



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE CONDUCCIÓN EN BUSES INTERURBANOS EN
LA RUTA “SANTIAGO-ANTOFAGASTA” PARA DETECCIÓN DE EVENTOS DE
RIESGO DEL CONDUCTOR**

POR

Sebastián Daniel Pezo González

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniero(a) Civil Biomédico

Profesor Guía
Pamela Guevara Alvez

Profesional Supervisor
Gabriel Martínez Guzmán

Marzo 2022
Concepción (Chile)

© 2022 Sebastián Daniel Pezo González

© 2022 Sebastián Daniel Pezo González

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.



Resumen

La fatiga y somnolencia son las principales causas de accidentes dentro del sector de transporte terrestre. Esto se debe a las jornadas extensas de trabajo del conductor, estrés y mala calidad del sueño. Es por esto que, las empresas del rubro de transporte deben invertir en tecnología para la detección de somnolencia y fatiga, pero dichos dispositivos presentan falsos positivos, lo que genera desconfianza en sus notificaciones, por lo que los estados en el conductor siguen sin poder ser detectados a tiempo y de forma remota.

Con la finalidad de analizar y determinar estados del conductor como somnolencia o fatiga, se realizó un análisis de los datos entregados por RedCAN (red de área de control interna de los vehículos) de 8 buses pertenecientes a la empresa Buses Hualpén, que recorren la ruta interurbana Santiago-Antofagasta. Las variables estudiadas fueron: comportamiento de los datos de aceleración lateral y su derivada (jerk), aceleración longitudinal, razón de cambio del ángulo de las ruedas (yaw_rate) y su derivada, ángulo de volante y velocidad.

Para este análisis, se realizó un estudio previo de conceptos importantes del área, además de levantamiento de datos desde el bus hacia la base de datos MySQL, los cuales se exportaron para ser procesados en lenguaje Python y así, analizar el comportamiento de cada variable a lo largo de la ruta. Finalmente, se utilizan umbrales para la aceleración lateral ($\geq 1.5 \frac{m}{s^2}$), jerk ($\geq 2.0 \frac{m}{s^3}$) y derivada del yaw rate ($\geq 2.5 \frac{^\circ}{s^2}$) para la detección de eventos de riesgo.

Como resultado, se generó un código que detecta los eventos que superan los umbrales estipulados. Luego, se separan los datos por tramos, graficando cada 200 metros de amplitud de la ruta con respecto al punto del evento y comparando el viaje del evento con otros que se transiten en ese segmento de ruta. De este modo, se pudo observar que: para un mismo trayecto, las desviaciones estándar, valores promedios y amplitudes de cada variable varían dependiendo el comportamiento del conductor.

Se concluye, que no es posible la detección de los estados de somnolencia/fatiga en el conductor mediante solo la lectura de los datos entregados por la RedCAN. Pero, sí es posible detectar posibles eventos de riesgo, basándose en los umbrales definidos anteriormente. También, es posible generar una caracterización de formas de conducción mediante el análisis de cada variable, en las cuales se generen umbrales para cada variable enfocados en el confort de pasajeros, estado del vehículo, eficiencia y, principalmente, evitar accidentes por causa de la conducción.

Abstract

Fatigue and drowsiness are the main causes of accidents in land transport. This is due to the driver's long working hours, stress and poor sleep quality. For this reason, transportation companies must invest in technology to detect drowsiness and fatigue, but these devices have false positives, which generates mistrust in their notifications, so that the states of the driver can still not be detected in time and remotely.

In order to analyze and determinate driver states such as drowsiness or fatigue, an analysis was made of the data provided by RedCAN (internal vehicle control area network) of 8 buses belonging to the company Buses Hualpén, which travel the Santiago-Antofagasta intercity route. The variables studied were behavior of lateral acceleration data and its derivative (jerk), longitudinal acceleration, wheel angle change ratio (yaw rate) and its derivative, steering wheel angle and speed.

For this analysis, a previous study of important concepts of the area was carried out, in addition to data collection from the bus to the MySQL database, which were exported to be processed in Python language to analyze the behavior of each variable along the route. Finally, thresholds for lateral acceleration ($\geq 1.5 \frac{m}{s^2}$), jerk ($\geq 2.0 \frac{m}{s^3}$) and yaw rate derivative ($\geq 2.5 \frac{^\circ}{s^2}$) are used to detect risk events.

As a result, a code was created that detects events that exceed the stipulated thresholds. Then, the data is separated by sections, plotting every 200 meters of route amplitude with respect to the point of the event and comparing the trip of the event with others transited on that route segment. Thus, it was observed that for the same route, the standard deviations, average values and amplitudes of each variable differ depending on the driver's behavior.

As a conclusion, it is not possible to detect drowsiness/fatigue states in the driver by simply reading the data provided by RedCAN. However, it is possible to detect imaginable risk events, based on the thresholds defined above. It is also possible to generate a characterization of driving patterns through the analysis of each variable, in which thresholds are generated for each variable focused on the passenger comfort, vehicle condition, efficiency and, mainly, avoiding accidents caused by driving.

Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO	1
1.3. OBJETIVO.....	2
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES	2
1.5. METODOLOGÍA	2
1.6. TEMARIO.....	3
CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. INTRODUCCIÓN	4
2.2. MARCO TEÓRICO	4
2.2.1 <i>Levantamiento de Datos</i>	4
2.2.2 <i>Especificaciones de Buses</i>	6
2.2.3 <i>Procesamiento de Datos</i>	9
2.2.4 <i>Formatos</i>	10
2.3. ESTADO DEL ARTE.....	10
2.3.1 <i>Márgenes de riesgo</i>	10
2.3.2 <i>Levantamiento de datos mediante RedCAN</i>	11
2.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	12
CAPÍTULO 3. LEVANTAMIENTO DE DATOS	13
3.1. INTRODUCCIÓN	13
3.2. INWAYCAN.....	13
3.2.1 <i>Identificación de la RedCAN</i>	13
3.2.2 <i>Instalación del Sensor</i>	13
3.2.3 <i>Configuración del InwayCan</i>	14
3.3. BASE DE DATOS.....	14
3.3.1 <i>Query</i>	14
3.4. DISCUSIÓN	15
CAPÍTULO 4. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	16
4.1. INTRODUCCIÓN	16
4.2. PREPARACIÓN DE DATOS.....	16
4.2.1 <i>Importación de datos</i>	16
4.2.2 <i>Cálculo de datos</i>	19
4.3. DETECCIÓN DE EVENTOS	20
4.4. GRÁFICOS	20
4.5. DISCUSIÓN	21
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	22
5.1. INTRODUCCIÓN	22
5.2. GRÁFICOS RESULTANTES	22
5.3. DETECCIÓN DE EVENTOS DE RIESGO	28
5.4. DISCUSIÓN	40
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	41
6.1. SUMARIO	41
6.2. DISCUSIÓN	41
6.3. CONCLUSIONES.....	42
6.4. TRABAJO FUTURO.....	43
ANEXO A. CÓDIGO EN PYTHON	46

6.5. VARIABLES46

6.6. FUNCIONES47

6.7. CÓDIGO FUENTE47

 A.1.1 Carga de bibliotecas.....47

 A.1.2 Funciones.....48

 A.1.3 Cuerpo del código.....50



Lista de Tablas

Tabla 3.1. Formato de documento csv.	14
Tabla 4.1. Viajes por bus.....	17
Tabla 4.2. Documentos de prueba para análisis.....	18
Tabla 4.3. Estructura de dataframe.....	19
Tabla 4.4. Umbrales para detección de eventos.	20
Tabla 5.1. Coeficientes de Correlación entre Variables.....	26
Tabla 5.2. Parámetros Estadísticos de variables bus 1 viaje 1.	28
Tabla 5.3. Parámetros Estadísticos de variables bus 1 viaje 3.	29
Tabla 5.4. Parámetros Estadísticos de variables bus 1 viaje 4.	29



Lista de Figuras

Figura 2.1.RedCAN (cables verde-amarillo trenzados) detrás del tablero de un bus [3].	5
Figura 2.2 InwayCan [4].	5
Figura 2.3.Sensor CL-CAN [5].	6
Figura 2.4 Bus interurbano de un piso de Buses Hualpén [7].	7
Figura 2.5. Chasis Volvo B 450 R 6X2 [6].	7
Figura 2.6. Gráfico de jerk lateral v/s tiempo [22].	11
Figura 3.1. Instalación de sensor CL-CAN en RedCAN verde-amarillo [3].	13
Figura 4.1. Estructura de carpeta contenedora del código.	16
Figura 4.2.Estructura de lista contenedora de archivos importados en el código de Python.	18
Figura 5.1. Gráficos de aceleración lateral, jerk y velocidad con respecto al tiempo.	23
Figura 5.2. Gráficos de yaw rate, su derivada y el ángulo del volante con respecto al tiempo.	23
Figura 5.3. Ruta Santiago – Mina Collahuasi (Antofagasta) [3].	24
Figura 5.4. Gráficos de Correlaciones entre variables.	25
Figura 5.5. Gráficos de comparación entre viajes del mismo segmento.	27
Figura 5.6. Gráfico de correlación entre aceleraciones laterales de dos buses para un mismo segmento.	27
Figura 5.7. Vista superior gráfico 3D aceleración lateral v/s posición(latitud y longitud).	30
Figura 5.8. Vista lateral gráfico 3D aceleración lateral v/s posición(latitud y longitud).	31
Figura 5.9. Vista diagonal gráfico 3D aceleración lateral v/s posición (latitud y longitud).	31
Figura 5.10. Vista lateral gráfico 3D velocidad v/s posición (latitud y longitud).	32
Figura 5.11. Vista diagonal gráfico 3D velocidad v/s posición (latitud y longitud).	33
Figura 5.12. Vista lateral gráfico 3D aceleración longitudinal v/s posición (latitud y longitud).	34
Figura 5.13. Vista diagonal gráfico 3D aceleración longitudinal v/s posición (latitud y longitud).	34
Figura 5.14. Vista lateral gráfico 3D jerk lateral v/s posición (latitud y longitud).	35
Figura 5.15. Vista diagonal gráfico 3D jerk lateral v/s posición (latitud y longitud).	36
Figura 5.16. Vista lateral gráfico 3D yaw rate v/s posición (latitud y longitud).	36
Figura 5.17. Vista diagonal gráfico 3D yaw rate v/s posición (latitud y longitud).	37
Figura 5.18. Vista lateral gráfico 3D derivada yaw rate v/s posición (latitud y longitud).	38
Figura 5.19. Vista diagonal gráfico 3D derivada yaw rate v/s posición (latitud y longitud).	38
Figura 5.20. Vista lateral gráfico 3D ángulo del volante v/s posición (latitud y longitud).	39
Figura 5.21. Vista diagonal gráfico 3D ángulo del volante v/s posición (latitud y longitud).	39

Abreviaciones

Mayúsculas

CAN	: Controller Area Network o Red de área de control.
GPS	: Global Positioning System o Sistema de posicionamiento global.
SQL	: Structured Query Language o Lenguaje de consulta estructurada.
OBD	: On Board Diagnostics o Diagnósticos a bordo.
ID	: Identificador.



Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción General

En el sector del Transporte terrestre, la fatiga y la somnolencia son las principales causas de accidentes. Juntas suman más del 65% de los accidentes de tránsito. Esto se debe a que los conductores se ven expuestos a extensas horas de trabajo, estrés prolongado y una mala calidad del sueño [1].

En la actualidad, existe una tendencia en invertir en tecnología para la detección de la somnolencia y fatiga en la conducción. Las oficinas de tráfico de flotas de vehículos controlan estas condiciones mediante cámaras de reconocimiento facial para alertar bostezos, parpadeos frecuentes o mirada fuera del camino, pero estas alertas presentan falsos positivos. Estos falsos positivos generan una desconfianza de las notificaciones de alerta y, por lo tanto, las condiciones de somnolencia y fatiga siguen sin poder ser detectadas a tiempo y de forma remota.

Por tanto, en este informe se realiza un análisis principalmente de aceleraciones laterales, obtenidas de la red CAN de buses interurbanos en la ruta “Santiago-Antofagasta”, para poder caracterizar el comportamiento de cada variable.

Debido a que existen herramientas para el monitoreo continuo y remoto de parámetros mecánicos de los vehículos, es posible también analizar dichos datos y poder generar alertas a tiempo real y de forma remota de eventos de distracción, fatiga o somnolencia.

A continuación, se presenta el trabajo realizado para el análisis y caracterización del comportamiento de variables como aceleraciones laterales, longitudinales, velocidad, yaw rate y ángulo del volante en buses interurbanos.

1.2. Hipótesis de Trabajo

La detección de eventos de distracción o somnolencia de forma remota es una herramienta útil para la disminución de accidentes de tránsito, principalmente en el área de transporte terrestre como buses. Además, al ser detectados mediante el análisis de los datos de aceleraciones laterales del vehículo, evita presentar falsos positivos.

1.3. Objetivo

1.3.1 Objetivo General

Analizar y caracterizar el comportamiento de las aceleraciones y velocidad de giro de buses interurbanos para detección de eventos de riesgo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- i. Analizar registros de datos de viajes interurbanos por medio de herramientas de big data y bases de datos, con el objetivo de caracterizar la conducción.
- ii. Identificar condiciones de somnolencia/fatiga y distracción por medio del análisis de viajes caracterizados por variables de conducción.
- iii. Definir umbrales de riesgo por causa del conductor.

1.4. Alcances y Limitaciones

- i. La propuesta se realizará en base a datos obtenidos de la RedCAN de buses interurbanos, almacenados en base de datos MySQL.
- ii. Los datos serán procesados mediante herramientas de bigdata y analizados mediante Python.
- iii. Los buses seleccionados deben contar con un dispositivo de monitoreo y contar con un acelerómetro instalado.
- iv. La propuesta se realizará de forma remota.
- v. No se cuenta con datos que corroboren el estado del conductor para contrastar con datos del bus.

1.5. Metodología

Se comenzará seleccionando los buses a analizar de la flota de Buses Hualpén. Luego, se extraerán de la base de datos registros de los viajes realizados por los móviles, analizando principalmente el comportamiento de la aceleración lateral a lo largo del recorrido, pero también su relación con la velocidad, posición del volante, razón de cambio del ángulo de las ruedas y el jerk (cambio con respecto al tiempo de la aceleración). Con los resultados del análisis y contrastados con la literatura, se definirán parámetros que indiquen cuándo ocurra un evento de riesgo.

1.6. Temario

- El Capítulo 1 introduce el tema de este trabajo, presentando la hipótesis, los objetivos y la metodología a desarrollar.
- El Capítulo 2 corresponde a una revisión bibliográfica, que entrega la información teórica necesaria para la comprensión y realización del trabajo.
- El Capítulo 3 corresponde al levantamiento de datos desde la base de datos MySQL y su exportación.
- El Capítulo 4 explica el procesamiento realizado a los datos para su análisis.
- El Capítulo 5 corresponde a los resultados obtenidos del procesamiento de los datos mediante gráficos.
- El Capítulo 6 corresponde al sumario y las conclusiones obtenidas del trabajo realizado.



Capítulo 2. Revisión Bibliográfica

2.1. Introducción

En este capítulo se estudia la teoría necesaria para entender y desarrollar la investigación, incluyendo definición de conceptos, técnicas y procedimientos, junto a trabajos previos relevantes para el análisis.

A continuación, se describen los elementos involucrados en el levantamiento de datos, los conceptos y datos relevantes del bus, las herramientas utilizadas para el filtrado y procesamiento de los datos y una revisión de trabajos realizados anteriormente.

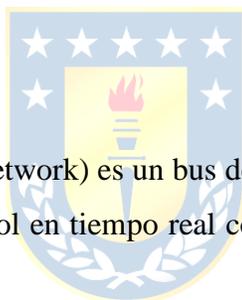
2.2. Marco Teórico

2.2.1 Levantamiento de Datos

RedCAN:

La RedCAN (Controller Area Network) es un bus de comunicación que está diseñado para el envío y recepción de mensajes de control en tiempo real con capacidad de hasta 1 Mbit (1.048.576 bits) por segundo [2].

Estas redes constan de dos cables, un cable “high” y un cable “low”, los cuales transmiten el mensaje en binario. Un vehículo posee múltiples redes, cada una encargada de transmitir un grupo específico de mensajes. Las redes principales se encuentran por lo general tras el tablero, como se observa en la figura 2.1.



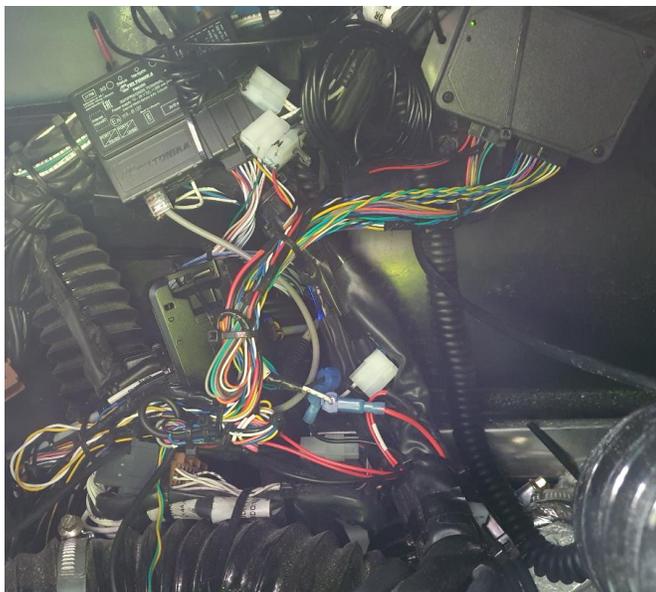


Figura 2.1. RedCAN (cables verde-amarillo trenzados) detrás del tablero de un bus [3].
Junto a canales de aire acondicionado y múltiples cables de comunicación y alimentación.

InwayCan:

Dispositivo de Monitoreo fabricado por la empresa Inway Spa [4], el cual lee los mensajes emitidos en la RedCAN de los vehículos, los decodifica, procesa y envía a la base de datos. Este dispositivo reporta a la base de datos con una frecuencia aproximada de 5 a 15 segundos, dependiendo de la configuración. Como se observa en la figura 2.2, cuenta de diversas entradas de conexión, permitiendo realizar lecturas de distintas redes CAN en paralelo, junto a otros hardware de monitoreo.

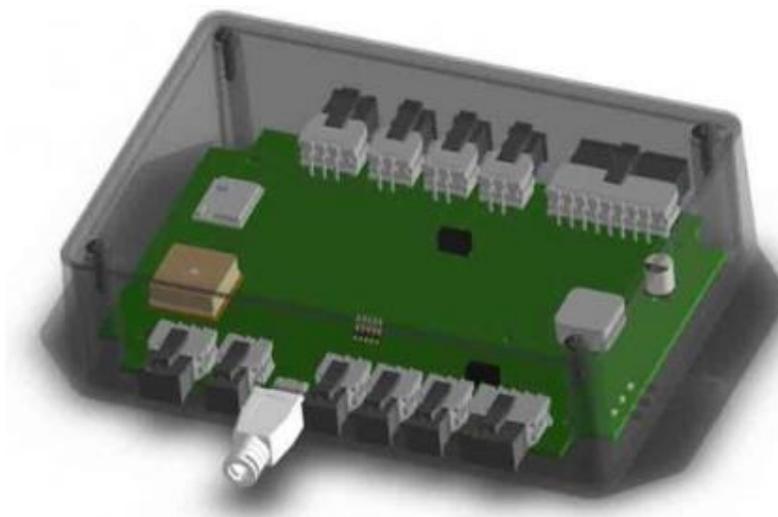


Figura 2.2 InwayCan [4].

Sensor CL-CAN:

Sensor utilizado para la lectura de la RedCAN. Este sensor no requiere cortar los cables de red para su lectura, ya que se engarza en los cables de la RedCAN y transmite la información al dispositivo de monitoreo, en este caso, a un InwayCan [5].



Figura 2.3.Sensor CL-CAN [5].

2.2.2 Especificaciones de Buses

Buses:

Medio de transporte terrestre del cual se extraerán los datos para realizar el estudio.

En esta investigación se considerarán 8 buses que recorren la ruta interurbana “Santiago-Antofagasta”. Estos vehículos son buses interurbanos marca Volvo, modelo de chasis B 450 R 6X2 año 2021 [6], de un piso y tres ejes (dos traseros y uno delantero), los cuales cuentan con un dispositivo de monitoreo InwayCan instalado, donde se decodifican múltiples variables de interés, dentro de ellas, la aceleración lateral, velocidad y posición (latitud y longitud).

Todos los buses utilizados en este trabajo son de propiedad de Buses Hualpén [7]. En la figura 2.4 se puede observar un modelo de bus interurbano de un piso como referencia al modelo de la carrocería.



Figura 2.4 Bus interurbano de un piso de Buses Hualpén [7].

Este vehículo hace referencia al modelo de carrocería, pero no es idéntico a los utilizados en el trabajo.

Sus medidas aproximadas, basándose en las especificaciones técnicas del chasis [6], presentado en la figura 2.5 son:

Largo total: 10570 mm.

Distancia entre ejes trasero-delantero: 4000 mm.

Distancia entre ejes traseros: 1400 mm.

Ancho eje delantero: 2475 mm.

Ancho eje trasero: 2465 mm.

Peso bruto máximo permitido: 24750 kg.

Posición centro de masa aproximado: 3524 mm desde el frente.

Altura aproximada centro de masa: 2487 mm desde el suelo.



Figura 2.5. Chasis Volvo B 450 R 6X2 [6].

Las variables que se utilizarán de los vehículos para el análisis son:

- **Aceleración Lateral:** Entregada mediante un acelerómetro integrado en el móvil, que indica las aceleraciones que se presentan en el sentido lateral del vehículo. En los datos entregados por los buses, se define la aceleración lateral izquierda como negativa y la derecha como positiva. Esta variable está directamente relacionada con el riesgo de volcamiento de un vehículo [8].
- **Aceleración Longitudinal:** Entregada mediante un acelerómetro. Indica las aceleraciones presentadas en el sentido longitudinal del vehículo. Una aceleración longitudinal negativa indica una acción de frenado y disminución de velocidad, así una aceleración positiva indica aumento de velocidad [8].
- **Yaw Rate:** Ratio de cambio del ángulo de las ruedas del móvil. Esta variable es entregada mediante sensores en las ruedas delanteras [9].
- **Ángulo del Volante:** Entregada mediante un sensor integrado en el volante. Indica el ángulo en el que se encuentra el volante en radianes [9].
- **Jerk:** El Jerk corresponde a la tasa de cambio de la aceleración con respecto al tiempo. No puede ser obtenida mediante la RedCAN del móvil, pero sí se puede calcular mediante la derivada de la aceleración [10].
- **Posición:** La posición entregada mediante el GPS en coordenadas (latitud, longitud). Un grado de latitud equivale a 110 km aproximadamente [11].
- **Velocidad:** se refiere a la velocidad longitudinal del vehículo, la cual se observa en el tablero del vehículo.

Acelerómetro:

Sensor Inercial que permite conocer las aceleraciones que se producen al realizar un movimiento, identificándolos con respecto a su eje de acción (x, y, z) [12]. Estos sensores se pueden encontrar instalados en los buses de estudio, los cuales entregan datos de aceleración longitudinal y lateral.

2.2.3 Procesamiento de Datos

Base de Datos:

Son colecciones de datos organizados en medios digitales, las cuales permiten una fácil navegación y selección de un conjunto de datos deseados. En este caso, la base de datos utilizada cuenta con datos de monitoreo de diversos vehículos [13].

SQL:

SQL (Structured Query Language) es un tipo especializado de programación desarrollado para el trabajo con bases de datos. Las consultas de búsqueda realizadas en la base de datos son conocidas como queries [13].

Existen distintos sistemas de gestión de bases de datos como MySQL, Oracle, Microsoft SQL, entre otros, pero todos trabajan con un estándar de SQL. En este caso se trabajará con MySQL, el cual presenta dentro de sus ventajas una mayor estabilidad, mayor seguridad y buen soporte [13].

Python:

Es un lenguaje de programación de alto nivel de código abierto, que cuenta con una amplia gama de bibliotecas y módulos, lo que permite realizar distintas tareas y proyectos utilizando el mismo lenguaje [13]. También cuenta con documentación integrada, guiando al usuario en el uso de funciones y biblioteca dentro del código [14]. Su uso dentro del trabajo a realizar es para el procesamiento de los datos levantados de los vehículos.

Las librerías que se usarán en el código son:

- ***Datetime:*** biblioteca que proporciona clases para manipulación de fechas y horas [15].
- ***numpy:*** es una biblioteca que entrega múltiples herramientas matemáticas [16].
- ***math:*** biblioteca que entrega un conjunto de métodos, constantes matemáticas y herramientas para trabajo de matrices [17].
- ***matplotlib.pyplot:*** biblioteca dedicada en la creación de visualización como imágenes, gráficos, entre otros [18].
- ***pandas:*** biblioteca que proporciona estructuras de datos de alto rendimiento. Permite la manipulación de archivos en formato .csv [19]. El tipo de objeto generado al cargar un archivo csv mediante pandas se llama dataframe.

Dbeaver:

Herramienta de base de datos multiplataforma de acceso gratuito utilizada para la administración y manejo de bases de datos como MySQL. Esta herramienta permite realizar consultas a la base de datos mediante “queries” o consultas y exportar los datos en formato .csv [20].

2.2.4 Formatos

Dentro del procesamiento y análisis de los datos, se trabajará a través de los siguientes formatos:

CSV:

Es un tipo de archivo que se puede crear o editar mediante Excel. Estos archivos almacenan los datos separados por coma. Esto permite que el archivo sea más fácil para mover, además es compatible con diversos programas de lectura [21].

2.3. Estado del Arte**2.3.1 Márgenes de riesgo**

De los trabajos previos revisados, se puede obtener distintas clasificaciones y métricas con respecto a los márgenes de riesgo concernientes a estados de somnolencia/fatiga y distracción. Dentro de estos márgenes, se destaca el indicado en el trabajo *“Identification of common features of vehicle motion under drowsy/distracted driving: A case study in Wuhan, China”* [1]. En este trabajo se analizó la conducción mediante acelerómetros, giroscopios, gps y cámaras de 50 conductores, inducidos por efectos de somnolencia/distracción como hablar, mirar al lado, beber, cabecear, entre otros. Se obtuvo que los eventos de riesgo en los sujetos de prueba se produjeron cuando el jerk lateral era mayor o igual a 2 m/s^3 y también cuando el yaw rate presenta tasas de cambio mayor a $2.5^\circ/\text{s}^2$, situaciones que, como se observa en la figura 2.6, se presentaron con mayor frecuencia cuando el conductor se encontraba en condiciones de distracción y somnolencia. También se destaca una clasificación de disconformidad desde los pasajeros de un bus con respecto a la conducción, encontrando relaciones entre las variables mencionadas anteriormente y el confort de pasajeros. En el trabajo *“Insight into the lateral ride discomfort thresholds of Young-adult bus passengers at multiple postures: Case of Singapore”* [22] realizan un estudio a pasajeros de buses con respecto a las aceleraciones laterales que presentan. Se consideró a 26 pasajeros, los cuales iban en distintas posiciones (sentados, de pie o



reclinados) los cuales clasificaron su disconformidad con respecto a una escala de satisfacción. Los resultados de la escala de satisfacción demostraron una relación con valores de la aceleración lateral, destacando tres niveles: Incómodo (Aceleración lateral igual o mayor a 1.5 m/s^2), Muy Incómodo (Aceleración lateral igual o mayor a 1.75 m/s^2) y Extremadamente Incómodo (Aceleración lateral mayor a 2 m/s^2).

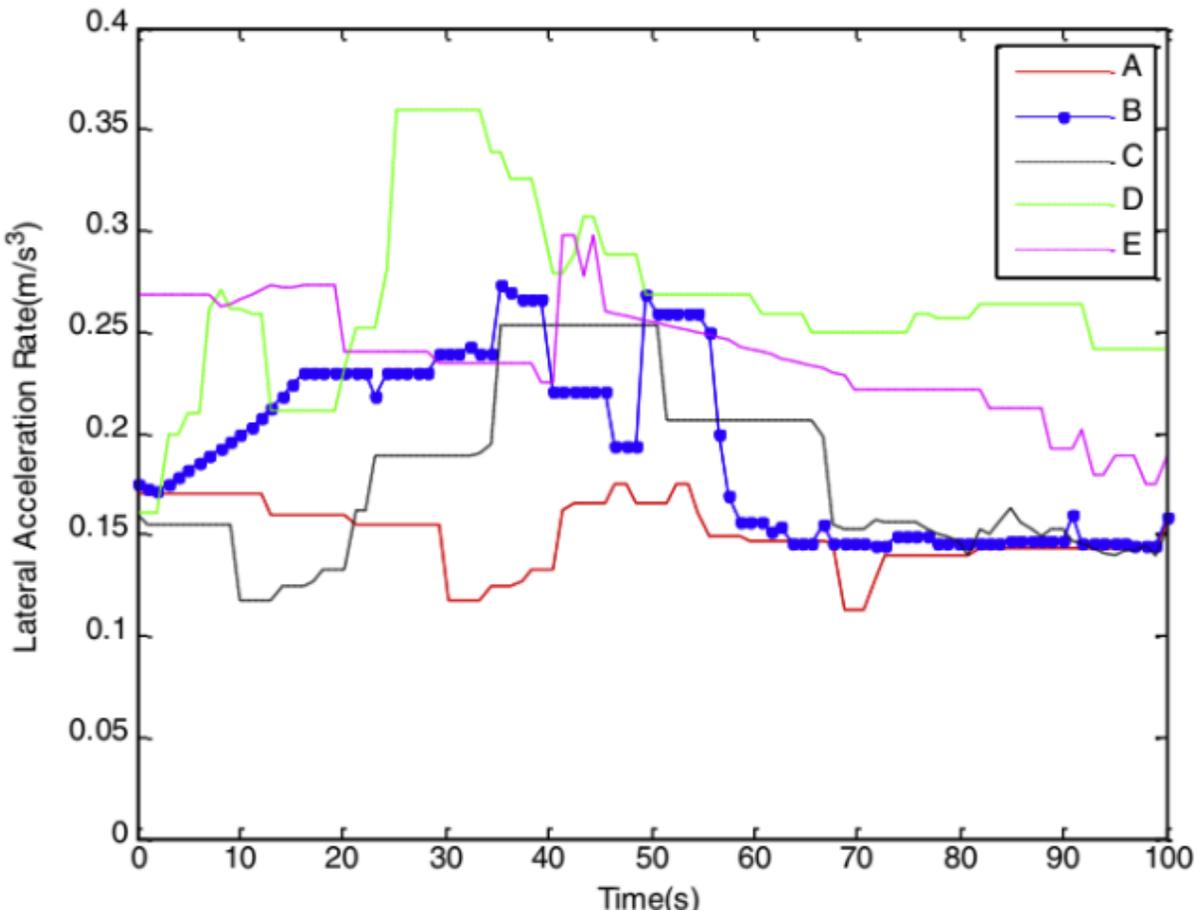


Figura 2.6. Gráfico de jerk lateral v/s tiempo [22].

Donde A corresponde a una conducción normal; B a un conductor bebiendo agua; C un conductor mirando hacia el lado mientras conduce; D un conductor hablando por teléfono; E un conductor con somnolencia.

2.3.2 Levantamiento de datos mediante RedCAN

Con respecto al método de extracción de datos para el análisis de conducción, se encontró en trabajos previos la factibilidad del uso de datos de la RedCAN para la detección de eventos de riesgo en la conducción. En el caso presentado en “*Distracted driver detection by combining in-vehicle and image data using deep learning*” [23], se determina la factibilidad del uso de datos obtenidos de la

RedCAN junto con datos de una cámara para tener una mayor precisión al detectar las conductas de distracción, evitando los falsos positivos presentados por la cámara al contrastar con la RedCAN. Así también es válido utilizar solo los sensores y variables entregadas por la RedCAN del vehículo, sin la necesidad de la integración de cámaras de somnolencia o métodos invasivos al conductor como electrocardiogramas, de acuerdo con los resultados entregados en el trabajo “*Non-intrusive Distracted Driving Detection based on Driving Sensing Data*” [24].

2.4. Discusión y Conclusiones

De la revisión de trabajos previos con respecto a los márgenes de riesgo, se puede determinar la relación que presentan las distintas variables entregadas mediante la RedCAN con los eventos de riesgo por distintas causas (somnolencia/fatiga, distracción), entregando margen para el análisis de los datos.

De los trabajos previos con respecto al levantamiento de datos, se puede concluir que es posible realizar análisis de conducción solo mediante la RedCAN, permitiendo la detección a tiempo real de eventos de riesgo, pero no es posible determinar el estado del conductor sin otro dispositivo integrado, como cámaras de somnolencia o mediciones biométricas.

Por lo tanto, se determina que los eventos a detectar serán considerados eventos de riesgo, debido a que no es posible determinar la condición del conductor mediante la RedCAN, generando un estándar para poder detectar de forma remota la ocurrencia de dichos eventos, siendo una herramienta valiosa para el sector de transporte terrestre.

Capítulo 3. Levantamiento de Datos

3.1. Introducción

En este capítulo se explica el proceso realizado para el levantamiento de datos desde el móvil hasta antes del procesamiento de datos.

3.2. InwayCan

El proceso de instalación y lectura desde el InwayCan requiere de distintos pasos, desde la identificación de la RedCAN, instalación del sensor y configuración del InwayCan.

3.2.1 Identificación de la RedCAN

Para la identificación de la RedCAN, se debe buscar entre el tablero o el OBD (On Board Diagnostics) un par de cables trenzados, de los cuales uno es el “low” y el otro es el “high”. Un vehículo puede contar con múltiples redes CAN válidas, pero no todas entregan la misma información, por lo que se debe probar y revisar cada una para determinar cuál es útil.

3.2.2 Instalación del Sensor

Luego de la identificación de la RedCAN, se procede a la instalación del sensor CL-CAN, como se observa en la figura 3.1, el cual lee las señales del móvil, enviando los datos codificados en binario.

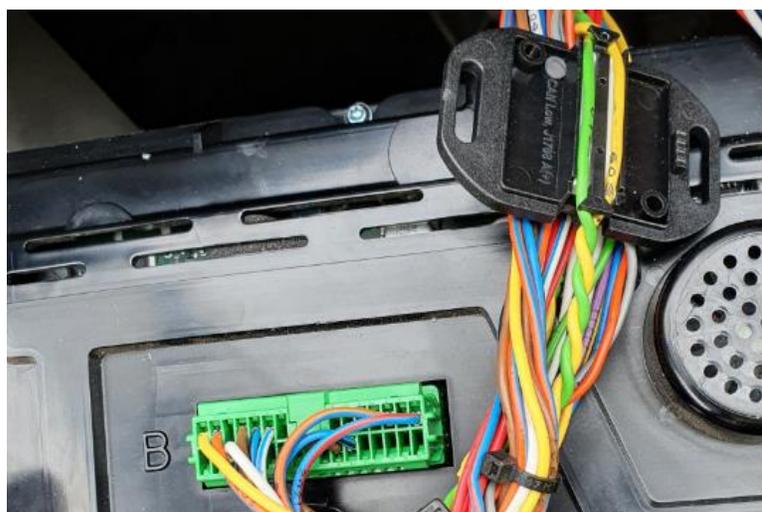


Figura 3.1. Instalación de sensor CL-CAN en RedCAN verde-amarillo [3].

3.2.3 Configuración del InwayCan

Luego de la instalación del sensor CL-CAN, este se conecta al InwayCan, donde es necesario configurarlo para la lectura del sensor y la decodificación. Esta configuración es realizada por la empresa Inway Spa. Los datos decodificados son enviados mediante el InwayCan a la base de datos de la empresa.

3.3. Base de Datos

Cuando el InwayCan realiza la carga de los datos decodificados a la base de datos, es posible su extracción mediante “queries” en el software Dbeaver. Luego es exportado en formato .csv, documento que será utilizado para el análisis.

3.3.1 Query

La Query utilizada para la extracción de los datos presenta la siguiente estructura:

```
SELECT time, var1, var2, var3, var4, var5, var6, var7, var8 FROM grupo WHERE movil =
x AND time BETWEEN fecha1 AND fecha2 ORDER BY time ASC
```

Donde **time** representa el momento (fecha y hora) del envío del mensaje, **var1** a **var8** indican aceleración lateral, aceleración longitudinal, yaw rate, ángulo del volante, latitud, longitud, ignición (indica si vehículo está encendido o no) y velocidad; **grupo** representa el grupo dentro de la base de datos donde se encuentran alojados los datos; **movil** corresponde al ID del móvil que se evaluará; **fecha1** y **fecha2** corresponden al intervalo de tiempo que se quiere extraer los datos.

Luego, los resultados obtenidos de la Query son exportados en formato .csv, donde se encontrarán ordenados con las columnas representando las variables y las filas al mensaje correspondiente con un tiempo específico, como se observa en la **TABLA 3.1**

Tabla 3.1. Formato de documento csv.

Time,	Var1,	Var2,	Var3,	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
time ₁ ,	var1 ₁ ,	var2 ₁ ,	var3 ₁ ,	var4 ₁	Var5 ₁	Var6 ₁	Var7 ₁	Var8 ₁
time ₂ ,	var1 ₂ ,	var2 ₂ ,	var3 ₂ ,	var4 ₂	Var5 ₂	Var6 ₂	Var7 ₂	Var8 ₂
...
time _n ,	var1 _n ,	var2 _n ,	var3 _n ,	var4 _n	Var5 _n	Var6 _n	Var7 _n	Var8 _n

3.4. Discusión

De lo anterior se debe mencionar que la instalación del InwayCan ha sido realizada por la empresa Inway Spa., por lo que, el estudio abarca desde la extracción de datos desde MySQL. Gracias a la estructura de la base de datos y las funciones de MySQL, el documento generado en formato csv presenta una estructura ordenada y de fácil procesamiento para los análisis posteriores.



Capítulo 4. Procesamiento de Datos

4.1. Introducción

En este capítulo se explica el procedimiento realizado para la preparación de los datos y el cálculo de variables no presentes en los archivos. También se explica sobre los gráficos realizados y el sistema de detección de eventos de riesgo con respecto a los umbrales obtenidos del estado del arte.

4.2. Preparación de datos

Los datos extraídos se encuentran ordenados, con lapsos de envío variables entre 10 a 15 segundos aproximadamente. Como se observa en la Figura 4.1, se creó una carpeta que contiene el código (Proc_datos), junto a una carpeta por cada bus (Bus y un número indicador). Las carpetas de buses contienen un documento en formato csv por cada viaje (Viaje_n.csv, donde n es el número de viaje del bus) exportado de la base de datos.

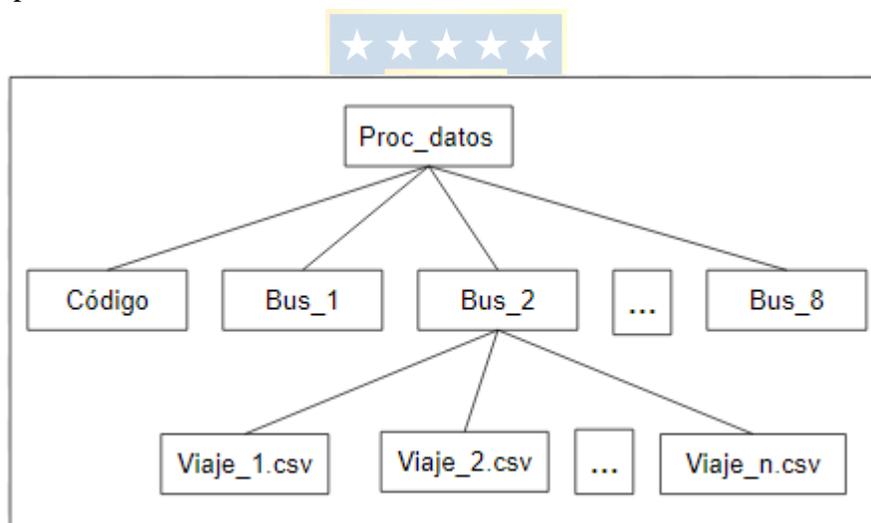


Figura 4.1. Estructura de carpeta contenedora del código.

4.2.1 Importación de datos

Se cuenta con un documento en formato csv por cada viaje realizado por el bus. En la TABLA 4.1, indica la cantidad de viajes por bus, con sus fechas y horas correspondiente al inicio y término del trayecto y su recorrido. En la tabla TABLA 4.2 se presenta la estructura que poseen los documentos por viaje.

Tabla 4.1. Viajes por bus.

Bus	Desde	Hasta	Trayecto
1	2021-11-09 15:02:00	2021-11-10 19:05:00	Santiago – Mina1
	2021-11-16 10:34:00	2021-11-17 18:30:00	Santiago – Mina1
	2021-11-30 13:11:00	2021-12-01 18:00:00	Santiago – Mina1
	2021-12-07 10:49:00	2021-12-08 18:30:00	Santiago – Mina1
2	2021-11-16 17:08:00	2021-11-17 19:00:00	La Serena – Mina1
	2021-11-23 07:03:00	2021-11-24 18:00:00	La Serena – Mina1
	2021-11-30 18:24:00	2021-12-01 23:59:00	La Serena – Iquique
3	2021-11-20 10:34:00	2021-11-21 09:00:00	La Serena - Iquique
	2021-11-23 21:05:00	2021-11-24 18:20:00	La Serena – Mina1
	2021-11-29 11:27:00	2021-11-30 09:50:00	La Serena – Mina1
4	2021-11-25 18:00:00	2021-11-26 19:10:00	Santiago - Mina2
	2021-11-30 10:38:00	2021-12-01 08:35:00	La Serena - Iquique
	2021-12-07 09:13:00	2021-12-07 21:30:00	La Serena - Mina3
5	2021-11-18 18:05:00	2021-11-18 23:45:00	Santiago - La Serena
	2021-11-26 02:00:00	2021-11-26 21:00:00	La Serena - Mina2
	2021-12-06 02:00:00	2021-12-06 21:00:00	La Serena - Mina2
6	2021-12-02 23:12:00	2021-12-03 16:40:00	La Serena - Mina4
	2021-12-05 23:12:00	2021-12-06 16:42:00	Santiago - Antofagasta
	2021-12-07 15:02:00	2021-12-08 20:35:00	Santiago – La Serena
7	2021-11-22 11:40:00	2021-11-23 09:51:00	La Serena – Mina1
	2021-11-28 20:00:00	2021-11-29 16:30:00	Santiago – La Serena
	2021-11-30 23:15:00	2021-12-01 19:15:00	La Serena – Mina1
	2021-11-07 21:10:00	2021-11-08 18:05:00	La Serena – Mina1
8	2021-11-17 17:58:00	2021-11-18 17:50:00	Santiago – La Serena
	2021-11-23 01:18:00	2021-11-23 15:18:00	La Serena – Mina4
	2021-11-26 01:52:00	2021-11-27 12:05:00	La Serena – Mina2
	2021-11-28 10:20:00	2021-11-28 17:36:00	Santiago – La Serena
	2021-12-03 00:30:00	2021-12-03 16:00:00	La Serena – Mina4
	2021-12-07 11:22:00	2021-12-07 22:09:00	La Serena – Mina5

Donde Mina1: Collahuasi, Iquique; Mina2: Escondida, Antofagasta; Mina3: El Salvador, Copiapó; Mina4: Antucaya, Antofagasta; Mina5: Franke, Antofagasta.

La estructura de los datos importados se observa en la TABLA 4.2, donde “*devicetime*” corresponde al tiempo (fecha y hora del mensaje) y “*time_n*” cuenta con un formato “Año-mes-día hora:minutos:segundos”; “*ac_lat*” y “*ac_lon*” corresponden a la aceleración lateral y longitudinal respectivamente y “*var1_n*” y “*var2_n*” magnitudes en metros sobre segundo al cuadrado (m/s^2); “*yaw_rate*” corresponde a la velocidad de giro de la dirección de las ruedas y “*var3_n*” magnitud en ángulo sobre segundo ($^\circ/s$); “*steer_angle*” corresponde al ángulo del volante y “*var4_n*” magnitud en

ángulo (°); “*lat*” y “*long*” corresponden a las posiciones mediante gps de latitud y longitud donde “*var5_n*” y “*var6_n*” magnitudes en grados latitud y longitud respectivamente ; “*ign*” corresponde al indicador de encendido del vehículo, donde “*var7_n*” indica 0: apagado o 1: encendido; “*speed*” corresponde a la velocidad del vehículo indicando en el tablero o velocímetro y *var8_n* magnitud en kilómetros por hora(km/h).

Tabla 4.2. Documentos de prueba para análisis.

devicetime,	ac_lat,	ac_lon,	yaw_rate,	steer_angle,	lat,	long,	Ign,	speed
time ₁ ,	var1 ₁ ,	var2 ₁ ,	var3 ₁ ,	var4 ₁	var5 ₁	var6 ₁	var7 ₁	var8 ₁
time ₂ ,	var1 ₂ ,	var2 ₂ ,	var3 ₂ ,	var4 ₂	var5 ₂	var6 ₂	var7 ₂	var8 ₂
...
time _n ,	var1 _n ,	var2 _n ,	var3 _n ,	var4 _n	var5 _n	var6 _n	var7 _n	var8 _n

Mediante la biblioteca pandas, se importan los archivos en formato csv para guardarlos en una lista. Como se observa en la figura 4.2, la estructura de la lista “lista_buses” cuenta con una estructura donde primero se encuentran 8 elementos, uno por cada bus, los cuales contienen un subelemento por cada viaje correspondiente a ese bus.

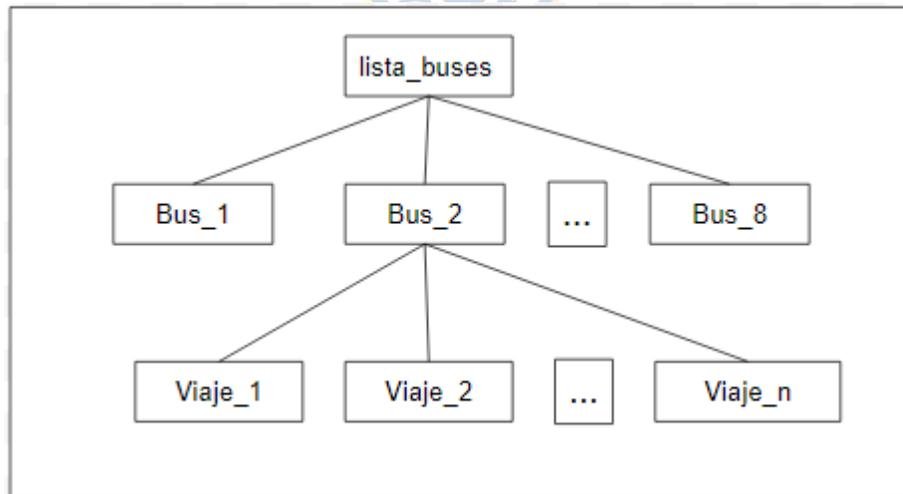


Figura 4.2. Estructura de lista contenedora de archivos importados en el código de Python.

4.2.2 Cálculo de datos

El cálculo del jerk y la velocidad de cambio del yaw rate con respecto al tiempo se realizó mediante la función *CalculoDerivada* [Anexo A]. Como resultado se obtienen dos arreglos, uno para el jerk y otro para la derivada del yaw rate. Estos arreglos se agregan al dataframe correspondiente, agregando dos columnas nuevas, “jerk” y “dt_yaw”.

Los datos de la columna “devicetime” clasifican como string dentro del código, por lo que se utilizó la función “strptime” de la biblioteca datetime, para convertir los datos a formato “datetime”, correspondiente al formato “AAAA-MM-DD HH:MM:SS” [Anexo A].

Dentro del mismo proceso, se calculó el tiempo en segundos para normalizar el tiempo con respecto a los viajes. Estos tiempos en segundos se guardaron en un arreglo, el cual se agregó al dataframe como una nueva columna llamada “tiempo_segundos” [Anexo A].

Para facilitar el análisis futuro de los datos, se generó una segmentación con respecto a la latitud. Cada segmento presenta una amplitud de 0.002° latitud, equivalente a 220 metros lineales aproximadamente. Se utilizó la latitud -33.4600° como límite inferior, correspondiente en el mapa a él margen sur de Santiago. Estos segmentos se incluyeron en una columna nueva en el dataframe llamada “segmento”.

La nueva estructura que presentan los dataframes por viaje corresponde a la presentada en la TABLA 4.2, pero agregando cuatro columnas extras “tiempo_segundos”, “jerk”, “dt_yaw” y “segmento”. En la TABLA 4.3 se presenta la nueva estructura del dataframe, donde “var9_n” magnitud en segundos; “var10_n” magnitud en metros sobre segundos al cubo (m/s^3); “var11_n” magnitud de ángulo sobre segundo al cuadrado ($^\circ/s^2$); “var12_n” etiqueta del 0 a n, dependiendo de la cantidad de segmentos generados [Anexo A].

Tabla 4.3. Estructura de dataframe.

time	ac_lat	ac_lon	yaw_rate	steer_angle	Lat	long	ign	speed	tiempo_segundos	jerk	dt_yaw	segmento
time ₁	var1 ₁	var2 ₁	var3 ₁	var4 ₁	var5 ₁	var6 ₁	var7 ₁	var8 ₁	var9 ₁	var10 ₁	var11 ₁	var12 ₁
time ₂	var1 ₂	var2 ₂	var3 ₂	var4 ₂	var5 ₂	var6 ₂	var7 ₂	var8 ₂	var9 ₂	var10 ₂	var11 ₂	var12 ₂
...
time _n	var1 _n	var2 _n	var3 _n	var4 _n	var5 _n	var6 _n	var7 _n	var8 _n	var9 _n	var10 _n	var11 _n	var12 _n

4.3. Detección de Eventos

Para la detección de eventos de riesgo, se generó un código que recorre el dataframe utilizando como umbrales los indicados en el estado del arte. En la **TABLA 4.4** se presentan los umbrales por variable a utilizar.

Tabla 4.4. Umbrales para detección de eventos.

Variable	Umbral
Jerk	$\geq 2 \frac{m}{s^3}$
dt_yaw	$\geq 2.5 \frac{^\circ}{s^2}$
ac_lat	$\geq 1.5 \frac{m}{s^2}$

El código presentado en el **Anexo A** funciona analizando todos los datos del viaje, aplicando los umbrales de la **TABLA 4.4**. Cuando un valor supera un umbral, se guarda el valor del segmento correspondiente. Luego, se genera una lista con todos los segmentos de viajes equivalentes al segmento del evento, facilitando el análisis futuro.

4.4. Gráficos

Se realizaron gráficos de todas las variables con respecto al tiempo mediante la biblioteca `matplotlib.pyplot`, para comprender su comportamiento a lo largo del trayecto. También se graficó mediante la latitud y longitud, la ruta completa entre Santiago y la Mina Collahuasi, Antofagasta.

Mediante la función “`scatter()`” de la biblioteca `matplotlib.pyplot` se realizaron diversos gráficos de correlaciones entre las variables del dataframe con respecto a la aceleración lateral, con la finalidad de ver la relación presente entre cada una de ellas.

De la segmentación generada anteriormente, se amplió a 0.2 el intervalo para presentar una mayor cantidad de datos y obtener un gráfico comparativo entre dos viajes distintos que transitan el mismo segmento.

Para la detección de eventos, se realizó un gráfico tridimensional de la posición (latitud y longitud) con respecto a las variables de interés (aceleración lateral, velocidad, etc.).

4.5. Discusión

La preparación de los datos, junto a los cálculos previos son fundamentales para el análisis que pueden entregar. El uso de los dataframes de la biblioteca pandas facilita el orden y extracción de datos del archivo en formato csv, así como permite agregar columnas nuevas y modificar los datos existentes. Es importante mantener una estructura ordenada de los datos, ya sea pertenecientes al dataframe o calculados posteriormente, para simplificar los tiempos de procesamiento.

Debido a que el trayecto de los viajes presenta horas de descanso, hay segmentos con datos nulos dentro de los distintos dataframes, dificultando las posibilidades de comparación entre distintos viajes. Tampoco es factible utilizar el tiempo como variable independiente al momento de analizar debido a que cada trayecto presenta distintas velocidades para cada segmento. Para ello se prefiere utilizar la posición para realizar comparaciones entre distintos trayectos, generando umbrales (inferior y superior) con respecto a la latitud, utilizando los segmentos del dataframe para facilitar el análisis.



Capítulo 5. Resultados

5.1. Introducción

En este capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos del procesamiento de datos, presentando y describiendo los gráficos resultantes del proceso explicado anteriormente.

5.2. Gráficos resultantes

Del capítulo anterior, se logra obtener mediante la biblioteca `matplotlib.pyplot`, impresiones de gráficos válidos para distintos análisis.

En la figura 5.1 se observan tres gráficos realizados del trayecto 1 del bus 1 presentado en la **TABLA 4.1**. El superior es un gráfico de aceleración lateral v/s tiempo, en el medio un gráfico del jerk v/s tiempo y el inferior un gráfico de velocidad v/s tiempo. De estos gráficos se observa que el comportamiento de la aceleración y el jerk lateral con respecto al tiempo, es oscilante. Esto se debe a que la aceleración lateral se presenta como “sacudidas” (oscilaciones) laterales en el bus. Debido a la inercia del bus, cada oscilación lateral genera una oscilación en el lado opuesto de menor magnitud, repitiendo este proceso hasta que la magnitud llega a cero. De la velocidad con respecto al tiempo, se observa que la mayor parte del trayecto se encuentra en velocidades cercanas a 100 km/h y que en velocidades iguales o cercanas a 0 km/h, la aceleración lateral y el jerk también se encuentran en 0.

En la figura 5.2 se observa que el comportamiento del yaw rate, su derivada y el ángulo del volante también son oscilantes. Esto se debe a que el yaw rate corresponde a la velocidad de movimiento de la dirección de las ruedas, por lo que siempre que giren, deben volver a la posición central, generando una oscilación del yaw rate. El caso del ángulo del volante es igual, cada vez que se gira el volante para una maniobra, el conductor debe volver en algún momento el volante a la posición central para conducir recto.

En la figura 5.3 se presenta el mapa con la ruta destacada del trayecto Santiago – Mina Collahuasi, Antofagasta. Esta imagen se obtuvo del repositorio de la empresa Inway Spa. En el punto inferior del gráfico corresponde a la base de Buses Hualpén en Santiago. El final del gráfico en la parte superior corresponde a la Mina Collahuasi en Antofagasta.

También se obtuvieron las correlaciones entre variables, resultando en 10 gráficos presentados en la figura 5.4, junto con los coeficientes de correlación de cada gráfico, presentados en la **TABLA 5.1**.

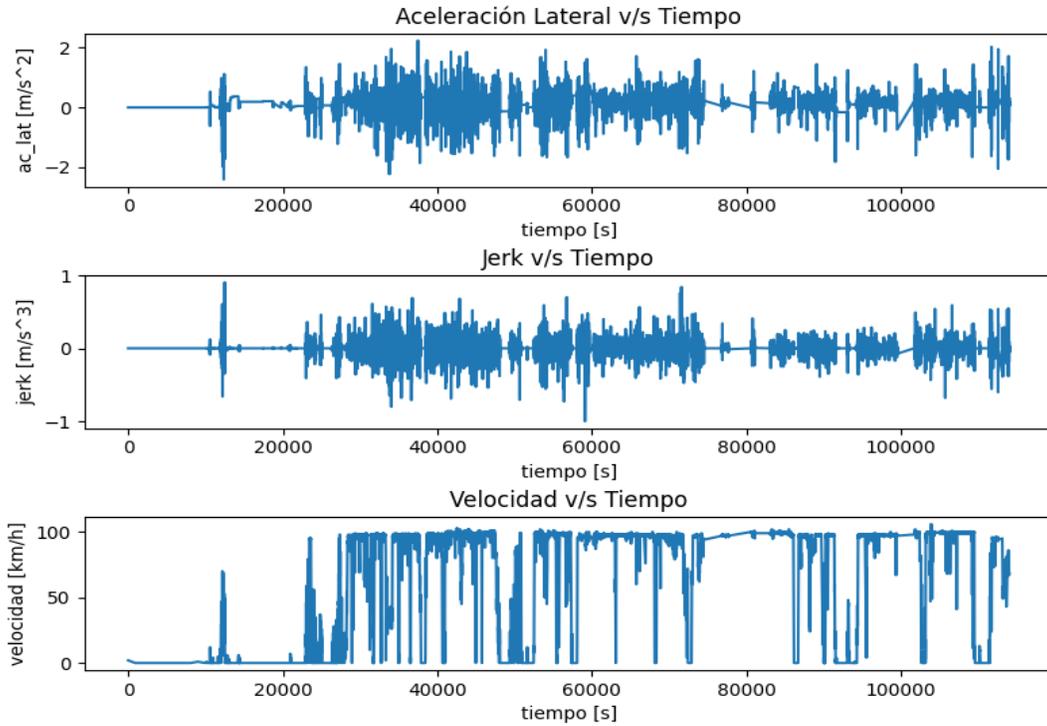


Figura 5.1. Gráficos de aceleración lateral, jerk y velocidad con respecto al tiempo.
 Donde Superior: Aceleración lateral v/s Tiempo; Medio: Jerk v/s Tiempo; Inferior: Velocidad v/s Tiempo.

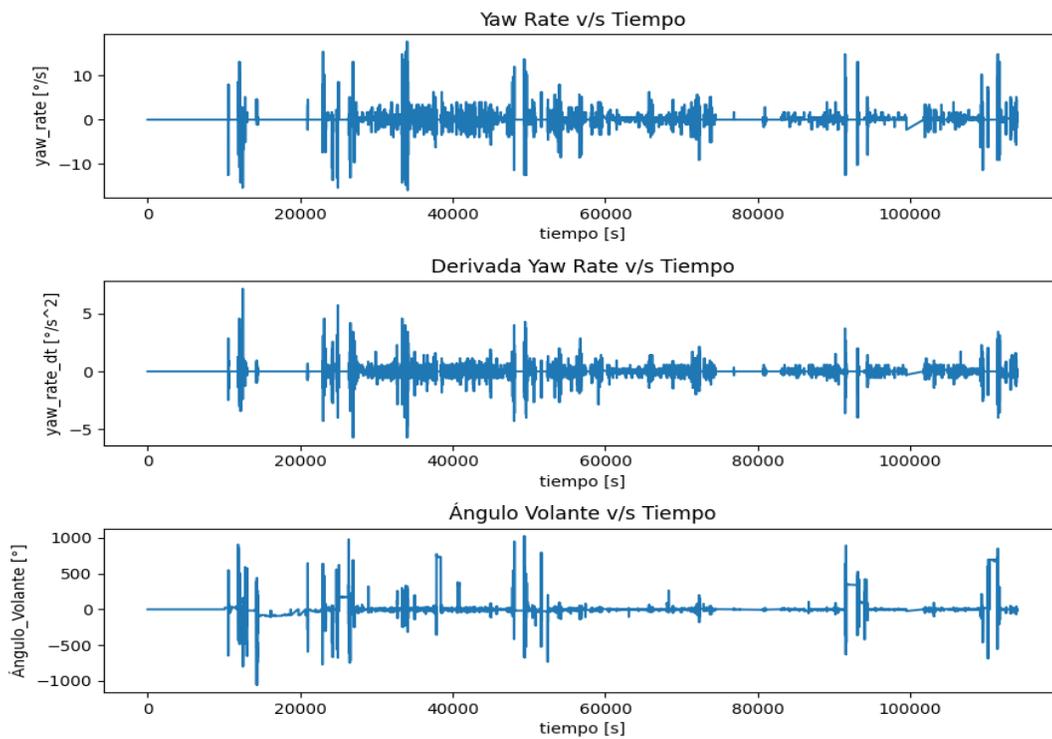


Figura 5.2. Gráficos de yaw rate, su derivada y el ángulo del volante con respecto al tiempo.
 Donde Superior: Yaw Rate v/s Tiempo; Medio: Derivada Yaw Rate v/s Tiempo; Inferior: Ángulo Volante v/s Tiempo.

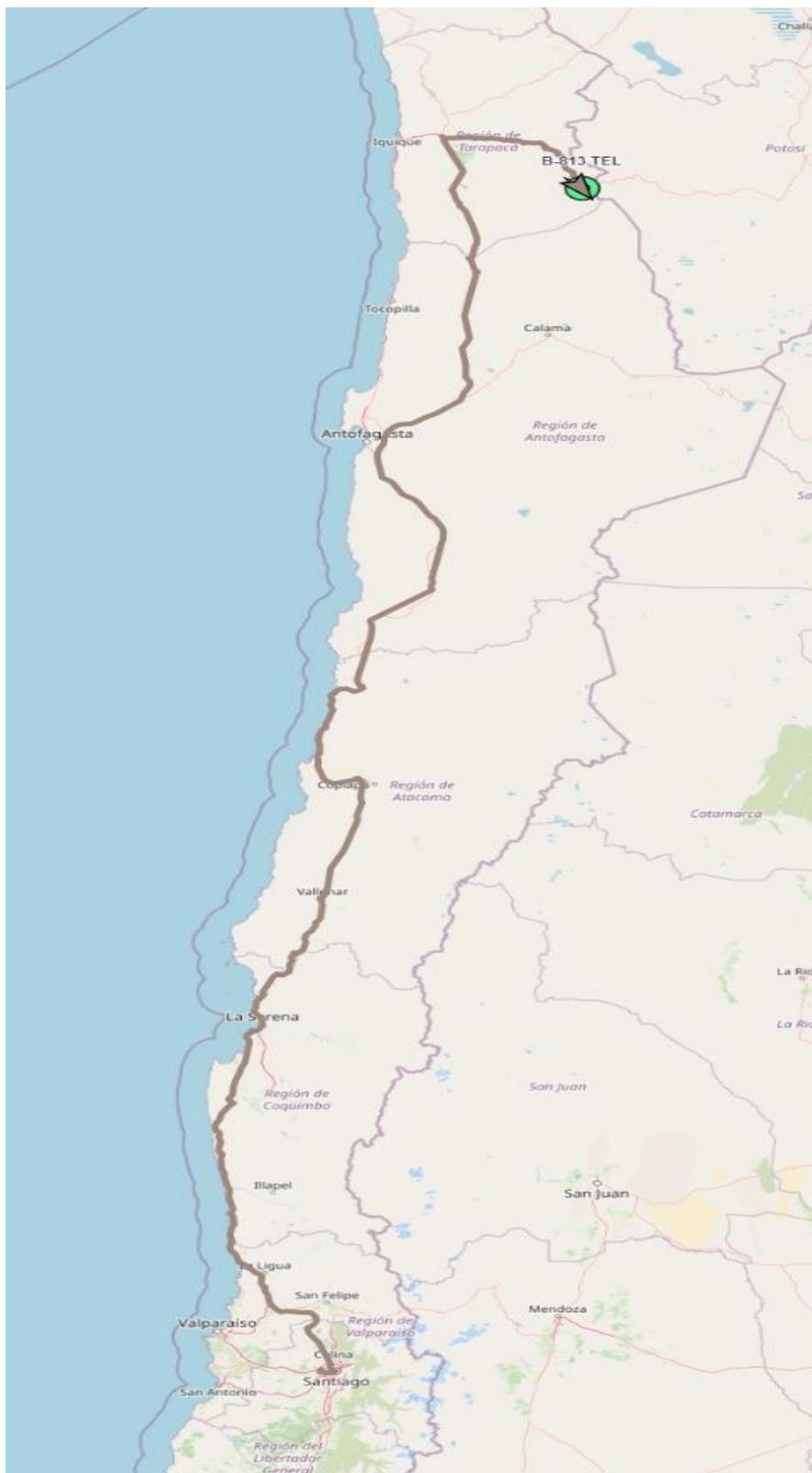


Figura 5.3. Ruta Santiago – Mina Collahuasi (Antofagasta) [3].

Donde la parte inferior del gráfico corresponde a Santiago. El extremo superior (fin de la gráfica) corresponde a la Mina Collahuasi en Antofagasta.

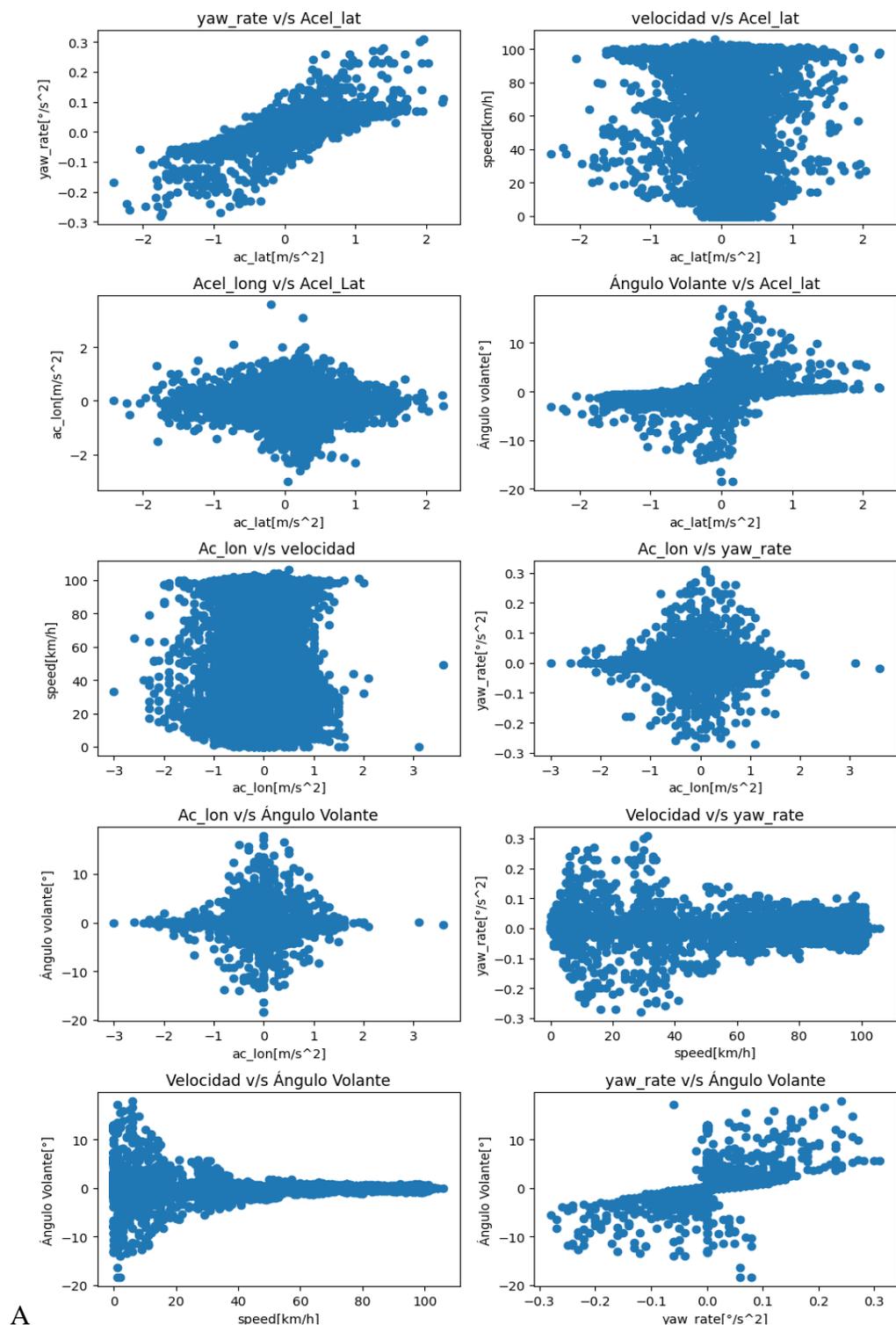


Figura 5.4. Gráficos de Correlaciones entre variables.

Columna 1: Primer gráfico, yaw rate v/s aceleración lateral; Segundo gráfico, aceleración longitudinal v/s aceleración lateral; Tercer gráfico, velocidad v/s aceleración longitudinal; Cuarto gráfico, ángulo del volante v/s aceleración longitudinal; Quinto gráfico, ángulo del volante v/s Velocidad. **Columna 2:** Primer gráfico, velocidad v/s aceleración lateral; Segundo Gráfico, ángulo del volante v/s aceleración lateral; Tercer gráfico, aceleración longitudinal v/s yaw rate; Cuarto gráfico, velocidad v/s yaw rate; Quinto gráfico, yaw rate v/s ángulo del volante.

Tabla 5.1. Coeficientes de Correlación entre Variables.

Variable	Ac_lat	Ac_lon	Velocidad	Yaw_rate	Ángulo Volante
Ac_lat	1	-0.027	0.103	0.639	0.084
Ac_lon	-0.027	1	-0.033	0.008	0.018
Velocidad	0.103	-0.033	1	0.012	-0.194
Yaw_rate	0.639	0.008	0.012	1	0.297
Ángulo Volante	0.084	0.018	-0.194	0.297	1

De los gráficos presentados en la figura 5.4, en conjunto con la **TABLA 5.1**, se observa que las únicas correlaciones que presentan relaciones son la aceleración lateral con el yaw rate y el ángulo del volante con el yaw rate. En el caso de la aceleración lateral con el yaw rate, observado en la figura 5.4 (primer gráfico de la primera columna), presenta un coeficiente de correlación de 0.639, indicando una relación positiva y relativamente fuerte. Para el caso del ángulo del volante con el yaw rate con un coeficiente de correlación de 0.297 indica que existe una relación positiva, pero leve.

Se realizó una comparación entre dos buses recorriendo el mismo segmento. En este caso se compararon las aceleraciones laterales con respecto a la latitud, obteniendo tres gráficos presentados en la figura 5.5. El gráfico superior corresponde a la aceleración lateral v/s latitud del bus 1 en el viaje 1. En el gráfico medio se presenta la aceleración lateral v/s latitud del bus 2 en el viaje 1. En el gráfico inferior corresponde a la longitud v/s latitud, mostrando la forma de la ruta del segmento. Para estos gráficos se realizó una segmentación de 0.2° latitud, permitiendo contar con una muestra más amplia.

Se observa que el comportamiento de la aceleración lateral en ambos casos es semejante, presentando algunas variaciones de baja magnitud. También se observa que en las zonas de curva de la ruta es donde se presentan las aceleraciones laterales más altas.

Para complementar los gráficos resultantes de la figura 5.5, se realizó una correlación entre las aceleraciones laterales de ambos viajes, obteniendo el gráfico de la figura 5.6. Esta correlación cuenta con un coeficiente de 0.835, indicando que cuentan con una relación positiva y fuerte.

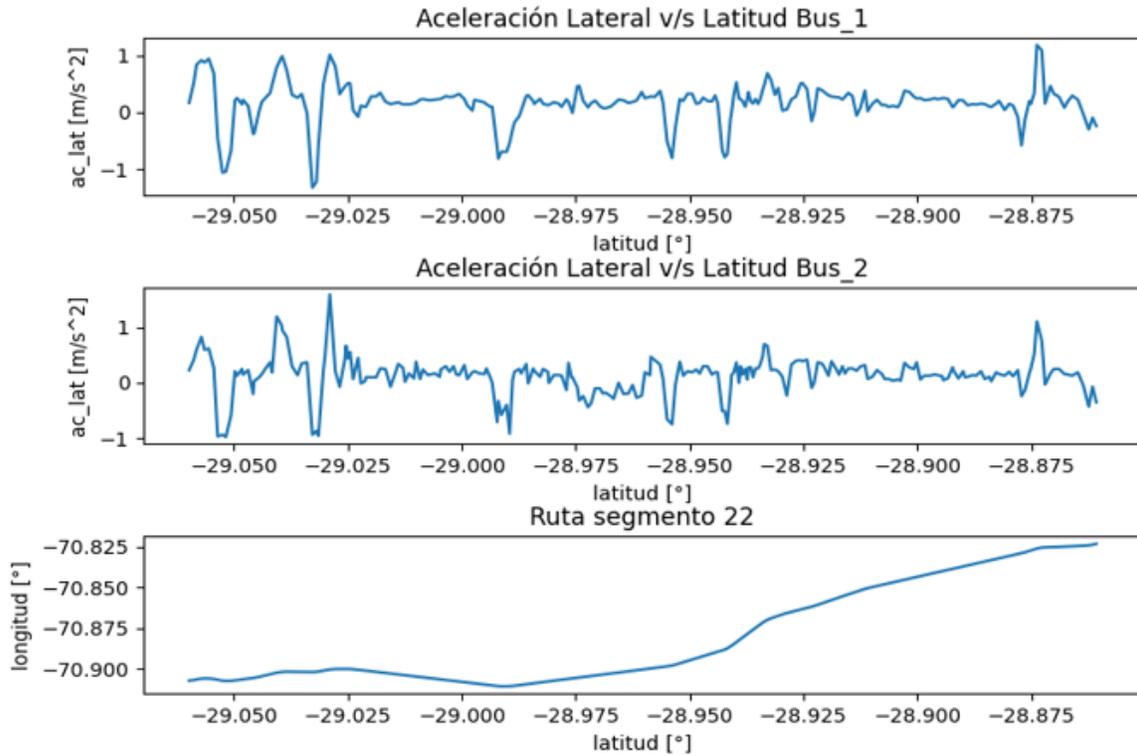


Figura 5.5. Gráficos de comparación entre viajes del mismo segmento.

Donde Superior: Aceleración Lateral v/s Latitud Bus_1; Medio: Aceleración Lateral v/s Latitud Bus_2;
Inferior: Ruta correspondiente al segmento 22.

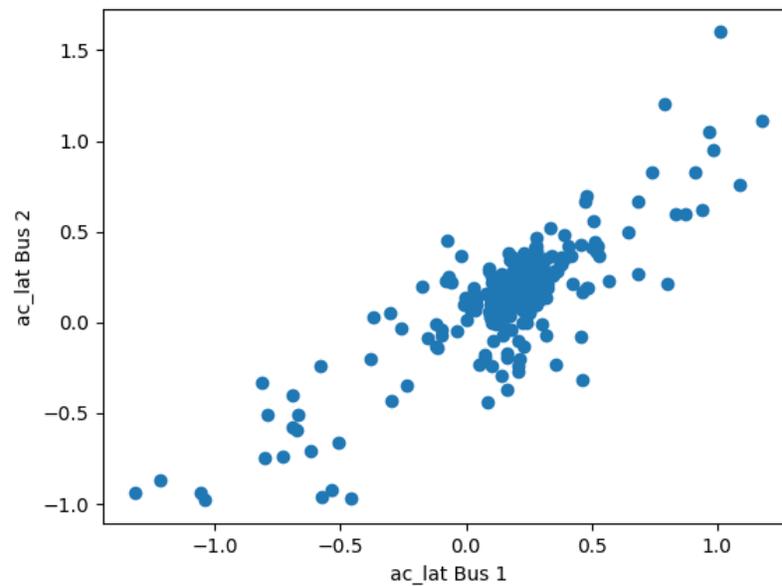


Figura 5.6. Gráfico de correlación entre aceleraciones laterales de dos buses para un mismo segmento.

5.3. Detección de Eventos de Riesgo

Se utilizarán los umbrales obtenidos del estado del arte y presentados en la **TABLA 4.4** como umbrales para la detección de eventos de riesgo. Estos umbrales corresponden al jerk igual o superior a $2 \frac{m}{s^3}$, la derivada del yaw rate igual o superior a $2.5 \frac{^\circ}{s^2}$ y la aceleración lateral igual o superior a $1.5 \frac{m}{s^2}$.

Utilizando estos umbrales, y graficando los segmentos resultantes se obtuvieron múltiples gráficos. Estos gráficos representan el comportamiento de las variables con respecto a la posición (latitud y longitud) en un gráfico tridimensional.

Desde la figura 5.7 a la figura 5.20 corresponde a los resultados obtenidos de la detección de eventos de riesgo. En este caso el código detectó que en un segmento que superó el umbral de la aceleración lateral. En los resultados se encontraron 5 viajes que recorren el segmento de interés, donde tres (rojo, azul y morado) corresponden a un trayecto y dos (amarillo y verde) a otro. Para facilitar el análisis se grafican solo los tres primeros. Además, en las **TABLAS 5.2, 5.3 Y 5.4** se encuentran parámetros estadísticos para los viajes 1, 3 y 4 respectivamente, tales como el valor máximo, mínimo, media aritmética, desviación estándar, mediana y moda, por cada uno de los viajes detectados.

Tabla 5.2. Parámetros Estadísticos de variables bus 1 viaje 1.

Variable	Máximo	Mínimo	Media Aritmética	Desviación Estándar	Mediana	Moda
Ac_lat	0.49	-1.97	-0.18	0.69	0.18	0.25
Ac_lon	1.60	-2.10	-0.01	0.87	0.05	0.30
Velocidad	70.00	6.00	36.00	19.47	33.00	15.00
Jerk	0.60	-0.66	0.00	0.17	0.00	-0.01
Yaw_rate	1.71	-14.32	-2.39	4.43	0.00	0.00
Derivada Yaw_rate	3.72	-3.44	0.03	1.03	0.00	0.00
Ángulo Volante	30.93	-381.59	-60.28	100.84	-8.02	0.00

Tabla 5.3. Parámetros Estadísticos de variables bus 1 viaje 3.

Variable	Máximo	Mínimo	Media Aritmética	Desviación Estándar	Mediana	Moda
Ac_lat	0.46	-1.58	-0.22	0.48	-0.02	-0.08
Ac_lon	1.30	-1.30	0.21	0.69	0.40	0.70
Velocidad	82.00	18.00	42.97	18.62	41.00	23.00
Jerk	0.47	-0.51	0.00	0.16	0.00	-0.14
Yaw_rate	2.29	-10.89	-2.28	3.97	0.00	0.00
Derivada Yaw_rate	2.86	-2.29	0.03	1.09	0.00	0.00
Ángulo Volante	5.16	-336.90	-85.97	97.63	-20.94	-33.80



Tabla 5.4. Parámetros Estadísticos de variables bus 1 viaje 4.

Variable	Máximo	Mínimo	Media Aritmética	Desviación Estándar	Mediana	Moda
Ac_lat	0.47	-0.78	-0.06	0.31	0.04	0.16
Ac_lon	1.00	-0.90	0.23	0.54	0.25	1.00
Velocidad	63.00	10.00	32.62	17.11	29.50	12.00
Jerk	0.16	-0.25	0.00	0.08	0.01	-0.01
Yaw_rate	4.01	-10.31	-1.79	3.39	0.00	0.00
Derivada Yaw_rate	1.60	-2.00	-0.07	0.64	0.00	0.00
Ángulo Volante	208.56	-335.75	-44.79	114.91	12.03	11.46

En la figura 5.7 se observa la forma que corresponde a cada trayecto, donde los viajes rojo, azul y morado corresponden al trayecto “a” y amarillo y verde al trayecto “b”. Debido a que los viajes del trayecto “b” corresponden a otra ruta, no se considerarán en el análisis.

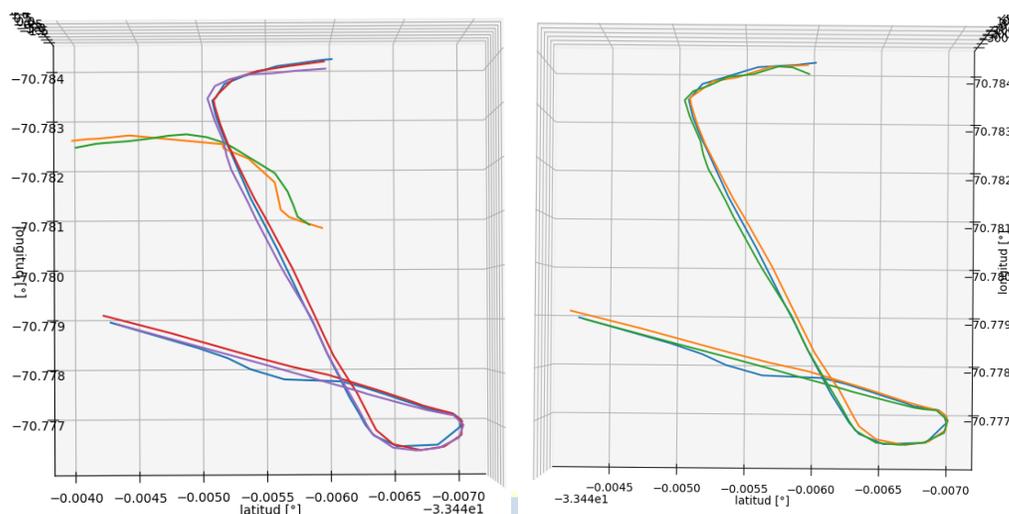


Figura 5.7. Vista superior gráfico 3D aceleración lateral v/s posición(latitud y longitud). Donde en la imagen de la izquierda se observan los 5 viajes detectados. En la imagen de la derecha se observa solo los tres primeros. Los ejes corresponden a la longitud (ordenada) y latitud (abscisa).

Los tres viajes detectados dentro de la ruta corresponden a viajes realizados por el bus 1, correspondientes al viaje 1, viaje 3 y viaje 4.

Sobre la aceleración lateral, se observa en la figura 5.8 y 5.9, junto a los datos entregados por las **TABLAS 5.2, 5.3 Y 5.4**, que en el segmento seleccionado se presentan dos eventos, señalados por un punto rojo, que superan el umbral de aceleración lateral (línea negra). Un caso para el viaje 1 y el otro caso en el viaje 3. También destaca que el viaje 4 se encuentra en todo momento dentro de un rango bajo de la aceleración lateral.

Es importante destacar la diferencia entre los tres viajes, ya que todos realizan el mismo trayecto y corresponden al mismo bus, pero presentan variaciones destacables, como las diferencias de amplitud ($2.46 \frac{m}{s^2}$ en el viaje 1, $2.04 \frac{m}{s^2}$ en el viaje 3 y $1.25 \frac{m}{s^2}$ en el viaje 4), de media aritmética ($-0.18 \frac{m}{s^2}$ en el viaje 1, $-0.22 \frac{m}{s^2}$ en el viaje 3 y $-0.06 \frac{m}{s^2}$ en el viaje 4) y de desviaciones estándar (0.69 en el viaje 1, 0.48 en el viaje 3 y 0.31 en el viaje 4) con respecto a la aceleración lateral.

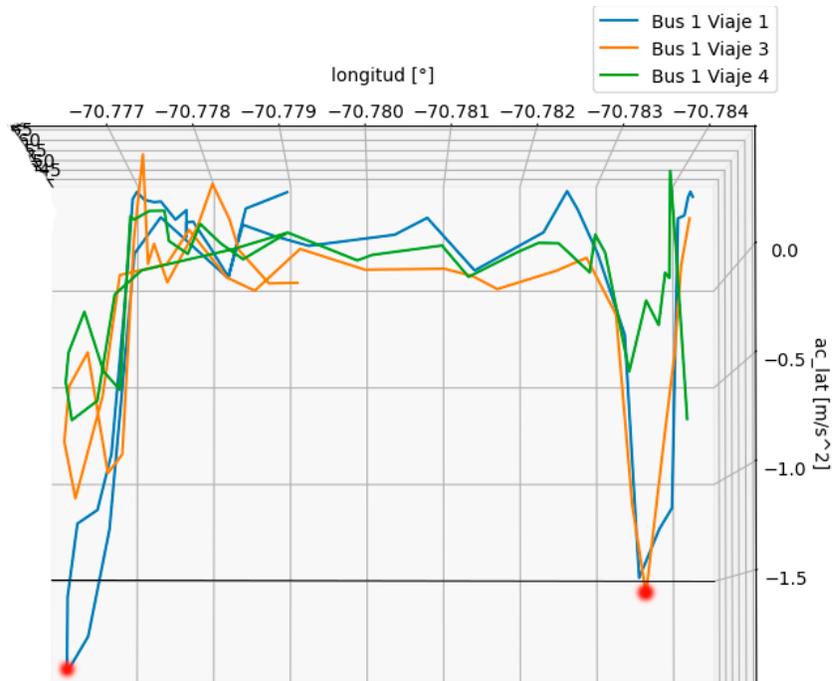


Figura 5.8. Vista lateral gráfico 3D aceleración lateral v/s posición(latitud y longitud).

Donde eje horizontal corresponde a la longitud; eje vertical corresponde a la aceleración lateral; eje perpendicular corresponde a la latitud. La línea negra corresponde al umbral de aceleración lateral y los puntos rojos indican los eventos generados.

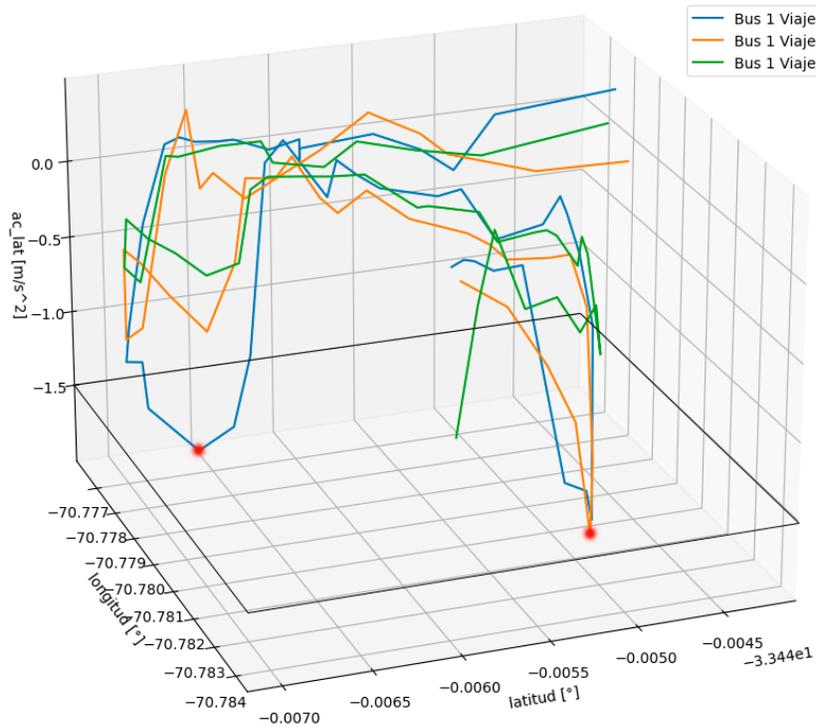


Figura 5.9. Vista diagonal gráfico 3D aceleración lateral v/s posición (latitud y longitud).

Donde eje vertical corresponde a la aceleración lateral y los ejes del plano horizontal a longitud y latitud; La línea negra corresponde al umbral de aceleración lateral y los puntos rojos indican los eventos generados.

En las figuras 5.10 y 5.11 se observa el comportamiento de la velocidad con respecto a la posición.

La velocidad no presenta un umbral para el estudio, además de las restricciones de velocidad por ruta que generalmente van entre los 90 a $100 \frac{km}{h}$.

De lo que se observa en los gráficos de la figura 5.10 y 5.11, junto a las TABLAS 5.2, 5.3 Y 5.4, ocurre una situación similar a la aceleración lateral, donde el viaje 4 presenta una velocidad promedio de $32.62 \frac{km}{h}$ y amplitud de $53 \frac{km}{h}$, siendo más bajo que las velocidades promedio y amplitudes de los viajes 1 (velocidad promedio de $36 \frac{km}{h}$ y amplitud de $64 \frac{km}{h}$) y 3 (velocidad promedio de $42.97 \frac{km}{h}$ y amplitud de $64 \frac{km}{h}$).

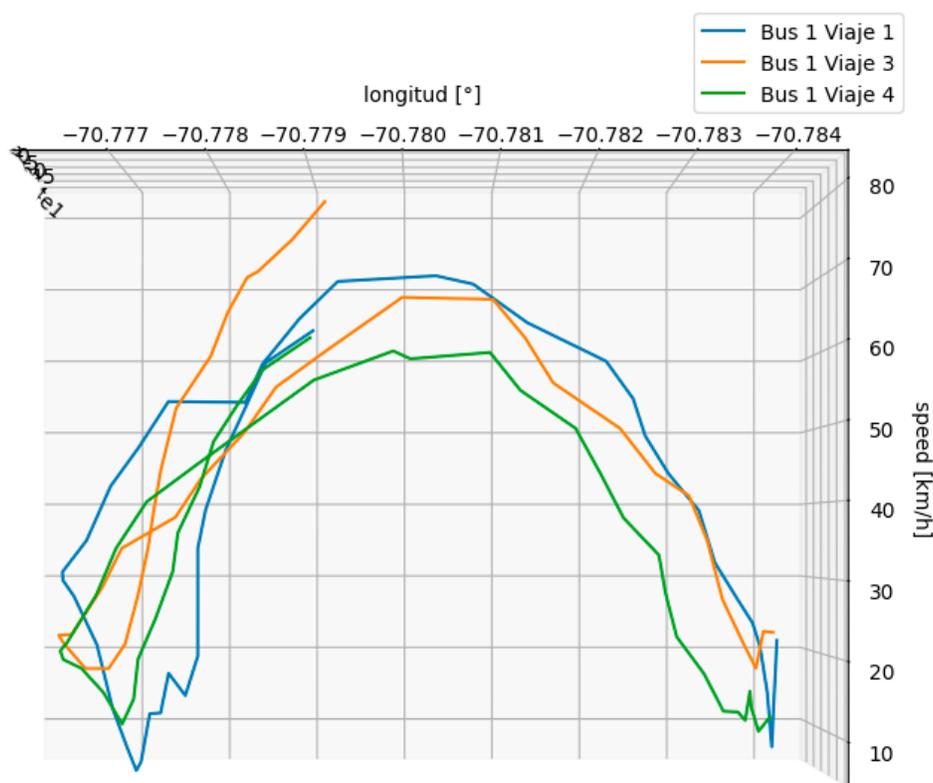


Figura 5.10. Vista lateral gráfico 3D velocidad v/s posición (latitud y longitud).

Donde eje horizontal corresponde a la longitud; eje vertical corresponde a la velocidad; eje perpendicular corresponde a la latitud.

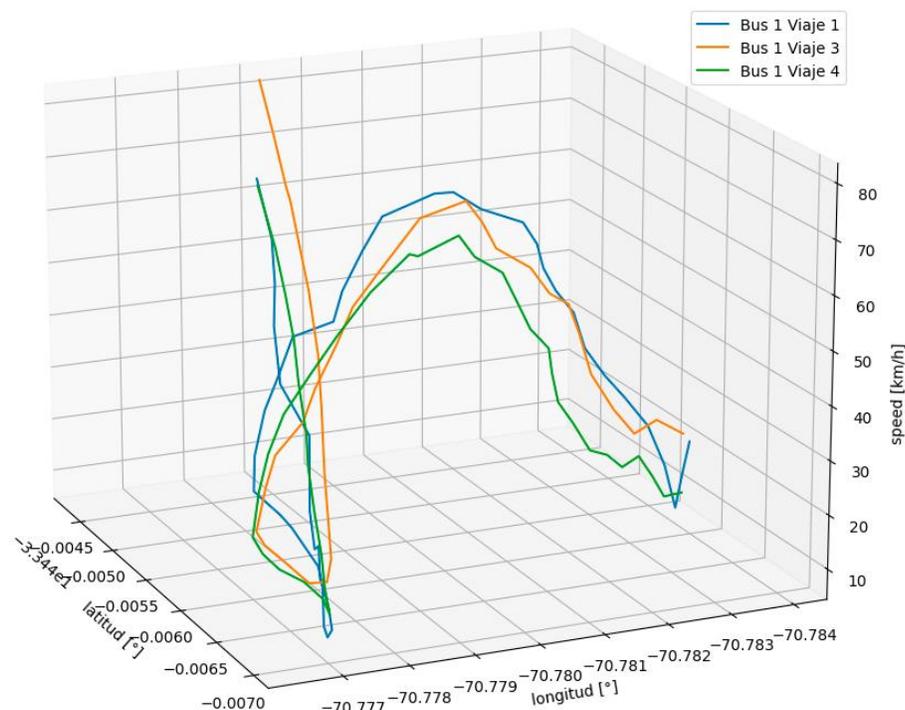


Figura 5.11. Vista diagonal gráfico 3D velocidad v/s posición (latitud y longitud).

Donde eje vertical corresponde a la velocidad y los ejes del plano horizontal corresponden a la latitud y longitud.

Los gráficos de la aceleración longitudinal se presentan en las figuras 5.12 y 5.13. En estos gráficos se observa que el comportamiento de las aceleraciones longitudinales, donde una aceleración positiva corresponde a la aceleración o pisado del pedal de aceleración y una aceleración negativa corresponde al frenado del vehículo. De acuerdo con los valores indicados en las **TABLAS 5.2, 5.3 Y 5.4**, se observa que el viaje 1 presenta una amplitud de $3.70 \frac{m}{s^2}$, siendo mayor que los otros viajes ($2.60 \frac{m}{s^2}$ en el viaje 3 y $1.90 \frac{m}{s^2}$ en el viaje 4), así como una desviación estándar de 0.87, mayor que en el viaje 3 (0.69) y 4 (0.54). Esto también se observa en las figuras 5.12 y 5.13, donde el viaje 1 presenta variaciones más pronunciadas y umbrales más altos que las otras dos gráficas en comparación con el viaje 4, que presenta en el gráfico variaciones más leves menores umbrales.

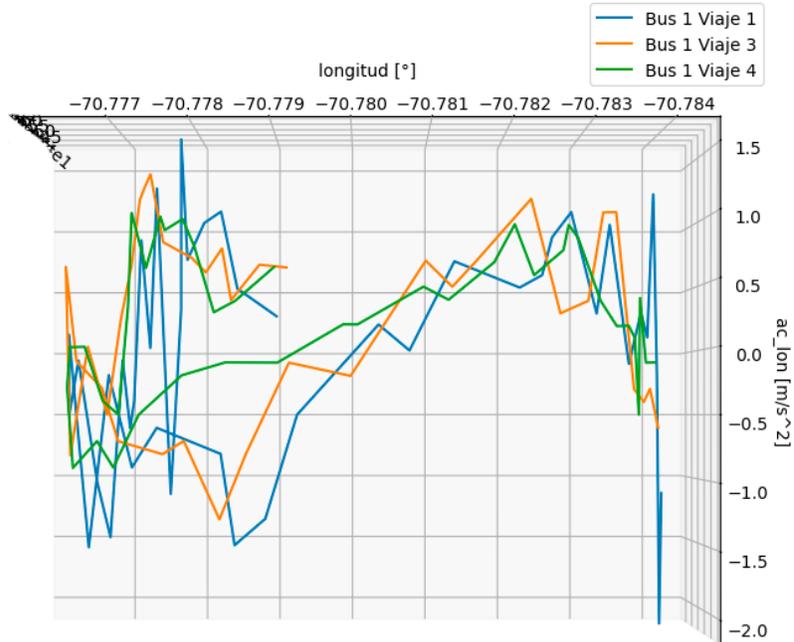


Figura 5.12. Vista lateral gráfico 3D aceleración longitudinal v/s posición (latitud y longitud).
 Donde eje horizontal corresponde a la longitud; eje vertical corresponde a la aceleración longitudinal; eje perpendicular corresponde a la latitud.

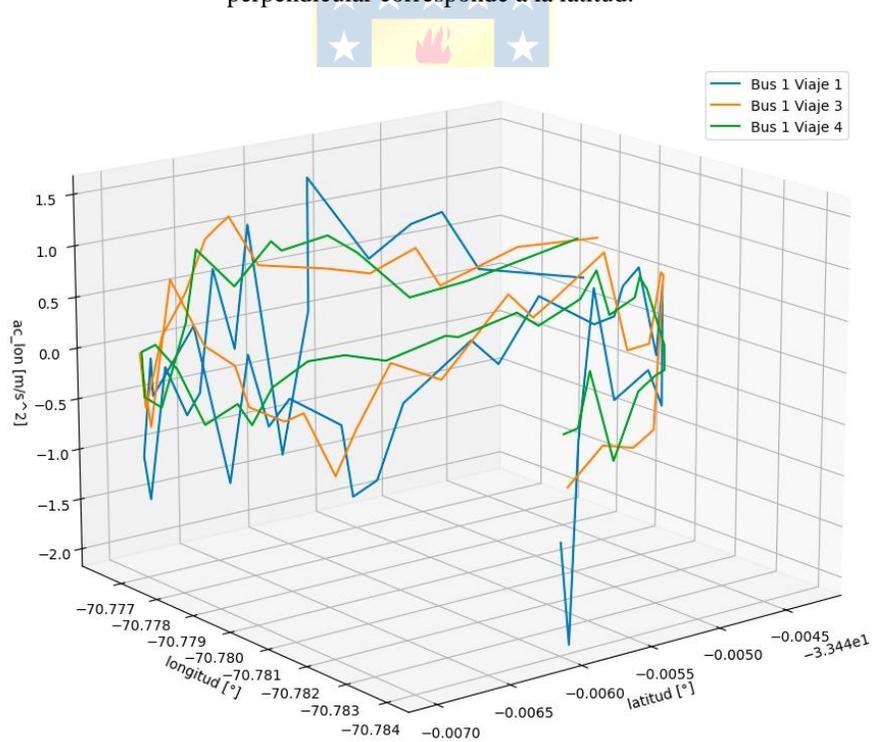


Figura 5.13. Vista diagonal gráfico 3D aceleración longitudinal v/s posición (latitud y longitud).
 Donde eje vertical corresponde a la aceleración longitudinal y los ejes del plano horizontal corresponden a la latitud y longitud.

Las figuras 5.14 y 5.15 corresponden a los gráficos del jerk lateral con respecto a la posición. Con respecto a los datos de las TABLAS 5.2, 5.3 Y 5.4, destaca que ninguno de los tres viajes supera el umbral presentado en la TABLA 4.4. También se observa que el viaje 4 presenta una amplitud de $0.41 \frac{m}{s^3}$ junto a una desviación estándar de 0.08, siendo ambos valores menores a los otros dos viajes (amplitud de $1.26 \frac{m}{s^3}$ y desviación estándar de 0.17 en el viaje 1 y amplitud de $0.98 \frac{m}{s^3}$ y desviación estándar de 0.16 en el viaje 3).

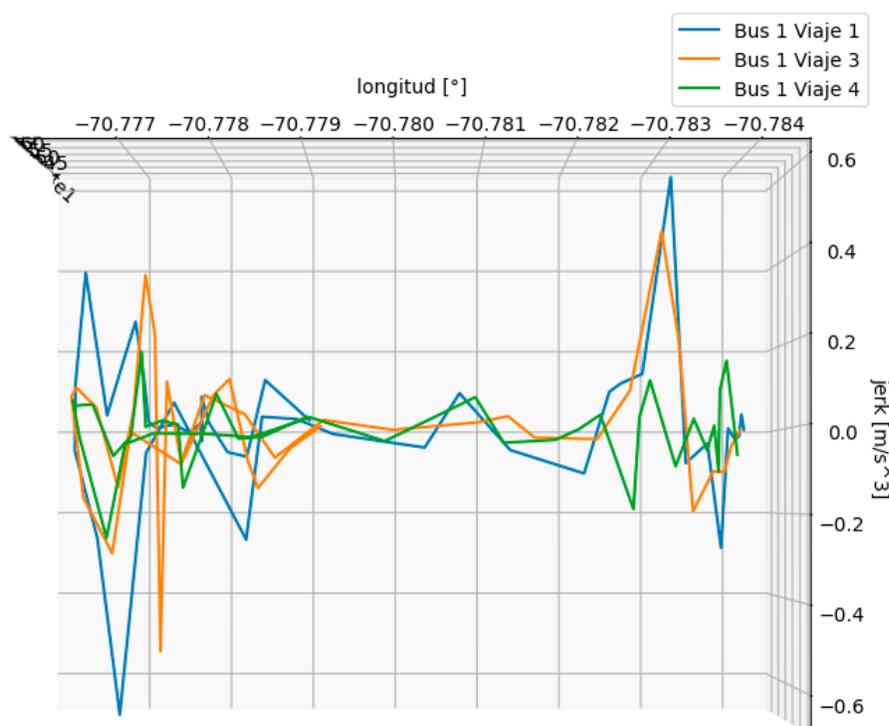


Figura 5.14. Vista lateral gráfico 3D jerk lateral v/s posición (latitud y longitud).
Donde eje horizontal corresponde a la longitud; eje vertical corresponde al jerk lateral; eje perpendicular corresponde a la latitud.

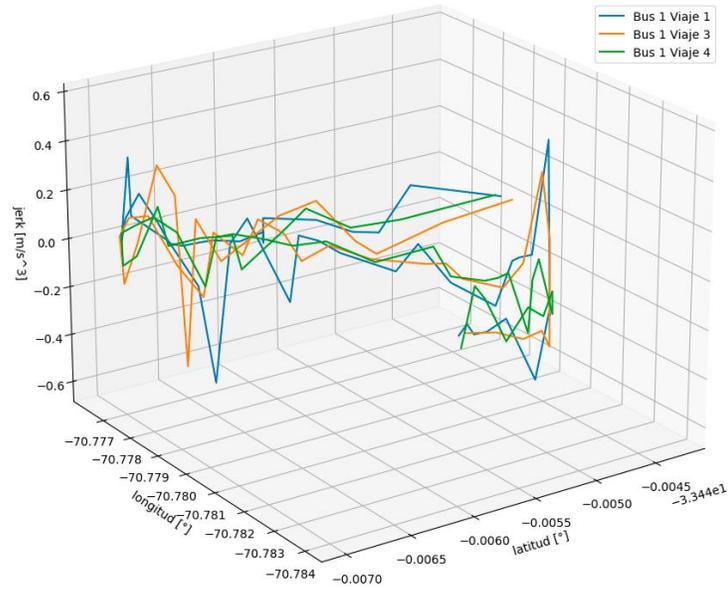


Figura 5.15. Vista diagonal gráfico 3D jerk lateral v/s posición (latitud y longitud).
 Donde eje vertical corresponde al jerk lateral y los ejes del plano horizontal corresponden a la latitud y longitud.

Las figuras 5.16 y 5.17 corresponden a los gráficos del yaw rate con respecto a la posición. Con respecto a los datos de las TABLAS 5.2, 5.3 Y 5.4, se observa que los rangos de amplitud que presentan son similares ($16.03 \frac{\circ}{s}$ en el viaje 1, $13.18 \frac{\circ}{s}$ en el viaje 3 y 14.32 en el viaje 4), destacando el viaje 4 con una desviación estándar de 3.39, menor que los otros dos viajes (3.97 en el viaje 3 y 4.43 en el viaje 1). También se observa que los valores son mayormente negativos debido a que las curvas de la ruta son todas en el mismo sentido.

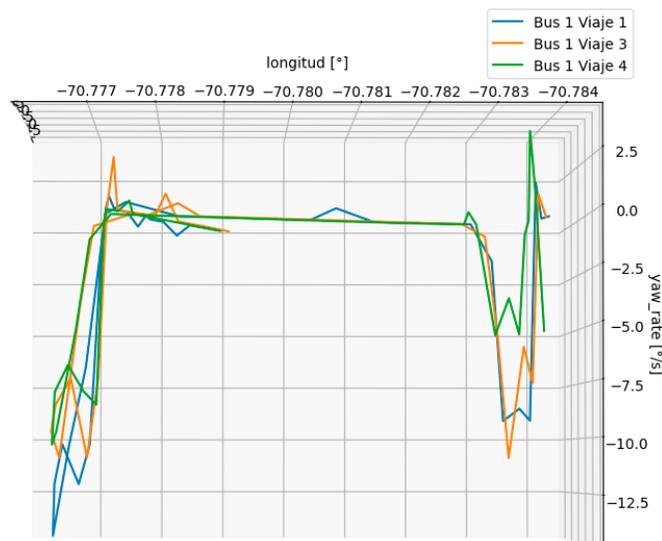


Figura 5.16. Vista lateral gráfico 3D yaw rate v/s posición (latitud y longitud).
 Donde eje horizontal corresponde a la longitud; eje vertical corresponde al yaw rate; eje perpendicular corresponde a la latitud.

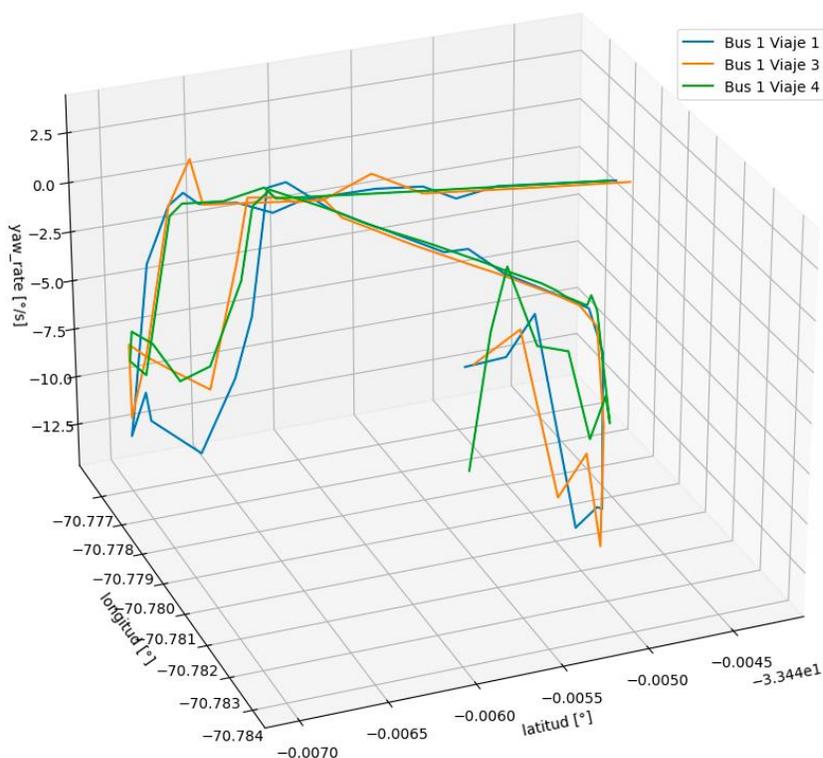


Figura 5.17. Vista diagonal gráfico 3D yaw rate v/s posición (latitud y longitud).

Donde eje vertical corresponde al yaw rate y los ejes del plano horizontal corresponden a la latitud y longitud.

En las figuras 5.18 y 5.19 se observa el gráfico de la derivada del yaw rate con respecto a la posición. Con respecto al umbral de la derivada del yaw rate (línea negra en los gráficos) presentado en la TABLAS 4.4, se presentan 5 eventos, marcados con un punto rojo con respecto a esta variable.

De acuerdo con lo indicado en las TABLAS 5.2, 5.3 y 5.4 y las figuras 5.18 y 5.19, se observa que el viaje 4 mantiene un rango de amplitudes (máximo de $1.60 \frac{\circ}{s^2}$ y mínimo de $-2.00 \frac{\circ}{s^2}$) dentro de los parámetros normales. En cambio, el viaje 1 y 3 presentan eventos sobre el umbral (tres en el viaje 1, dos en el viaje 3) con amplitudes máximas y mínimas de $3.72 \frac{\circ}{s^2}$ y $-3.44 \frac{\circ}{s^2}$ para el viaje 1 y $2.86 \frac{\circ}{s^2}$ y $-2.29 \frac{\circ}{s^2}$ para el viaje 3.

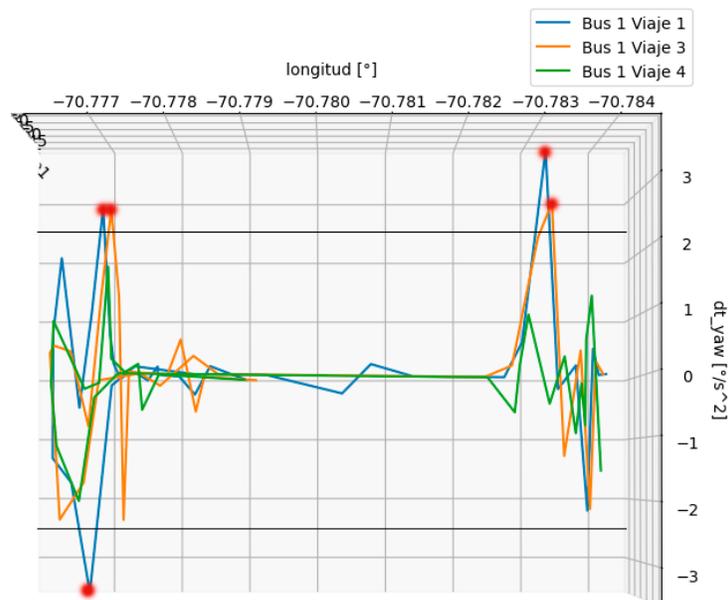


Figura 5.18. Vista lateral gráfico 3D derivada yaw rate v/s posición (latitud y longitud).

Donde eje horizontal corresponde a la longitud; eje vertical corresponde a la derivada del yaw rate; eje perpendicular corresponde a la latitud. Las líneas negras corresponden a los umbrales de la tabla 4.4; Los puntos rojos muestran los eventos presentes en el segmento.

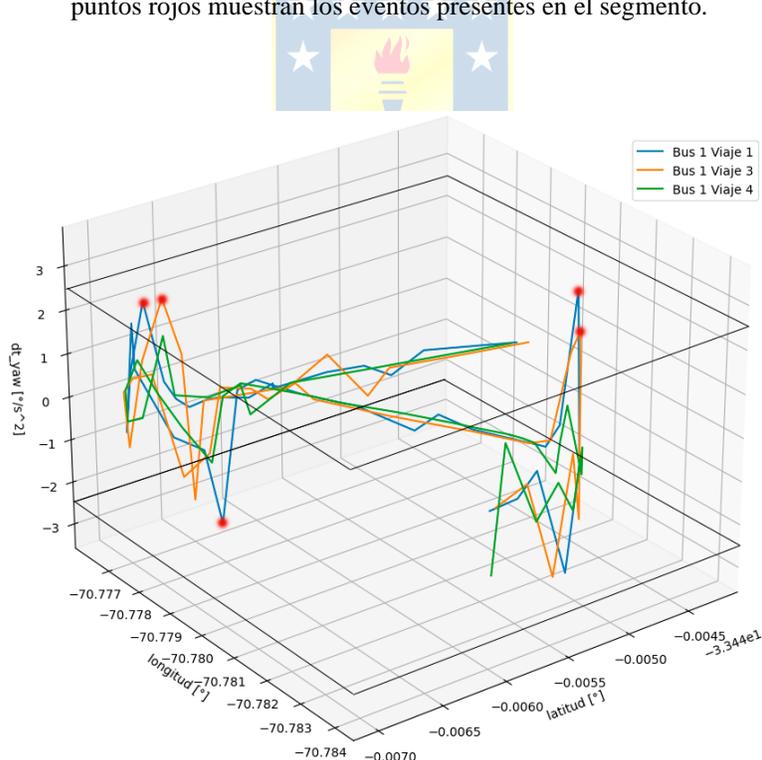


Figura 5.19. Vista diagonal gráfico 3D derivada yaw rate v/s posición (latitud y longitud).

Donde eje vertical corresponde a la derivada del yaw rate y los ejes del plano horizontal corresponden a la latitud y longitud. Los planos demarcados por las líneas negras corresponden a los umbrales de la derivada del yaw rate de la tabla 4.4; los puntos rojos destacan los eventos generados por superar el umbral.

En las figuras 5.20 y 5.21 se encuentra el gráfico del ángulo del volante con respecto a la posición. De las TABLAS 5.2, 5.3 Y 5.4 no se observan valores que destaquen entre viajes. En las figuras 5.20 y 5.21 se observa que los tres viajes mantienen un comportamiento similar, exceptuando un punto donde el viaje 4 destaca por su valor máximo (208.56 °) en comparación con el máximo de 30.93 ° en el viaje 1 y 5.16 en el viaje 3.

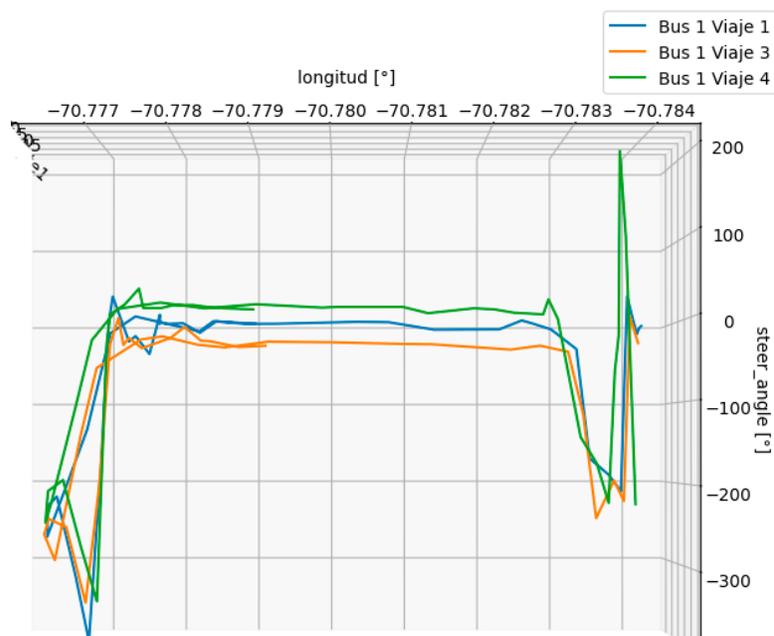


Figura 5.20. Vista lateral gráfico 3D ángulo del volante v/s posición (latitud y longitud).
Donde eje horizontal corresponde a la longitud; eje vertical corresponde al ángulo del volante; eje perpendicular corresponde a la latitud.

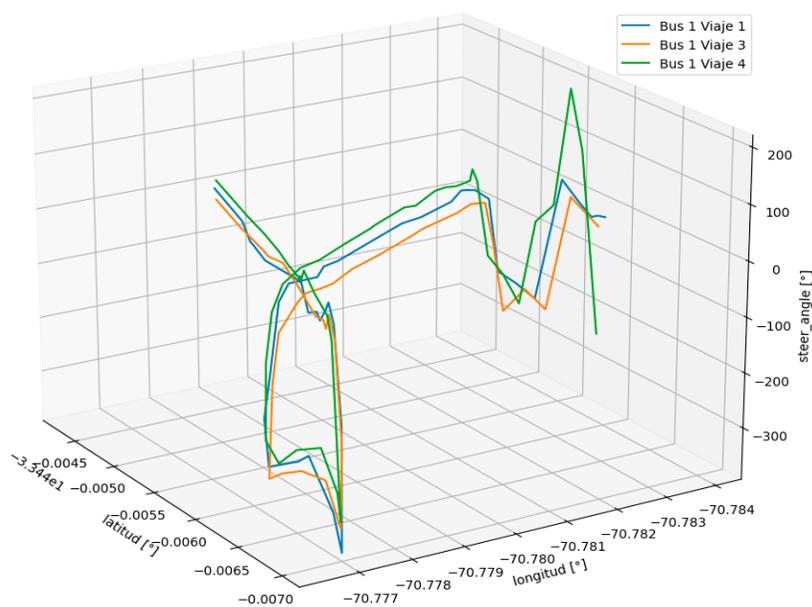
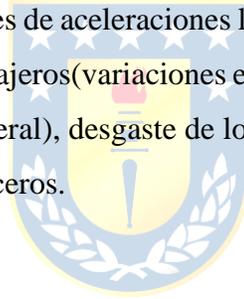


Figura 5.21. Vista diagonal gráfico 3D ángulo del volante v/s posición (latitud y longitud).
Donde eje vertical corresponde al ángulo del volante y los ejes del plano horizontal corresponden a la latitud y longitud.

5.4. Discusión

Con respecto a los resultados observados en los distintos gráficos se confirma lo indicado en el capítulo de la revisión bibliográfica sobre no poder detectar estados de somnolencia/fatiga o distracción en el conductor mediante los datos presentes. Esto se debe a que los datos obtenidos presentan el comportamiento mecánico del vehículo, permitiendo distinguir eventos de riesgo, analizar el comportamiento de las variables y sus relaciones para determinar la causa de dicho evento, permitiendo deducir que estos eventos surgen por motivos del conductor, pero no hay una forma de asegurar en qué estado específico se encuentra el conductor en ese momento.

De esto se comprende que, a pesar de no conocer el estado del conductor, se observa que si existe un comportamiento imprudente de parte del conductor, que lo hace superar los umbrales de riesgo. Esto se observa principalmente en los gráficos de velocidad y aceleración longitudinal, así como en el de la derivada del yaw rate. Los cambios bruscos en la derivada del yaw rate, así como en el caso de la aceleración longitudinal, explican un comportamiento no adecuado en varios aspectos, como la eficiencia energética (variaciones de aceleraciones longitudinales bruscas indican aceleración y frenados reiterados), confort de los pasajeros (variaciones espontáneas y de magnitud sobre el umbral en el caso del yaw rate y aceleración lateral), desgaste de los componentes del bus y hasta el posible riesgo de accidentes sobre el bus o a terceros.



Capítulo 6. Conclusiones

6.1. Sumario

En este trabajo se realizó un estudio previo de los conceptos fundamentales para la comprensión y el desarrollo del levantamiento y procesamiento de los datos, así como las especificaciones de los buses. También se realizó un estudio de trabajos previos para complementar los conocimientos necesarios para el análisis de los datos. Luego se explica el procedimiento realizado para el de levantamiento de datos, desde la instalación del sensor, hasta el envío de los datos a la base de datos. Continúa con la explicación del proceso de exportación de datos desde la base de datos MySQL a formato csv y su procesamiento mediante Python, para preparar el análisis de los datos. Para el análisis de los datos también se generó un código que detecta mediante umbrales, situaciones denominadas eventos de riesgo, utilizando los umbrales definidos en el estado del arte. Finalmente se realizan impresiones de los gráficos de los datos procesados para analizar el comportamiento de las variables en el transcurso del tiempo.



6.2. Discusión

La detección de estados del conductor requiere ser contrastada mediante algún método de observación, ya sea una cámara o un levantamiento de datos de forma presencial. Los análisis obtenidos generan información de valor principalmente para las estrategias de prevención de empresas de transporte.

Con respecto al levantamiento de datos, la tasa de muestreo utilizada quizás no fue la ideal, debido a que en casos como el jerk, que es calculado, una precisión en segundos podría ser más útil. Es probable que la tasa de muestreo de 10 a 15 segundos fuera la causante de que no apareciera ningún evento de riesgo con respecto al jerk.

En la fase del procesamiento de los datos, la preparación se dificultó, debido a que no era posible realizar análisis en base al tiempo. Esto se debe a que, al no ser una condición ideal, donde cada bus presenta velocidades distintas, un bus pasaría por segmentos en cantidades de tiempo menor que el otro, dependiendo de sus velocidades. Además, realizar interpolaciones para equiparar las muestras generaban pérdidas de valores importantes.

Debido a la falta de validación de estados del conductor, se tomó la decisión de analizar los datos obtenidos para obtener información de valor con respecto al cuidado del conductor, los pasajeros y el bus.

El análisis presenta la ventaja de que la muestra general de los 8 buses es de la misma marca y modelo de vehículo, del mismo año y la misma empresa, por lo que las mantenciones y uso son similares. Eso descarta del análisis de las variables problemas de mantenimiento, desgaste por año u otras fallas.

De los datos se puede definir dos grupos, los de acción directa del conductor y los de reacción. Por ejemplo, la aceleración longitudinal depende directamente de cómo presiona el conductor el pedal de aceleración y el pedal de freno. Así también en el caso del yaw rate, depende de qué tan rápido gire el volante y el ángulo del volante. En el caso del ángulo del volante, depende también del conductor, pero su comportamiento solo no indica algo destacable. Para los de reacción, se encontrarían la aceleración lateral, ya que depende de la velocidad de giro del bus. El jerk depende directamente de la aceleración lateral, debido a que equivale a su derivada, al igual que la derivada del yaw rate. La velocidad también entra en la clasificación de reacción, debido a que depende directamente de la aceleración longitudinal.

Es importante destacar que el análisis de la aceleración longitudinal y el yaw rate son herramientas claves en el cuidado del vehículo, rendimiento y seguridad del conductor y los pasajeros.

Para poder generar una caracterización del estado del conductor, se debería disponer de dispositivos tales como cámaras de somnolencia, mediciones de presión, ritmo cardiaco u otros. También sería factible realizar entrevistas a los conductores antes y después del recorrido, consultando por su estado en los eventos registrados durante el viaje.

6.3. Conclusiones

Con respecto a los objetivos propuestos no se logra determinar los estados de somnolencia/fatiga o distracción mediante la lectura de la RedCAN. Esto es debido a que no hay forma de contrastar los datos del bus con el estado del conductor.

En el análisis de las variables se determina que es posible caracterizar la conducción mediante distintos parámetros, como los umbrales de aceleración lateral, yaw rate y jerk utilizados. Con dichos umbrales, es posible detectar estados anormales, los cuales, en paralelo con algún método de

monitoreo, ya sea una cámara en el conductor u otras herramientas, podría detectar fallas en el vehículo, así como diversos estados del conductor con precisión.

Sobre los umbrales descritos en la revisión bibliográfica, se asume que son certeros y útiles para el estudio. Como no es posible validar el estado del conductor, se consideran umbrales de riesgo en general, permitiendo generar alertas en caso de eventos que podrían indicar tanto un malestar en el conductor, como una falla en la máquina.

En general, se concluye que el análisis de las variables como la aceleración lateral, aceleración longitudinal, yaw rate y su derivada, jerk, ángulo del volante y velocidad permiten identificar eventos de riesgo, los cuales son definidos por umbrales con respecto a la aceleración lateral (mayor o igual que $1.5 \frac{m}{s^2}$), jerk (mayor o igual que $2.0 \frac{m}{s^3}$) y la derivada del yaw rate (mayor o igual que $2.5 \frac{^\circ}{s^2}$), permitiendo además entender que el comportamiento del conductor es relevante con respecto a generar eventos de riesgo.

6.4. Trabajo Futuro

- Generar un sistema de asistente de ruta, el cual analice en tiempo real las variables entregadas por el móvil, generando alertas con respecto a conducción no segura, tanto al conductor como a la agencia encargada de monitoreo.
- Contrastar los datos de la RedCAN de los buses con los resultados de una cámara de somnolencia y utilizar herramientas de machine learning, para la detección de somnolencia/distracción de los estados del conductor sin necesidad de una cámara.
- Generar un estándar de conducción segura con respecto a viajes pasados, generando umbrales y relaciones entre las distintas variables entregadas por la RedCAN.
- Realizar estudios enfocados en aceleraciones longitudinales, para determinar nuevos umbrales tanto de incomodidad como de seguridad para el conductor y los pasajeros.
- Investigar el comportamiento de las variables mediante RedCAN, con respecto al desgaste de los componentes mecánicos del bus.

Bibliografía

- [1] Z. Chen, C. Wu, M. Zhong, N. Lyu, Z. Huang. “Identification of common features of vehicle motion under drowsy”, elsevier. *Accident Analysis and Prevention* 81. pp 251-259, 2015.
- [2] K. Tindell, A. Burns, A.J. Wellings. “Calculating controller area network (can) message response times”, elsevier. vol. 3, no. 8, pp 1163-1169, Agosto, 1995.
- [3] Repositorio privado Inway.
- [4] InwaySpa. “Inway” [En Línea]. Disponible en <https://www.inway.cl/>
- [5] Inventure Automotive, “CL-CAN” [En Línea]. Disponible en: inventure-automotive.com.
- [6] Chasis Bus “Volvo Buses” [En Línea]. Disponible en <https://www.volvobuses.com/ar/coaches/chassis/b450r-6x2/specifications.html>
- [7] Buses Hualpén “Hualpén” [En Línea]. Disponible en <https://www.buseshualpen.cl/>
- [8] J. Hernandez, M. Fabela. “Esquema de Instrumentación para determinar el ángulo de balanceo y la aceleración lateral en el movimiento oscilatorio de un péndulo”, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, pp. 6-7, México, 2004.
- [9] R. Ghandour, A. Victorino, A. Charara, D. Lechner. “Risk indicators anticipation based on the vehicle dynamics anticipation to avoid accidents”, *Intelligent vehicles symposium*, España, pp. 93-98. 2012
- [10] Steven H. Schot. “Jerk: The time rate of change of acceleration”, *American Journal of Physics* 46, 1090-1094. 1978.
- [11] C. Lovengreen, M. Alvares, H. Fuenzalida, M. Aritio. “Radiación ultravioleta productora de eritema en Valdivia. Comparación entre inferencias satelitales, modelo de transferencia radiativa y mediciones desde Tierra”, *Revista médica de Chile*, vol. 130, n°1, pp 17-25. 2002.
- [12] D. Pozo, N. Sotomayor. “Diseño y construcción de una plataforma didáctica para medir ángulos de inclinación usando sensores inerciales como acelerómetro y giroscopio” Tesis, Ingeniero Eléctrico. Febrero 2010, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Perú.
- [13] Steve Suehring. “MySQL Bible”. Wiley Publishing, Inc. pp. 35-40. EEUU, 2002.

- [14] I.Challenger, Y. Díaz, R. Becerra. "El lenguaje de programación Python". Ciencias Holguín, Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". pp. 4-8. 2014.
- [15] Python.org. "Datetime" [En Línea]. Disponible en: <https://docs.python.org/3/library/datetime.html>
- [16] NumPy. "Numpy" [En Línea]. Disponible en: <https://numpy.org/>
- [17] Python. "Python math module" [En Línea]. Disponible en: https://www.w3schools.com/python/module_math.asp
- [18] Matplotlib. "Matplotlib: Visualization with python" [En Línea]. Disponible en: <https://matplotlib.org/>
- [19] Pandas. "Pandas Pydata" [En Línea]. Disponible en: <https://pandas.pydata.org/>
- [20] Dbeaver "Dbeaver" [En Línea]. Disponible en <https://dbeaver.io/>
- [21] Microsoft. "Crear o editar archivos .csv" [En Línea]. Disponible en: <https://support.microsoft.com/es-es/office/crear-o-editar-archivos-csv-para-importarlos-a-outlook-4518d70d-8fe9-46ad-94fa-1494247193c7>
- [22] T.Nguyen, N. NguyenDinh, B. Lechner, Y. Diew. "Insight into the lateral ride discomfort thresholds of young adult bus passengers at multiple postures: Case of Singapore", Elsevier. Case Studies on Transport Policy 7. pp 617-627, 2019
- [23] F.Omerustaoglu, C. Okan, G.Kar. "Distracted driver detection by combining in-vehicle and image data Using Deep Learning", Elsevier. Applied Soft Computing Journal 96. 2020.
- [24] S. Jafarnejad, G. Castignani, T. Engel "Non-intrusive Distracted Driving Detection based on Driving Sensing Data", In Proceedings of the 4th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. pp 178-186. 2018.

Anexo A. Código en Python

6.5. Variables

Nombre Variable	Función
<i>carpetas</i>	Lista que guarda los nombres de carpetas por bus
<i>intervalo</i>	Constante que indica el tamaño del intervalo de latitud
<i>lista_buses</i>	Lista que anida las listas por bus luego del procesamiento
<i>contador_segmentos</i>	Variable que cuenta los segmentos
<i>num_segmento_1</i>	Variable auxiliar que guarda el valor actual de la variable <i>num_segmento</i>
<i>archivos</i>	Lista que contiene los nombres de los archivos csv por viaje
<i>lista_df</i>	Lista donde se guarda el dataframe con las nuevas columnas
<i>df</i>	Lista donde se carga el dataframe del archivo csv
<i>arreglo_jerk</i>	Arreglo donde se guarda los valores calculados del jerk
<i>arreglo_dt_yaw</i>	Arreglo donde se guarda los valores calculados de la derivada del yaw rate
<i>arreglo_tiempo</i>	Arreglo donde se guarda los valores del tiempo normalizado en segundos
<i>arreglo_segmento</i>	Arreglo que guarda el número de segmento correspondiente
<i>num_segmento</i>	Variable auxiliar que cuenta los segmentos
<i>ind</i>	Variable auxiliar que indica estados(0,1 principalmente)
<i>limite_inferior</i>	Constante que indica la latitud inferior a utilizar
<i>delta_tiempo</i>	Variable auxiliar que guarda la diferencia actual del tiempo
<i>umbral_ac_lat</i>	Constante que guarda el valor del umbral de la aceleración lateral
<i>umbral_dt_yaw</i>	Constante que guarda el valor del umbral de la derivada del yaw rate
<i>umbral_jerk</i>	Constante que guarda el valor del umbral del jerk
<i>evento</i>	Variable auxiliar que indica el tipo de evento (1: jerk, 2: derivada yaw rate,3: aceleración lateral,0: sin evento)
<i>pos_seg</i>	Variable auxiliar que guarda el número del segmento actual
<i>lista_segmentos</i>	Lista que anida las listas de variables del segmento donde ocurre el evento
<i>datos_bus</i>	Lista que recibe los números del bus y del viaje donde ocurre el evento
<i>coef_corr_yaw_ac_lat</i>	Guarda coeficiente de correlación entre yaw rate y aceleración lateral
<i>coef_corr_speed_ac_lat</i>	Guarda coeficiente de correlación entre velocidad y aceleración lateral
<i>coef_corr_ac_lon_ac_lat</i>	Guarda coeficiente de correlación entre aceleración longitudinal y lateral
<i>coef_corr_steer_ac_lat</i>	Guarda coeficiente de correlación entre ángulo del volante y aceleración lateral
<i>coef_corr_ac_lon_speed</i>	Guarda coeficiente de correlación entre aceleración longitudinal y velocidad
<i>coef_corr_ac_lon_yaw</i>	Guarda coeficiente de correlación entre aceleración longitudinal y yaw rate

<i>coef_corr_ac_lon_steer</i>	Guarda coeficiente de correlación entre aceleración longitudinal y ángulo del volante
<i>coef_corr_speed_yaw</i>	Guarda coeficiente de correlación entre velocidad y yaw rate
<i>coef_corr_speed_steer</i>	Guarda coeficiente de correlación entre velocidad y ángulo del volante
<i>coef_corr_yaw_steer</i>	Guarda coeficiente de correlación entre yaw rate y ángulo del volante

6.6. Funciones

Nombre Variable	Función
<i>CalculoDerivada(Float presente, Float pasado, Float delta_tiempo)</i>	Retorna la diferencia tipo (presente-pasado)/delta_tiempo
<i>ValidacionDatos(Float dato)</i>	Retorna dato si el valor válido. Retorna 0 si el valor es NaN
<i>GraficoEvento(List lista_bus, Int segmento_evento)</i>	Retorna lista de variables por bus que pertenezcan al numero de segmento
<i>Grafico3D(String str_variable, List lista, String xlabel_str, List datos_bus)</i>	Imprime en pantalla un gráfico en tres dimensiones de la columna <i>str_variable</i> existente en <i>lista</i>
<i>Estadistica(List <Float> arr)</i>	Retorna una lista con los valores estadísticos máximo, mínimo, media aritmética, moda, mediana y desviación estándar del arreglo <i>arr</i>
<i>Interpolacion(List<Float> lista1, List<Float> lista2, List<Float> base1, List<Float> base2)</i>	Retorna la interpolación y la lista que se usó como base, además del arreglo de la base

6.7. Código Fuente

A.1.1 Carga de bibliotecas

```

import os
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import stats as st
import statistics as sta
import pandas as pd
from datetime import datetime as dt
from math import pi

```

A.1.2 Funciones

```
def CalculoDerivada(presente, pasado, delta_tiempo):
    if delta_tiempo and delta_tiempo != 0:
        derivada = (presente-pasado)/delta_tiempo
    else:
        derivada = 0
    return derivada
```

```
def ValidacionDatos(dato):
    if dato and not np.isnan(dato):
        valor = dato
    else:
        valor = 0
    return valor
```

```
def GraficoEvento(lista_bus, segmento_evento):
    aux = 0
    lista_aux = []
    datos_bus = []
    cont_bus = 0
    cont_viaje = 0
    for bus in lista_bus:
        for viaje in bus:
            for i in range(len(viaje)):
                if viaje['segmento'][i] == segmento_evento and aux == 0:
                    aux = 1
                    lim_inf = i
                elif viaje['segmento'][i] != segmento_evento and aux == 1:
                    aux = 0
                    lim_sup = i
                    lista_aux.append((viaje[lim_inf:lim_sup]))
                    datos_bus.append({'bus': cont_bus, 'viaje': cont_viaje})
                    lim_inf = 0
                    lim_sup = 0
                    break
            cont_viaje += 1
        cont_bus += 1
    return lista_aux, datos_bus
```



```

def Graficos3D(str_variable, lista,xlabel_str, datos_bus):
    fig = plt.figure()
    ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
    ax.set_xlabel('latitud [°]')
    ax.set_ylabel('longitud [°]')
    ax.set_zlabel(xlabel_str)
    i = 0
    for row in lista:

        ax.plot(row['lat'],row['long'],row[str_variable], label = 'Bus
'+str(datos_bus[i]['bus']+1)+' Viaje '+str(datos_bus[i]['viaje']+1))
        i+= 1
    ax.legend()

    plt.show()

def Estadistica(arr):
    lista = []
    dmax = np.max(arr)
    dmin = np.min(arr)
    dmedia = np.mean(arr)
    dmoda = st.mode(arr)
    dmediana = sta.median(arr)
    ddesv = np.std(arr)
    lista.append({'min': dmin,'max': dmax,'media': dmedia,'moda':
dmoda[0][0],'mediana': dmediana,'desv_standar': ddesv})
    return lista

def Interpolacion(lista1, lista2, base1, base2):
    if len(lista1) >= len(lista2):
        interpolacion1 = lista1
        base = base1
        interpolacion2 = np.interp(base1,base2,lista2)
    else:
        interpolacion1 = np.interp(base2,base1,lista1)
        base = base2
        interpolacion2 = lista2
    return interpolacion1, interpolacion2, base

```



A.1.3 Cuerpo del código

```

carpetas = ['B-813', 'B-814', 'B-816', 'B-817', 'B-818', 'B-820', 'B-821', 'B-822']

### IMPORTACION DE DATOS

intervalo = 0.002

lista_buses = []
contador_segmentos = []
num_segmento_1 = 0
for bus in carpetas:
    archivos = os.listdir(bus)
    lista_df = []
    for viaje in archivos:
        df = pd.read_csv(bus+'/'+viaje)
        arreglo_jerk = np.zeros(len(df))
        arreglo_dt_yaw = np.zeros(len(df))
        arreglo_tiempo = np.zeros(len(df))
        arreglo_segmento = np.zeros(len(df))
        num_segmento = 0
        ind = 0
        limite_inferior = -33.4600
        for i in range(len(df)):
            df['ac_lat'][i] = ValidacionDatos(df['ac_lat'][i])
            df['ac_lon'][i] = ValidacionDatos(df['ac_lon'][i])
            df['yaw_rate'][i] = ValidacionDatos(df['yaw_rate'][i])*180/pi
            df['steer_angle'][i] = ValidacionDatos(df['steer_angle'][i])*180/pi
            df['lat'][i] = ValidacionDatos(df['lat'][i])
            df['long'][i] = ValidacionDatos(df['long'][i])
            df['speed'][i] = ValidacionDatos(df['speed'][i])

### CALCULO DERIVADAS

if ind == 0:
    arreglo_jerk[i] = 0
    arreglo_dt_yaw[i] = 0
    arreglo_tiempo[i] = 0
    ind = 1
else:
    delta_tiempo = (dt.strptime(df['devicetime'][i], '%Y-%m-%d %H:%M:%S') -
dt.strptime(df['devicetime'][i-1], '%Y-%m-%d %H:%M:%S')).seconds
    arreglo_tiempo[i] = arreglo_tiempo[i-1] + delta_tiempo
    arreglo_jerk[i] = CalculoDerivada(df['ac_lat'][i], df['ac_lat'][i-1], delta_tiempo)
    arreglo_dt_yaw[i] = CalculoDerivada(df['yaw_rate'][i], df['yaw_rate'][i-1],
delta_tiempo)

```

ETIQUETA SEGMENTOS

```

while True:
    if df['lat'][i] >= (limite_inferior+intervalo):
        num_segmento = num_segmento + 1
        limite_inferior = limite_inferior + intervalo
    else:

        break
if num_segmento != num_segmento_1:
    contador_segmentos.append((num_segmento))
    num_segmento_1 = num_segmento

arreglo_segmento[i]=num_segmento

```

EXPORTAR NUEVAS COLUMNAS AL DataFrame

```

df['tiempo_segundos'] = arreglo_tiempo
df['jerk'] = arreglo_jerk
df['dt_yaw'] = arreglo_dt_yaw
df['segmento'] = arreglo_segmento
lista_df.append((df)) ## VIAJES POR BUS
lista_buses.append((lista_df)) # BUSES

```



DETECCION DE EVENTOS DE RIESGO

```

umbral_ac_lat = 1.5
umbral_dt_yaw = 2.5 #0.044
umbral_jerk = 2
evento = 0
for bus in lista_buses:
    for viaje in bus:
        for i in range(len(viaje)):
            if evento == 0:
                if abs(viaje['jerk'][i]) >= umbral_jerk:
                    pos_seg = viaje['segmento'][i]
                    lista_segmentos,datos_bus = GraficoEvento(lista_buses, pos_seg)
                    evento = 1
                elif abs(viaje['dt_yaw'][i]) >= umbral_dt_yaw:
                    pos_seg = viaje['segmento'][i]
                    lista_segmentos,datos_bus = GraficoEvento(lista_buses, pos_seg)
                    evento = 2
                elif abs(viaje['ac_lat'][i]) >= umbral_ac_lat:
                    pos_seg = viaje['segmento'][i]
                    lista_segmentos,datos_bus = GraficoEvento(lista_buses, pos_seg)
                    evento = 3

```

GRAFICOS POR VARIABLE

```
plt.figure(1)
plt.title('Ruta Santiago-Antofagasta')
plt.ylabel('latitud [°]')
plt.xlabel('longitud [°]')
plt.plot(lista_buses[0][0]['long'], lista_buses[0][0]['lat'])
plt.show()
```

```
plt.figure(2)
plt.title('Frecuencia de segmentos')
plt.xlabel('segmentos')
plt.ylabel('frecuencia')
plt.hist(contador_segmentos, 70)
plt.show()
```

```
plt.figure(3)
plt.suptitle("Bus_1 Viaje_1")
plt.subplot(3, 1, 1)
plt.xlabel('tiempo [s]')
plt.ylabel('ac_lat [m/s^2]')
plt.title('Aceleración Lateral v/s Tiempo')
plt.plot(lista_buses[0][0]['tiempo_segundos'], lista_buses[0][0]["ac_lat"])
plt.subplot(3, 1, 2)
plt.xlabel('tiempo [s]')
plt.ylabel('jerk [m/s^3]')
plt.title('Jerk v/s Tiempo')
plt.plot(lista_buses[0][0]['tiempo_segundos'], lista_buses[0][0]["jerk"])
plt.subplot(3, 1, 3)
plt.xlabel('tiempo [s]')
plt.ylabel('velocidad [km/h]')
plt.title('Velocidad v/s Tiempo')
plt.plot(lista_buses[0][0]['tiempo_segundos'], lista_buses[0][0]["speed"])
plt.show()
```

```
plt.figure(4)
plt.suptitle("Bus_1 Viaje_1")
plt.subplot(3, 1, 1)
plt.xlabel('tiempo [s]')
plt.ylabel('yaw_rate [°/s]')
plt.title('Yaw Rate v/s Tiempo')
plt.plot(lista_buses[0][0]['tiempo_segundos'], lista_buses[0][0]["yaw_rate"])
plt.subplot(3, 1, 2)
plt.xlabel('tiempo [s]')
plt.ylabel('yaw_rate_dt [°/s^2]')
plt.title('Derivada Yaw Rate v/s Tiempo')
plt.plot(lista_buses[0][0]['tiempo_segundos'], lista_buses[0][0]["dt_yaw"])
plt.subplot(3, 1, 3)
```

```
plt.xlabel('tiempo [s]')
plt.ylabel('Ángulo_Volante [°]')
plt.title('Ángulo Volante v/s Tiempo')
plt.plot(lista_buses[0][0]['tiempo_segundos'], lista_buses[0][0]['steer_angle'])
plt.show()
```

```
plt.figure(5)
plt.suptitle("Correlaciones ac_lat Viaje_1")
plt.subplot(5, 2, 1)
plt.xlabel('ac_lat[m/s^2]')
plt.ylabel('yaw_rate[°/s^2]')
plt.title('yaw_rate v/s Acel_lat')
plt.scatter(lista_buses[0][0]['ac_lat'], lista_buses[0][0]['yaw_rate'])
plt.subplot(5, 2, 2)
plt.xlabel('ac_lat[m/s^2]')
plt.ylabel('speed[km/h]')
plt.title('velocidad v/s Acel_lat')
plt.scatter(lista_buses[0][0]['ac_lat'], lista_buses[0][0]['speed'])
plt.subplot(5, 2, 3)
plt.xlabel('ac_lat[m/s^2]')
plt.ylabel('ac_lon[m/s^2]')
plt.title('Acel_long v/s Acel_Lat')
plt.scatter(lista_buses[0][0]['ac_lat'], lista_buses[0][0]['ac_lon'])
plt.subplot(5, 2, 4)
plt.xlabel('ac_lat[m/s^2]')
plt.ylabel('Ángulo volante[°]')
plt.title('Ángulo Volante v/s Acel_lat')
plt.scatter(lista_buses[0][0]['ac_lat'], lista_buses[0][0]['steer_angle'])
plt.subplot(5, 2, 5)
plt.xlabel('ac_lon[m/s^2]')
plt.ylabel('speed[km/h]')
plt.title('Ac_lat v/s velocidad')
plt.scatter(lista_buses[0][0]['ac_lon'], lista_buses[0][0]['speed'])
plt.subplot(5, 2, 6)
plt.xlabel('ac_lon[m/s^2]')
plt.ylabel('yaw_rate[°/s^2]')
plt.title('Ac_lon v/s yaw_rate')
plt.scatter(lista_buses[0][0]['ac_lon'], lista_buses[0][0]['yaw_rate'])
plt.subplot(5, 2, 7)
plt.xlabel('ac_lon[m/s^2]')
plt.ylabel('Ángulo volante[°]')
plt.title('Ac_lon v/s Ángulo Volante')
plt.scatter(lista_buses[0][0]['ac_lon'], lista_buses[0][0]['steer_angle'])
plt.subplot(5, 2, 8)
plt.xlabel('speed[km/h]')
plt.ylabel('yaw_rate[°/s^2]')
plt.title('Velocidad v/s yaw_rate')
plt.scatter(lista_buses[0][0]['speed'], lista_buses[0][0]['yaw_rate'])
```



```

plt.subplot(5, 2, 9)
plt.xlabel('speed[km/h]')
plt.ylabel('Ángulo Volante[°]')
plt.title('Velocidad v/s Ángulo Volante')
plt.scatter(lista_buses[0][0]['speed'], lista_buses[0][0]["steer_angle"])
plt.subplot(5, 2, 10)
plt.xlabel('yaw_rate[°/s^2]')
plt.ylabel('Ángulo Volante[°]')
plt.title('yaw_rate v/s Ángulo Volante')
plt.scatter(lista_buses[0][0]['yaw_rate'], lista_buses[0][0]["steer_angle"])

coef_corr_yaw_ac_lat = np.corrcoef(lista_buses[0][0]['ac_lat'], lista_buses[0][0]["yaw_rate"])
coef_corr_speed_ac_lat = np.corrcoef(lista_buses[0][0]['ac_lat'], lista_buses[0][0]["speed"])
coef_corr_ac_lon_ac_lat = np.corrcoef(lista_buses[0][0]['ac_lat'], lista_buses[0][0]["ac_lon"])
coef_corr_steer_ac_lat = np.corrcoef(lista_buses[0][0]['ac_lat'],
lista_buses[0][0]["steer_angle"])
coef_corr_ac_lon_speed = np.corrcoef(lista_buses[0][0]['ac_lon'], lista_buses[0][0]["speed"])
coef_corr_ac_lon_yaw = np.corrcoef(lista_buses[0][0]['ac_lon'],
lista_buses[0][0]["yaw_rate"])
coef_corr_ac_lon_steer = np.corrcoef(lista_buses[0][0]['ac_lon'],
lista_buses[0][0]["steer_angle"])
coef_corr_speed_yaw = np.corrcoef(lista_buses[0][0]['speed'], lista_buses[0][0]["yaw_rate"])
coef_corr_speed_steer = np.corrcoef(lista_buses[0][0]['speed'],
lista_buses[0][0]["steer_angle"])
coef_corr_yaw_steer= np.corrcoef(lista_buses[0][0]['yaw_rate'],
lista_buses[0][0]["steer_angle"])

Graficos3D('ac_lat', lista_segmentos, 'ac_lat [m/s^2]',datos_bus)
Graficos3D('speed', lista_segmentos, 'speed [km/h]',datos_bus)
Graficos3D('ac_lon', lista_segmentos, 'ac_lon [m/s^2]',datos_bus)
Graficos3D('jerk', lista_segmentos, 'jerk [m/s^3]',datos_bus)
Graficos3D('dt_yaw', lista_segmentos, 'dt_yaw [°/s^2]',datos_bus)
Graficos3D('yaw_rate', lista_segmentos, 'yaw_rate [°/s]',datos_bus)
Graficos3D('steer_angle', lista_segmentos, 'steer_angle [°]',datos_bus)

### TABLA DE DATOS
tabla = []
for i in lista_segmentos:
    tabla_bus = []

    tabla_bus.append((Estadistica(i['ac_lat'])))
    tabla_bus.append((Estadistica(i['ac_lon'])))
    tabla_bus.append((Estadistica(i['yaw_rate'])))
    tabla_bus.append((Estadistica(i['steer_angle'])))
    tabla_bus.append((Estadistica(i['speed'])))
    tabla_bus.append((Estadistica(i['jerk'])))
    tabla_bus.append((Estadistica(i['dt_yaw'])))
    tabla.append((tabla_bus))

```

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION – FACULTAD DE INGENIERIA
RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO**

Departamento : Departamento de Ingeniería Eléctrica
Carrera : Ingeniería Civil Biomédica
Nombre del memorista :
Título de la memoria :
Fecha de la presentación oral :

Profesor(es) Guía :
Profesor(es) Revisor(es) :
Concepto :
Calificación :

Resumen (máximo 200 palabras)

