velocidad máximos establecidos por la ley. En la figura 57 se muestra un sitio específico de la ruta en donde se evidencia que el conductor sobrepasa el límite de velocidad pasando a convertirse ese punto en una zona peligrosa de circulación.

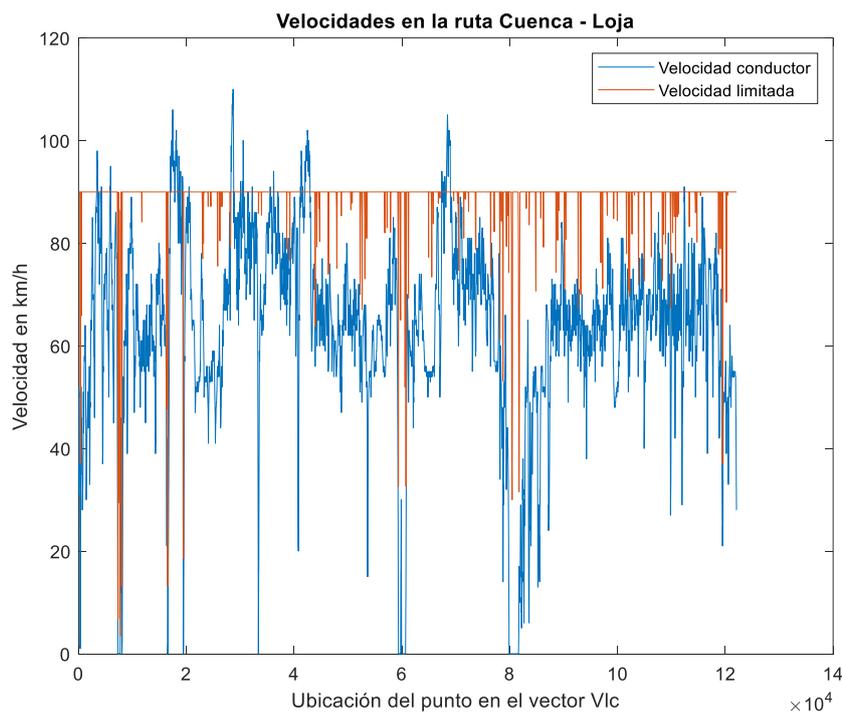


Figura 56: Comparación velocidad real del conductor "VSS1" y la velocidad limitada "Vlc". **Fuente:** Autores.

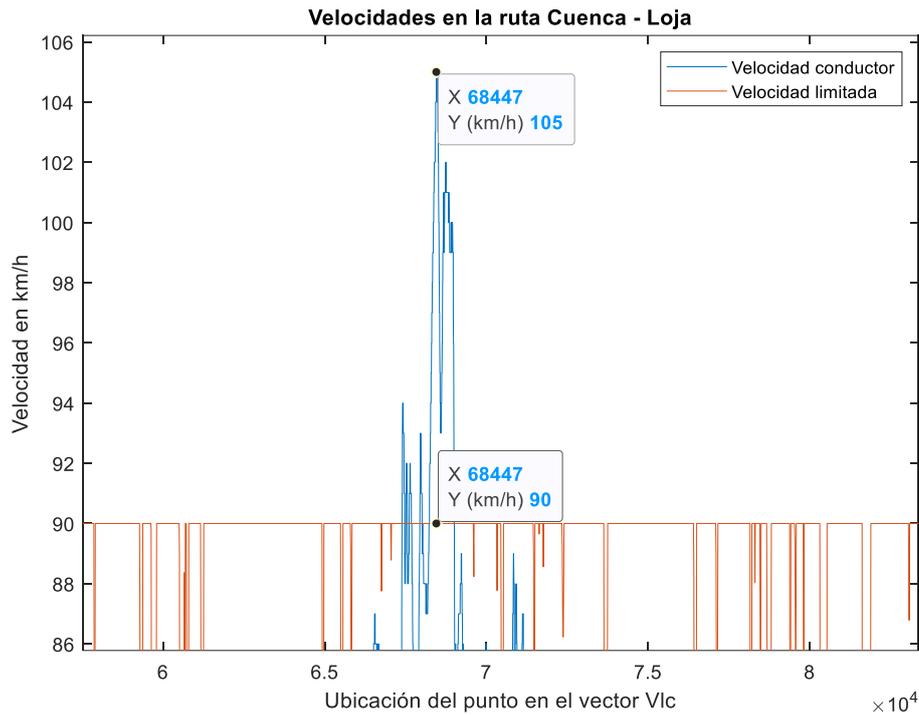


Figura 57: Sitio específico donde el conductor sobrepasa la velocidad limitada por la ley. **Fuente:** Autores.

Para resumir todas las zonas peligrosas que el algoritmo calcula, en la tabla 9 se da a conocer un listado de las mismas.

Tabla 9: Sitios peligrosos que determina el algoritmo. **Fuente:** Autores.

Sitios peligrosos	Velocidad que el algoritmo censa	Límite de velocidad
Autopista Cuenca	98km/h	60km/h
Tarqui	70km/h	40km/h
Victoria del Portete (Rancho San Pedro)	95km/h	40km/h
Cumbe	104km/h	60km/h
Gañadel	69km/h	50km/h
Parque Natural Silván	92km/h	90km/h
Sector La Hacienda Aventure	100km/h	90km/h
Sector entrada a Rañas	91/km/h	50km/h
Nabón	72km/h	50km/h
Sector Hacienda Turística San José	94km/h	90km/h
La playa (La Jarata)	76km/h	50km/h

La Paz (Rest. La Fonda)	98km/h	90km/h
Sector entrada Al Progreso	102km/h	90km/h
Mirador Susudel	57km/h	50km/h
Curva Barín (vía Los Pinos)	58km/h	50km/h
Curva antes puente “Rio León”	58km/h	40km/h
Estación de Servicio S. F. Oña	70km/h	50km/h
Recta Oña	73km/h	60km/h
Hacienda El Prado (Potrerillos)	94km/h	90km/h
Centro de Retiros Carboncillo	105km/h	90km/h
Entrada a San Antonio de Cumbe	75km/h	50km/h
Curva Quivil (Villa Carreña)	71km/h	50km/h
La Curva – Baber (Urdaneta)	60km/h	50km/h
Cochaloma (Urdaneta)	70km/h	50km/h
Curva 1 bajada a Pichig	57km/h	50km/h
Curva 2 bajada a Pichig	56km/h	50km/h
San Lucas	69km/h	40km/h
Entrada vía antigua a Loja (San Lucas)	69km/h	50km/h
Curva Quebrada Shimunga Santiago	60km/h	50km/h
Curva Quebrada Chacuyanta Santiago	66km/h	50km/h
Zenen Bajo	60km/h	50km/h
Cerro Zañe	91km/h	90km/h
Entrada a La Teneria	62km/h	50km/h
Carigán	77km/h	40km/h

8.3. Clasificación del conductor en la vía según la forma de conducir.

Para clasificar al conductor y poder tener una idea clara de cómo es el comportamiento en la vía, se diseña una tabla con un índice de seguridad que va a tener las siguientes características, tabla 10.

Tabla 10: Índice que muestra como está circulando el conductor a lo largo de la ruta. **Fuente:** Autores.

Índice	Comportamiento
0	Moderado

0.5	Medio
1	Agresivo
>1	Peligroso

El criterio emitido para la clasificación responde al cálculo que se realiza de la siguiente manera: se divide el vector "VSS1" para el vector "Vlc", la operación da como resultado un índice de valores entre: 0, 1 y valores mayores a 1. El nombre de este nuevo vector que indica el índice de seguridad es "iseg". La figura 58 muestra todo el recorrido evaluado según el criterio de la tabla 10, aquí se verán valores de: 0, 1 y valores >1.

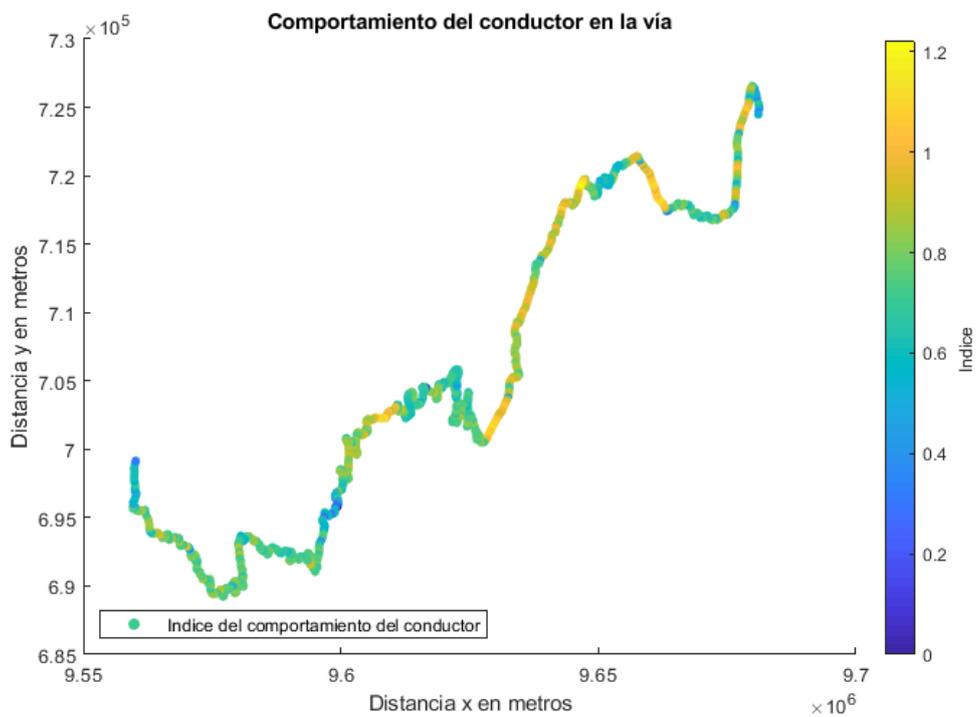


Figura 58: Comportamiento en la vía en base a la clasificación que se realiza al conductor. **Fuente:** Autores.

En la figura 59 se observa una parte específica de la ruta en donde se muestran los valores de la tabla 10. Claramente se puede notar que el conductor a lo largo de la ruta tiene comportamientos moderados, medios, agresivos y peligrosos. Esto a causa de múltiples factores, por ejemplo: estrés, somnolencia, fatiga, distracción, entre otros.

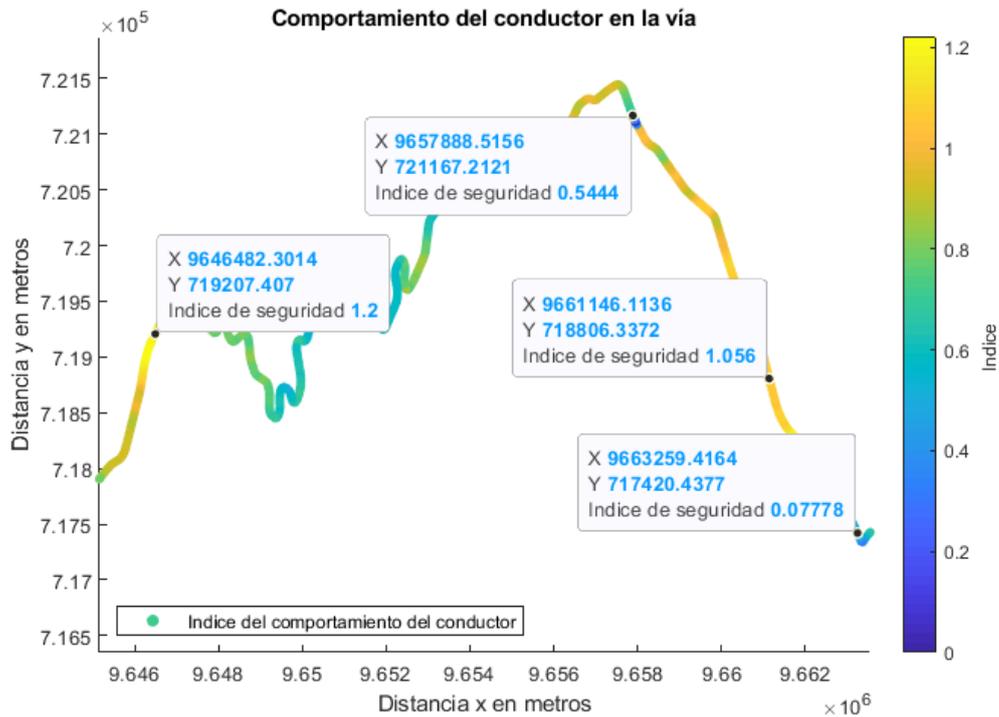


Figura 59: Comportamiento del conductor en el trayecto Cumbe - Nabón. **Fuente:** Autores.

8.4. Medidas de tendencia central aplicadas al conductor en la vía en base al índice de seguridad.

Las medidas de tendencia central que se usan para analizar al conductor son: media, mediana y moda, estas ayudan a resumir un conjunto de valores en uno solo. Se ha visto necesario realizar una comparación entre los resultados que dan las medidas de tendencia central frente al valor de tendencia que calcula el algoritmo. Para realizar esto se va a tomar en consideración dos tipos de conductores; para el primero el índice de seguridad es el vector "*iseg*" (figura 60) y para el segundo es "*iseg1*" (figura 61). Seguidamente se calcula toda el área bajo la curva de los índices de seguridad de cada conductor y se divide a cada uno para su extensión, el nombre de la tendencia del algoritmo para cada conductor será: "*Tendalgorit*" y "*Tendalgorit1*", con este cálculo el programa reduce la influencia de los valores atípicos generados cuando se utilizan las medidas de tendencia central.

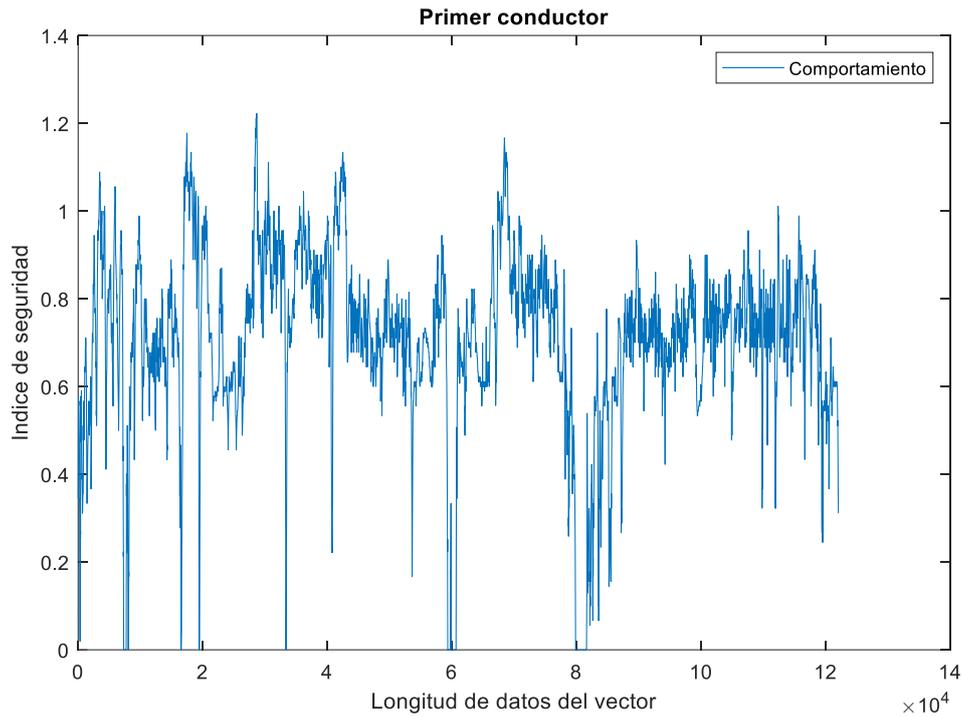


Figura 60: Curva del comportamiento del primer conductor. **Fuente:** Autores.

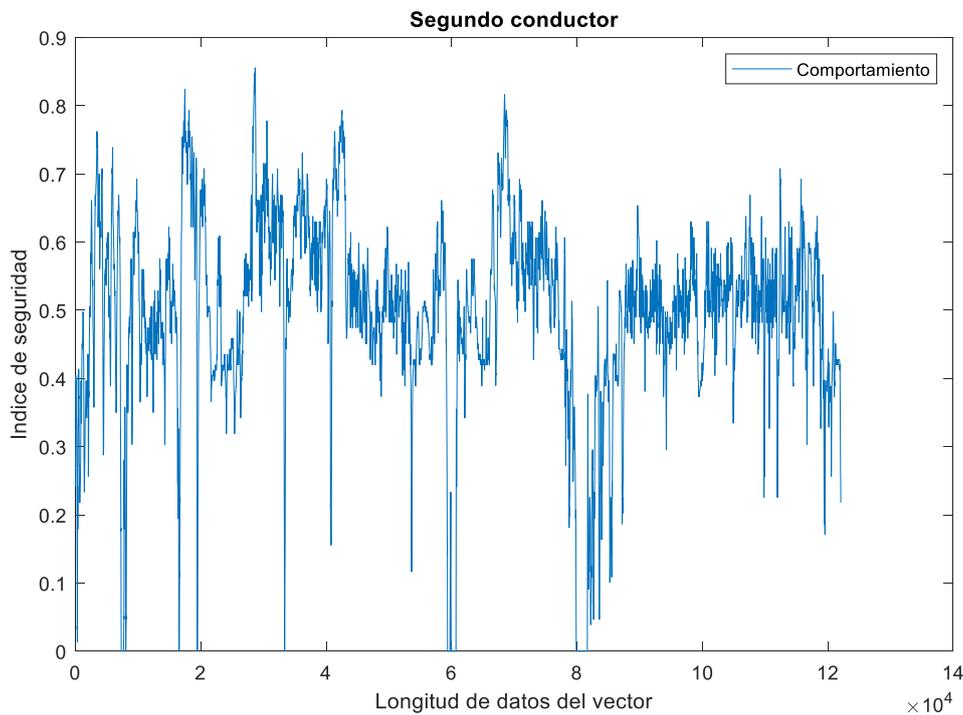


Figura 61: Curva del comportamiento del segundo conductor. **Fuente:** Autores.

En la tabla 11 se muestra la evaluación de los dos conductores y los valores adecuados de seguridad, tanto con la evaluación de tendencia realizada por el algoritmo y las medidas de

tendencia central. Se toma en consideración que mientras el valor calculado sea cercano a cero, más responsable es el conductor.

Tabla 11: Evaluación de los conductores. **Fuente:** Autores

Tendencia	Conductor 1	Conductor 2
Algoritmo	0.7087235	0.4961064
Media	0.7087262	0.4961083
Mediana	0.7333333	0.5133333
Moda	0.7111111	0.4977777

El comportamiento del primer conductor muestra que la tendencia de 0.7087235 es la adecuada para circular ya que en todo el recorrido este tiene una conducta más agresiva (figura 60). Para el caso del segundo conductor se tiene un valor de tendencia de 0.4961064 y muestra que este tiene un comportamiento más moderado (figura 61) siendo este valor el adecuado para circular a diferencia del primero. Con esto se deja por sentado que la tendencia que calcula el algoritmo es mucho mejor en comparación con los resultados de las medidas de tendencia central.

Otra manera para determinar el comportamiento del conductor de las unidades de transporte es mediante el análisis estadístico de la desviación estándar, permitiendo conocer que tan dispersos se encuentran los datos unos de otros. La tabla 12 muestra el análisis para los dos conductores.

Tabla 12: Desviación estándar para los dos conductores. **Fuente:** Autores.

Conductor	Valor desviación estándar
1	0.2073581
2	0.1451507

Con el cálculo de la tabla anterior se obtiene como resultado que el primer conductor tiene un comportamiento más variable, es decir, cuando este se encuentra circulando a velocidades bajas tiende a cambiar agresivamente a velocidades altas generando una mala conducta en la vía. Para el segundo conductor se puede observar que el cambio de velocidades es más constante y su conducta es moderada quedando de lado la variación de las velocidades en comparación con el primer conductor.

9. CONCLUSIONES

- La Troncal de la Sierra E35 que conecta la ciudades de Cuenca y Loja en los últimos años ha formado parte de las estadísticas de accidentes de tránsito. Desde el año 2015 hasta el 2019 se ha obtenido información trágica que ha enlutado a familias a causa de las impericias de los conductores de transporte público. Aunque se haya pretendido disminuir el riesgo de sufrir eventos mortales o a su vez lesiones graves cuando se circule por la ruta, los mismos aún siguen presentes. El presente estudio demuestra que se puede evitar que ocurran siniestros de tránsito y esto se realiza evaluando al conductor mediante un algoritmo que analice su comportamiento. Los cálculos que se efectúan muestran que es posible tener un modo de conducción seguro a lo largo de toda la vía, tomando en consideración la seguridad del conductor y pasajeros.
- Para una adecuada circulación de los medios de transporte en las áreas urbanas que atraviesa la Troncal de la Sierra E35, el “RLTTTSV” establece límites de velocidad que se deben respetar. Lamentablemente esto no se cumple por la imprudencia de los conductores, es por tal motivo que el algoritmo desarrollado analiza al conductor y a la unidad de transporte evaluando variables que ayudan a determinar comportamientos, por ejemplo; la velocidad del autobús en cualquier punto de la ruta. En la parroquia Cumbe de Cuenca la velocidad que el algoritmo censa en la unidad de transporte es mayor a los 90km/h. Al comparar el valor calculado con los límites de velocidad máximos establecidos para sectores urbanos (50km/h), se muestra que la velocidad de la unidad de transporte supera el límite máximo e incluso el rango moderado, representando un peligro para los usuarios. Las zonas que la programación considera peligrosas son: Autopista Cuenca, Tarqui, Cumbe, entrada a Nabón, sector Parque Natural Silván, sector la Hacienda Aventure, La Paz (Restaurant La Fonda), sector entrada al Progreso, Estación de Servicios S. F. Oña, recta Oña, Hacienda el Prado (Potrerillos), sector Centro de Retiros Carboncillo, San Lucas, entrada a la vía antigua a Loja (San Lucas), Carigán.
- A lo largo de la ruta se evidencia múltiples radios de curvatura que ayudan a establecer una velocidad adecuada de circulación en curva mediante un cálculo a través del algoritmo. De acuerdo con ello se determina qué hay sectores peligrosos en donde existe una alta probabilidad de sufrir un accidente. Uno de estos es Gañadel, aquí la unidad de transporte ingresa a la curva con una velocidad de 69km/h, valor superior al límite máximo establecido en el “RLTTTSV” (curvas en carretera 50km/h), siendo notable el

irrespeto a lo que dispone el reglamento. Es por eso que la impericia del conductor es el factor principal para que ocurran accidentes de tránsito. Otros sitios que la programación evaluó y consideró curvas peligrosas son: curva de Gañadel, curva sector La Playa, mirador Susudel, curva Barín (vía Los Pinos), curva antes del puente “Rio León”, curva en la entrada a San Antonio de Cumbe, curva Quivil (Villa Carreña), curva Baber – Urdaneta, curva Cochaloma, curva 1 bajada a Pichig, curva 2 bajada a Pichig, curva Quebrada Shimunga Santiago, curva Quebrada Chacuyanta Santiago, curva Zenen Bajo, curva entrada a la Teneria.

- La vía Cuenca – Loja está ubicada en su mayoría en áreas montañosas por lo que las pendientes están presentes a lo largo del trayecto, este factor influye en las velocidades que las unidades de transporte adoptan. Las velocidades de circulación por todo el recorrido son reguladas por los límites de velocidad, pero al no existir ningún control en el trayecto y al tener poca señalética le permiten al conductor direccionar la unidad de transporte a discreción. El cálculo del algoritmo da como resultado que existen zonas en las cuales el autobús al descender la pendiente supera la velocidad que establece el “RLTTTSV”. Uno de los lugares más críticos es la bajada con pendiente pronunciada con dirección a Oña 80m antes del “Puente Rio León”, en donde la velocidad a la cual se debe circular antes de entrar a la curva y el puente es de 50km/h según el límite establecido, sin embargo, el bus ingresa con una velocidad mayor a los 59 km/h con posibilidades de sufrir un accidente ya que la bajada se combina con una curva cerrada y no hay reductores de velocidad antes del puente. Otro de los sectores riesgosos en donde la pendiente se la combina con una curva es la bajada con dirección a Urdaneta, sector Baber – La Curva, aquí de la misma manera los límites de velocidad son excedidos por el autobús generando riesgo. La bajada con dirección a San Lucas es otro punto crítico que se debe considerar ya que hay más de 4km de descenso pronunciado en donde el autobús excede los límites establecidos. Todos los análisis realizados en la ruta dan a conocer qué; se pueden evitar los accidentes siempre y cuando se tome en consideración la prudencia y el respeto a las leyes de tránsito, también se tienen que realizar controles en los puntos detallados y señalizarlos adecuadamente para una correcta circulación.
- Las medidas de tendencia central permiten conocer como es el comportamiento del conductor de la unidad de transporte. Con el análisis que se realiza a cada conductor se muestra que es posible mantenerse con una conducción segura sin tener riesgos de sufrir accidentes de tránsito. Mediante la media, mediana, moda y la tendencia creada en el

cálculo se brinda una guía para que las personas que están frente a las unidades de transporte puedan ser más responsables cuando circulen por la vía.

10. RECOMENDACIONES

- Si se desea realizar un nuevo estudio en cualquier vía del país con cualquier tipo de vehículo que dictamina la categoría de la NTE INEN 2656, es fundamental tomar en consideración que el dispositivo Freematics ONE+ cuenta con un GPS y un margen de error de $\pm 2m$, y que durante el trayecto no se debe realizar paradas ya que el GPS toma los datos del más mínimo movimiento y se sobrepondrán al estar estáticos generando errores de ubicación.
- Es recomendable que al conectar el dispositivo Freematics ONE+ a la unidad de transporte no se apague al automotor y se siga la ruta trazada, ya que si se hace lo contrario se pueden generar problemas en la creación de los archivos .CSV y la información levantada será errónea.
- Se debe tener conocimientos del manejo de coordenadas geográficas y coordenadas métricas esto para poder ubicar los puntos a lo largo de la ruta que se esté evaluando, además saber utilizar programas como: Google Earth Pro, AutoCAD y Matlab®. Esto permitirá mantener un dominio a la hora de realizar cualquier análisis relacionado.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Chong, M., Abraham, A., & Paprzycki, M. (20 de diciembre de 2004). Traffic Accident Analysis Using Machine Learning Paradigms.
- Hébert, A., Guédon, T., Glatard, T., & Jaumard, B. (11 de noviembre de 2019). High-Resolution Road Vehicle Collision Prediction for the City of Montreal. Montreal, Canadá.
- Adarme Jaimes, M. A., Heredia Vizcanio, D., & Puerto Cuadros, E. G. (2016). Detección de modos de transporte usando datos GPS. *Cuaderno Activa*, 13-29.
- ANT, A. N. (diciembre de 2019). Tabulaciones del reporte nacional de siniestros de tránsito, diciembre 2019. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Aparicio Izquierdo, F., Vera Alvarez, C., & Díaz López, V. (diciembre de 1995). Teoría de los vehículos automóviles. Madrid, España.
- Arroba Arroba, C. (2013). Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia. Ambato, Tungurahua, Ecuador.
- Arroba Arroba, C. (2013). Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia. Ambato, Tungurahua, Ecuador.
- Bodas, D. D. (2017). Curvatura estimada en curvas discretas. Brasil.
- Cabrera Erazo, M. F., & Rocano Tenezaca, D. (05 de junio de 2012). Propuesta Técnica para la disminución de los accidentes de tránsito dentro del cantón Cuenca desde el punto de vista humano. vehículo. equipamiento ambiental. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Cazar, N. (2018). Diseño Geométrico de Vías. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Congacha, A. E., Brito, J. B., Pacheco, L. P., & Delgado, J. (10 de diciembre de 2019). Caracterización de los siniestros viales en el Ecuador. Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- Conlago, C., Yunda, J., Aldás, M., & Flores, C. (25 de Mayo de 2018). Implementación de un algoritmo para la detección de señales de tránsito del Ecuador: Pare, Ceda el paso y

- Velocidad. *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*(20).
doi:<https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.01>
- da Silveira Barreto, C. A., Canuto, A. M., João C. , X. J., & Silva, I. (06 de diciembre de 2018).
A Machine Learning Approach Based on Automotive Engine Data Clustering for Driver
Usage Profiling Classification - Accepted for publication.
- El Comercio. (octubre de 2018). *Ecuador Today*. Obtenido de ecuadortoday.media:
<https://ecuadortoday.media/2018/09/25/el-indice-de-accidentes-de-transito-es-alarmando-en-ecuador/>
- Freematics. (18 de 03 de 2021). *www.freematics.com*. Obtenido de 2021
- Gilabert Pérez, A. (s.f.). Utilización de OpenStreetMap en el cálculo de coberturas mediante un
trazador de rayos. Cartagena, Murcia, España.
- GODOY, M. R. (abril de 2015). PREDICCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO
UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y CUCKOO SEARCH.
Valparaíso, Chile.
- González Argudo, J. F., & Ordóñez Ruilova, J. A. (abril de 2014). Estudio de los factores que
intervienen en los accidentes e infracciones de tránsito ocasionados por los buses de
transporte público de pasajeros tipo urbano en la ciudad de Cuenca y planteamiento de
la propuesta para disminuirlos. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Google Earth. (21 de 02 de 2021). *Google Earth*.
- Guambaña, J. (26 de agosto de 2020). *El Universo*. Obtenido de El Universo:
<https://www.eluniverso.com/noticias/2020/08/26/nota/7956172/coe-azuay-autoriza-reactivacion-mas-rutas-interprovinciales>
- Hernández, J. A. (febrero de 2017). Comportamiento Dinámico de un autobús circulando en
curva. Leganés.
- INEN. (marzo de 2015). Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional,
Interprovincial e Intraprovincial. Requisitos. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Medina Dávalos, D. M., Medina Borja, M. D., & Escobar Suárez, C. A. (s.f.). *Accidentes de
tránsito Rescate in situ*. Quito: EDIMEC.

- MovilBus. (23 de marzo de 2018). *MovilBusBlogSpot*. Obtenido de <https://movilbus.blogspot.com/2018/03/ficha-tecnica-marcopolo-mp120.html>
- MTOP, M. (2013). Norma para Estudios y Diseños Viales. Volumen N°2 - Libro A. Quito, Pichincha, Ecuador.
- MTOP, M. d. (2013). Norma pra Estudios y Diseños Viales. Volumen N°2 - Libro A. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Muñoz Guzmán, T. (2007). *Cálculo de la Velocidad en la Investigación de Accidentes de Tráfico*. Barcelona: Bruguera S.A.
- ONU HABITAT. (15 de 03 de 2021). *Onu Habitat*. Obtenido de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/las-diferentes-definiciones-de-urbano-en-el-mundo>
- PDOT cantón Cuenca, M. d. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca. Cuenca.
- PDOT cantón Loja, M. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Loja*. Loja.
- Reglamento a Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial. (14 de noviembre de 2016).
- Reglamento a Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial. (14 de noviembre de 2016).
- Román Matamoros, D. X. (marzo de 2015). Integración de un programa de seguridad vial al modelo Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Stewart, J. (2012). *Cálculo de una Variable Trascendentes tempranas 7° edición*. Mexico: CENGAGE Learning.
- Swokowski, E. W., & Cole, J. A. (2009). *Álgebra y Trigonometría con Geometría Analítica. Décima Segunda Edición*. México: CENGAGE Learning.
- Systems, S. E. (15 de junio de 2018). *Safety Enforcement Systems Seguridad Vial*. Obtenido de [Safety Enforcement Systems Seguridad Vial: https://www.ses.com.ec/2018/06/15/clave-seguridad-vial-educacion-nocturna-2-2-2-2/](https://www.ses.com.ec/2018/06/15/clave-seguridad-vial-educacion-nocturna-2-2-2-2/)

ANEXOS

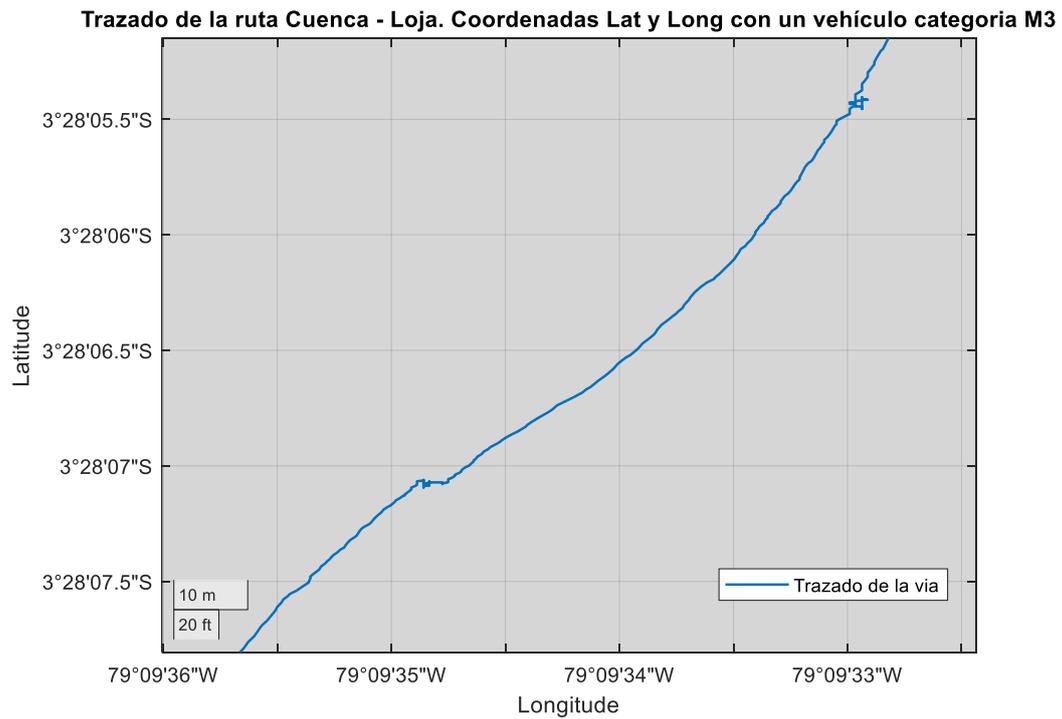


Figura 62: Error del GPS señal mal tomada en Oña (Sector La Florida) Coordenadas Geográficas. **Fuente:** Autores.

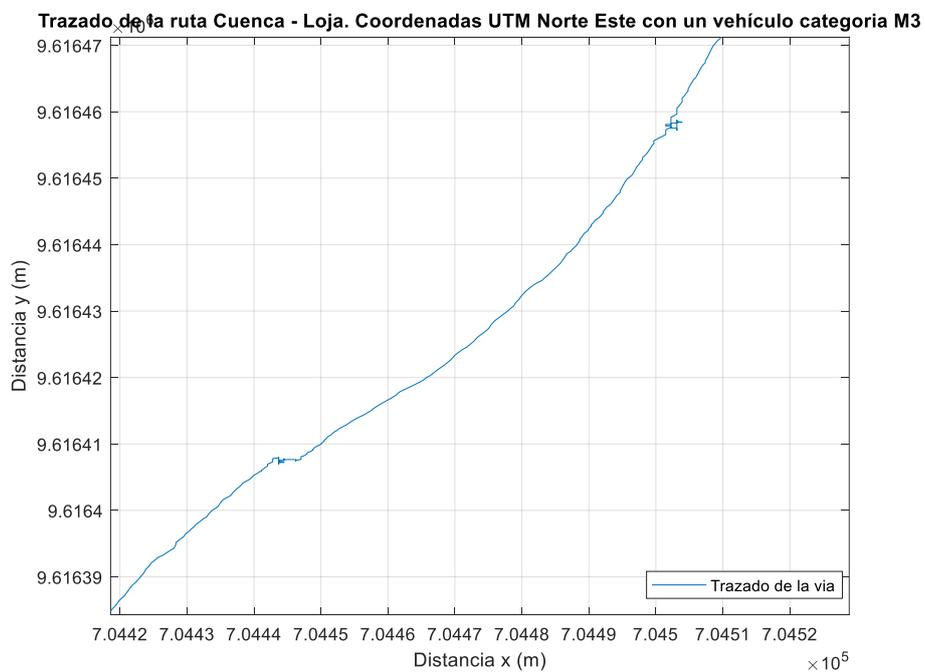


Figura 63: Error del GPS señal mal tomada en Oña (Sector La Florida) Coordenadas UTM. **Fuente:** Autores.

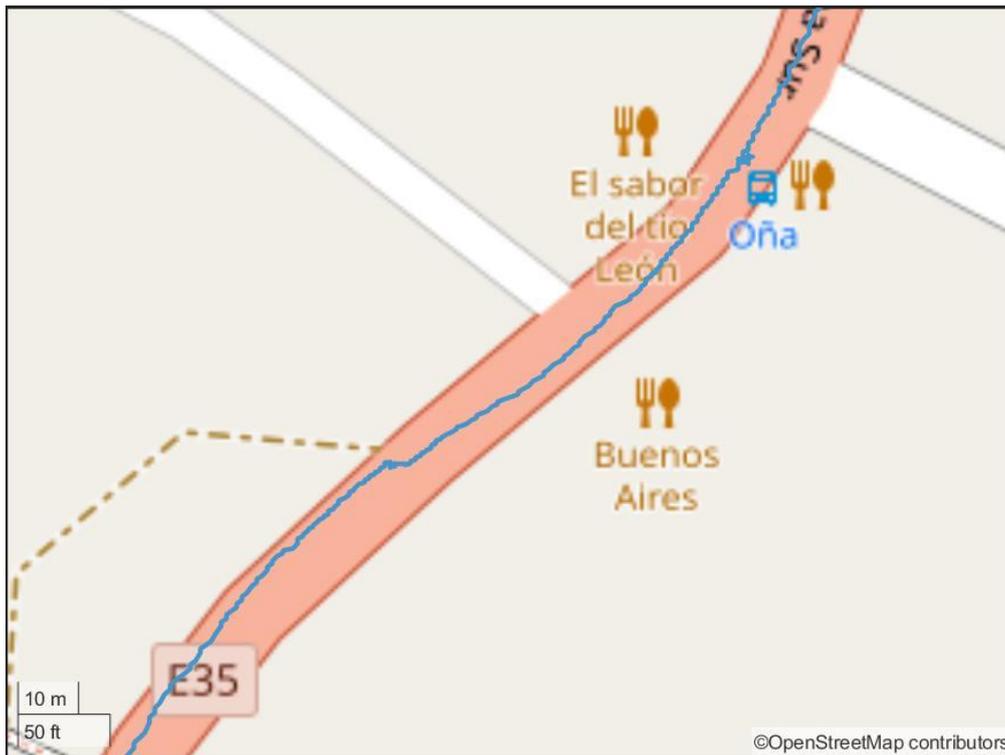


Figura 64: Ubicación del error del GPS “Oña” en Open Street Map. **Fuente:** ©Open Street Map

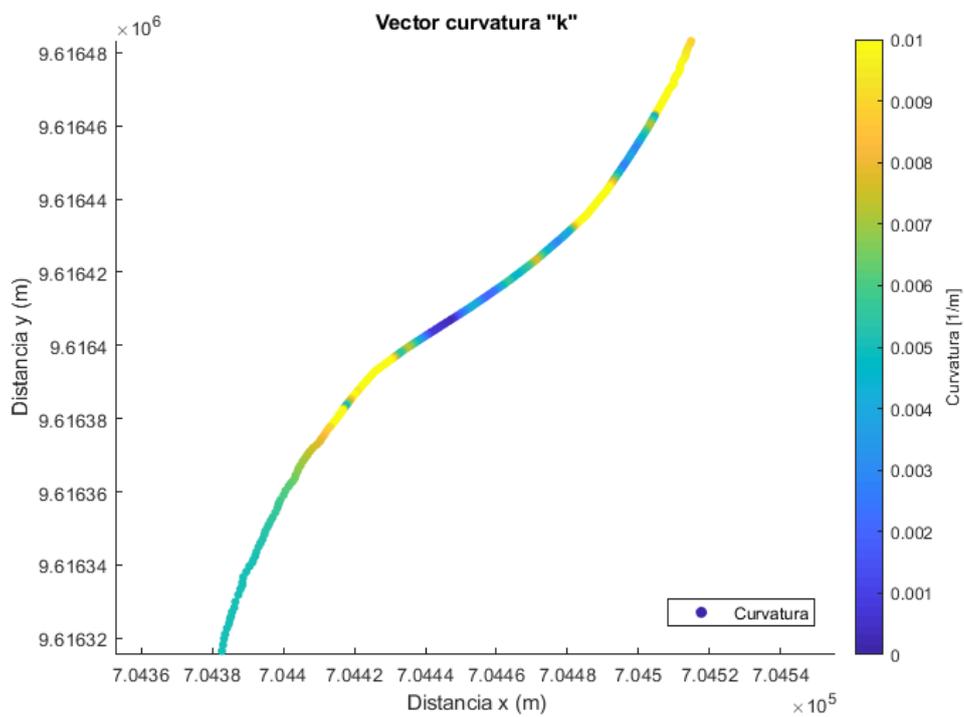


Figura 65: Error corregido a causa de la señal GPS mal tomada en Oña (Sector La Florida) Coordenadas UTM. **Fuente:** Autores.

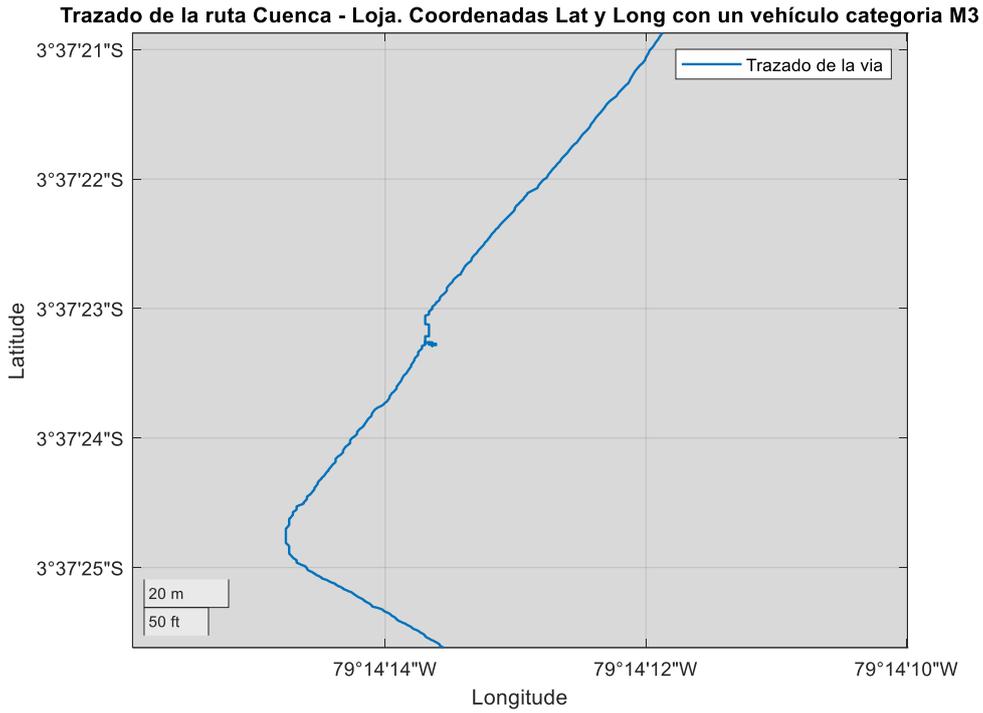


Figura 66: Error del GPS señal mal tomada en el sector Saraguro (Calle Azuay y Calle 10 de Marzo) Coordenadas Geográficas. **Fuente:** Autores.

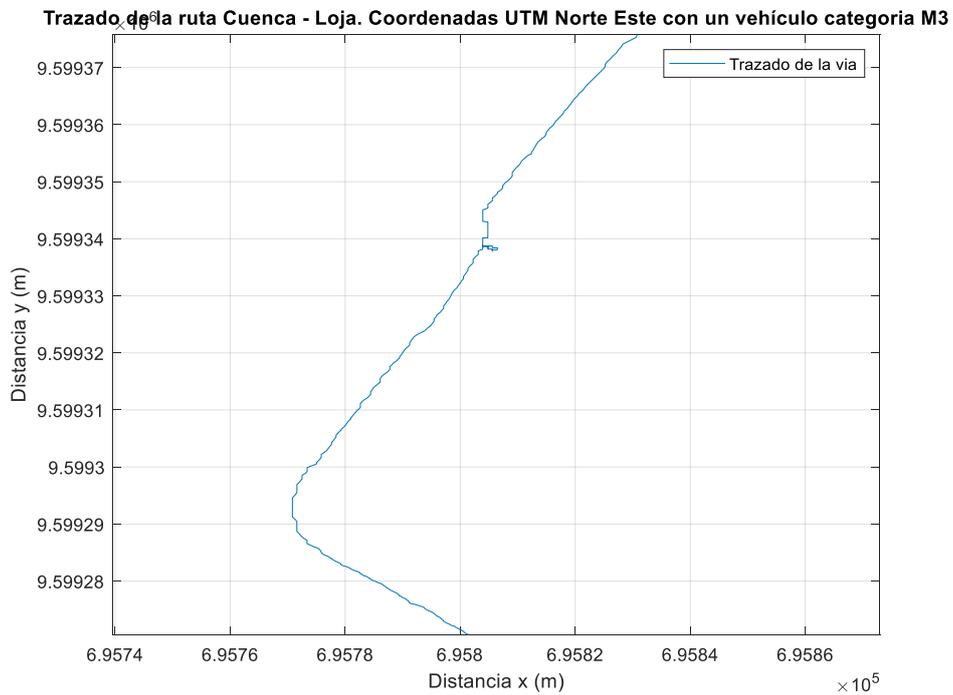


Figura 67: Error del GPS señal mal tomada en el sector Saraguro (Calle Azuay y Calle 10 de Marzo) Coordenadas UTM. **Fuente:** Autores.



Figura 68: Ubicación del error del GPS “Saraguro” en Open Street Map. **Fuente:** ©Open Street Map

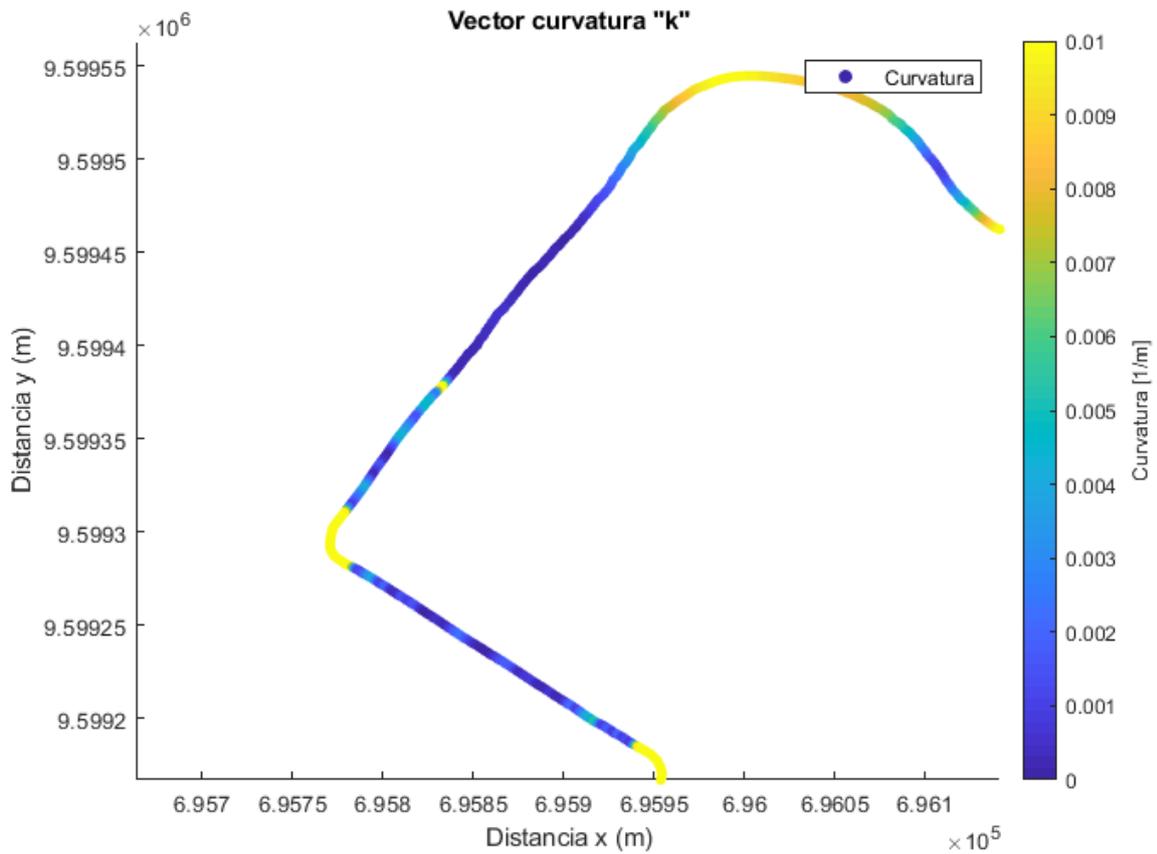


Figura 69: Error corregido a causa de la señal GPS mal tomada en el sector Saraguro (Calle Azuay y Calle 10 de Marzo) Coordenadas UTM. **Fuente:** Autores.