



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LAS CARGAS VIVAS EN PUENTES CARRETEROS CHILENOS
DESAGREGADOS SEGÚN MACROZONA**

POR

Javiera Paz Ortiz De la Maza

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

Profesor Guía
Dr. Víctor Aguilar Vidal

Agosto 2024
Concepción, Chile

RESUMEN

Los puentes son fundamentales para el desarrollo de un territorio. Su vida útil se ve afectada por las cargas de tráfico a las que están expuestos. Para mantener la seguridad y capacidad de servicio, es esencial conocer las cargas reales que soportan. En Chile, los puentes se diseñan según el Manual de Carreteras, basado en antiguas especificaciones de diseño de Estados Unidos y su patrón de carga vehicular propuesto en 1944. Este patrón de carga fue actualizado en Estados Unidos en 1993. Sin embargo, ambos patrones se propusieron con datos limitados y no hay información sobre si son o no apropiados para representar las cargas de tráfico nacionales.

La Dirección de Vialidad controla y registra rutinariamente el pesaje de camiones. Cada pesada incluye un número correlativo de la lectura, la patente del vehículo, la fecha y hora de la pesada, la velocidad de circulación sobre la balanza, el largo estimado del vehículo y la tipología vehicular según la clasificación del Ministerio de Obras Públicas. Estos datos son la base de este estudio.

El objetivo es realizar un análisis de las cargas vivas en los puentes carreteros de Chile utilizando datos de pesaje obtenidos de ocho estaciones de pesaje fijas ubicadas en las macroregiones del país. El análisis consideró el peso bruto total, el peso por eje, la frecuencia de tránsito y la tipología vehicular. Los datos son analizados mediante scripts de programación en Python. Los resultados se presentan mediante mapas y gráficos, y se realiza una comparación geográfica de las variables de interés.

En conclusión, este estudio aborda la relevancia de conocer las cargas reales a las que están expuestos los puentes carreteros en Chile, tomando en cuenta que su diseño se basa en especificaciones obsoletas de Estados Unidos. A través del análisis de datos de pesaje recopilados en estaciones fijas distribuidas por las macrozonas del país. Los resultados, se presentan en mapas y gráficos, los cuales subrayan la necesidad de actualizar las normas de diseño para reflejar mejor las condiciones actuales del tráfico vehicular en Chile.

ABSTRACT

Bridges are fundamental to the development of a region, but their lifespan is affected by the traffic loads they endure. To maintain their safety and service capacity, it is essential to understand the actual loads they bear. In Chile, bridges are designed according to the Highway Manual based on outdated design specifications from the United States and a vehicular load pattern proposed in 1944. This load pattern was updated in the United States in 1993. However, both patterns were proposed with limited data, and there is no information on their suitability for representing national traffic loads.

The Directorate of Roads routinely monitors and records the weighing of trucks throughout the country. Each weighing includes a sequential reading number, the vehicle's license plate, the date and time of the weighing, the car's speed over the scale, the estimated length of the vehicle, and the vehicle type according to the classification of the Chile's Ministry of Public Works. These data form the basis of this study.

The objective is to analyse the live loads on road bridges in Chile using weighing data from eight fixed weighing stations in the country's macro-regions. The analysis will consider the total gross weight, axle weight, traffic frequency, and vehicle type. The data will be analyzed using Python programming scripts. The results will be presented through maps and graphs, and a geographical comparison will be conducted based on the variables of interest.

In conclusion, this study highlights the importance of understanding the actual loads that road bridges in Chile are subjected to, especially considering that their design relies on outdated specifications from the United States. By analyzing weighbridge data collected from fixed stations across the country's macro-regions, the study will present results through maps and graphs. These findings emphasize the need to update design standards to better reflect current traffic conditions in Chile and ensure the safety and efficacy of bridge infrastructure.

DEDICATORIA

A mi madre Paz, por su amor incondicional y su apoyo constante, que han sido mi mayor fuente de inspiración.

A mis padres Hugo y Mauricio, por la confianza que han depositado en mí.

A mis hermanos Vicente, Camila, Nicolás y Valentina, por ser mi fortaleza y mi alegría en cada momento.

A mi abuelo Fernando, cuya memoria y enseñanzas continúan guiándome, y a mi abuela Yanquiray, por su amor y legado siempre presentes en mi corazón

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia. A mis abuelos, tíos y primos, por su constante apoyo y ánimo durante todo este proceso. Su confianza en mí y sus palabras de aliento han sido fundamentales para mantenerme enfocada y motivada. Su amor y comprensión han sido un pilar esencial en esta etapa de mi vida.

A mis amigos, gracias por estar siempre ahí para mí. Su amistad ha sido invaluable, proporcionando los momentos de distracción necesarios para recargar energías y seguir adelante. Gracias por sus palabras de aliento, su apoyo incondicional y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Su compañía ha hecho de este viaje una experiencia más llevadera y enriquecedora.

Agradezco el financiamiento de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) mediante el proyecto, Fondecyt de Iniciación 11230092. Agradecer también a la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas por su apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

Quiero extender un agradecimiento especial al Dr. Víctor Aguilar Vidal, mi profesor guía. Su orientación, paciencia y conocimientos han sido invaluable en el desarrollo de esta memoria de título. Su dedicación y compromiso con mi formación académica me han inspirado a esforzarme y alcanzar mis objetivos.

Finalmente, quiero agradecer al Dr. Felipe Orellana por su ayuda durante este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Motivación..... | 1 |
| 1.2 Problema..... | 2 |
| 1.3 Objetivo general..... | 3 |
| 1.4 Objetivos específicos | 3 |
| 1.5 Plan de trabajo | 3 |
| 1.6 Organización del documento | 4 |
| CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 5 |
| 2.1 Introducción..... | 5 |
| 2.2 Marco Teórico..... | 5 |
| 2.2.1 Carga en puentes | 5 |
| 2.2.1.1 Cargas permanentes | 5 |
| 2.2.1.2 Cargas vivas | 5 |
| 2.2.1.3 Sobrecarga..... | 6 |
| 2.2.2 Variables determinantes de los efectos de las cargas vivas | 6 |
| 2.2.3 Trenes de carga de diseño | 7 |
| 2.2.4 Clasificación vehicular..... | 9 |
| 2.3 Experiencia internacional | 11 |
| 2.4 Conclusión..... | 12 |
| CAPITULO 3: METODOLOGÍA..... | 13 |
| 3.1 Introducción..... | 13 |
| 3.1.1 Plaza de pesaje..... | 13 |
| 3.1.2 Descripción base de datos | 16 |
| 3.1.3 Estructura de datos..... | 17 |
| 3.1.4 Limpieza de datos | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.5 Variables de interés..... | 19 |
| 3.1.6 Método de análisis | 20 |
| 3.1.7 Método de comparación | 21 |
| 3.1.8 Softwares | 21 |
| 3.2 Conclusión..... | 21 |
| CAPÍTULO 4: RESULTADOS | 22 |
| 4.1 Introducción..... | 22 |
| 4.2 Resultados..... | 22 |
| 4.2.1 Selectiva | 22 |
| 4.2.1.1 Zona Norte..... | 22 |
| 4.2.1.2 Zona Centro | 26 |
| 4.2.1.3 Zona Sur | 31 |
| 4.2.2 Punitiva..... | 35 |
| 4.2.2.1 Zona Norte..... | 35 |
| 4.2.2.2 Zona Centro | 39 |
| 4.2.2.3 Zona Sur | 43 |
| 4.3 Resumen | 48 |
| CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES..... | 52 |
| REFERENCIAS | 54 |
| ANEXOS..... | 56 |
| ANEXO 1. CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE..... | 56 |
| ANEXO 2. CÓDIGO BALANZA SELECTIVA CURACAVI, FORMATO AÑO 2016-2019... | 57 |
| ANEXO 3. CÓDIGO BALANZA SELECTIVA CURACAVI, FORMATO AÑO 2022 | 62 |
| ANEXO 3. CÓDIGO BALANZA PUNITIVA CURACAVI, FORMATO AÑO 2016-2019..... | 69 |
| ANEXO 5. CÓDIGO BALANZA PUNITIVA CURACAVI, FORMATO AÑO 2022..... | 73 |
| ANEXO . FUNCIÓN PARA PROCESAMIENTO DEL CÓDIGO..... | 76 |

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Peso Bruto Total máximo estipulado por manual de carga especiales **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 2.2 Tren de carga viva provenientes de EE.UU **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 2.3 Límite de pesos máximos para ejes (D.S MOP N°158/80). **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 2.4. Extracto de clasificación de vehículos pesados más comunes en Chile (MOP..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 3.1 Ejemplo de registro de datos de pesajes de año 2022, Dirección de Vialidad (Elaboración propia)..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 3.2 Ejemplo de registro de datos de pesajes de año 2016-2019, Dirección de Vialidad. (Elaboración propia) **Error! Bookmark not defined.**

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 Características del camión de diseño HS20 (Manual de Carretera. Volumen 3)..... | 9 |
| Figura 3.1 Mapa de referencia de las plazas de pesaje (ArcGIS) | 14 |
| Figura 3.2 Plazas de pesaje (Google Earth) | 16 |
| Figura 3.3 Cantidad total de datos analizados, desglosados por plaza de pesaje de la balanza selectiva | 17 |
| Figura 3.4 Cantidad total de datos analizados, desglosados por plaza de pesaje de la balanza punitiva | 17 |
| Figura 4.1. Registros totales y promedio de registros diarios, Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración Propia)..... | 23 |
| Figura 4.2. Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración propia). 23 | |
| Figura 4.3 Camiones más comunes, Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración Propia)..... | 24 |
| Figura 4.4. Percentiles peso bruto total, Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración propia)..... | 24 |
| Figura 4.5. Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t , Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración propia) | 25 |
| Figura 4.6. Características de eje más común de los camiones, Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración Propia)..... | 26 |
| Figura 4.7. Registros totales y promedio de registros diarios, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia) | 27 |
| Figura 4.8. Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia) 28 | |
| Figura 4.9 Camiones más comunes, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia) | 28 |
| Figura 4.10. Percentiles peso bruto total, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia) | 29 |
| Figura 4.11 Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t , Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia)..... | 30 |
| Figura 4.12. Características de eje más común de los camiones, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia) | 30 |
| Figura 4.13. Registros totales y promedio de registros diarios (Zona Sur-, balanza selectiva)..... | 31 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.14 Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia) | 32 |
| Figura 4.15 Camiones más comunes, Zona Sur-balanza selectiva (Elaboración propia)..... | 32 |
| Figura 4.16 Percentiles peso bruto total, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia) | 33 |
| Figura 4.17 Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t , Zona Sur-balanza selectiva (Elaboración propia) | 34 |
| Figura 4.18. Características de eje más común de los camiones, Zona Sur-balanza selectiva (Elaboración propia) | 34 |
| Figura 4.19 Registros totales y promedio de registros diarios, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia) | 35 |
| Figura 4.20. Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia) | 36 |
| Figura 4.21 Camiones más comunes, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia)..... | 37 |
| Figura 4.22. Percentiles peso bruto total, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia) | 37 |
| Figura 4.23. Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración Propia)..... | 38 |
| Figura 4.24 Características de eje más común de los camiones, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia) | 39 |
| Figura 4.25. Registros totales y promedio de registros diarios, Zona Centro-balanza punitiva (Elaboración propia) | 40 |
| Figura 4.26. Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Centro-balanza punitiva (Elaboración propia) | 40 |
| Figura 4.27 Camiones más comunes, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración Propia)..... | 41 |
| Figura 4.28. Percentiles peso bruto total, Zona Centro-balanza punitiva (Elaboración propia)..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.29. Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t , Zona Centro-balanza punitiva (Elaboración Propia) | 42 |
| Figura 4.30. Características de eje más común de los camiones, Zona Centro-balanza punitiva (Elaboración propia)..... | 43 |
| Figura 4.31. Registros totales y promedio de registros diarios, Zona Sur-balanza punitiva (Elaboración propia) | 44 |
| Figura 4.32. Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Sur-balanza punitiva (Elaboración Propia)... | 44 |
| Figura 4.33 Camiones más comunes, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia) | 45 |
| Figura 4.34. Percentiles peso bruto total, Zona Sur-balanza punitiva (Elaboración propia)..... | 46 |
| Figura 4.35. Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t , Zona Sur-balanza punitiva (Elaboración propia) | 47 |
| Figura 4.36 Características de eje más común de los camiones (Zona Sur, balanza punitiva..... | 47 |
| Figura 4.37 Registros totales (Balanza Selectiva)..... | 48 |
| Figura 4.38 PBT máximo y PBT > 45t (Balanza Selectiva)..... | 48 |
| Figura 4.39 Camiones más comunes (Balanza Selectiva) | 49 |
| Figura 4.40 Peso máximo por eje (Balanza Selectiva)..... | 49 |
| Figura 4.41 Registros totales (Balanza Punitiva) | 50 |
| Figura 4.42 PBT máximo y PBT > 45t (Balanza Punitiva) | 50 |
| Figura 4.43 Camiones más comunes (Balanza Punitiva) | 51 |
| Figura 4.44 Peso por eje (Balanza Punitiva)..... | 51 |

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

A nivel nacional, los camiones representan el 90% de la carga terrestre que se transporta (Colegio de Ingenieros de Chile, 2019), lo que hace crucial analizar cómo esto afecta a la red vial de nuestro país, especialmente a los puentes, que son fundamentales para el desarrollo y conectividad de un territorio. Los efectos de la carga vehicular sobre los puentes están estrechamente vinculados a los límites legales de peso, las regulaciones sobre cargas especiales y el control de vehículos que exceden ilegalmente estos límites (Babu, 2019; Ghosn et al., 2015; Nassif et al., 2015). Los puentes en Chile se diseñan siguiendo el Manual de Carreteras (MOP, 2019), basado en las antiguas especificaciones de diseño de puentes de Estados Unidos, conocidas como AASHTO Standard (última versión es AASHTO, 2002); y actualmente hay un cambio gradual hacia el uso de la norma AASHTO LRFD (en su versión AASHTO, 2012). Sin embargo, no hay información sobre qué tan representativos son estas especificaciones de carga de uso respecto de la realidad local. Es importante conocer las cargas reales que soporta la infraestructura de transporte para garantizar el servicio y la seguridad necesarios para el desarrollo socioeconómico, así como para preparar la infraestructura para el futuro.

En Chile, se lleva a cabo un monitoreo constante del peso de los camiones que transitan por todo el territorio nacional mediante estaciones de pesaje en movimiento (WIM, por sus siglas en inglés) de baja y media velocidad, tanto en plazas de pesaje fijas como móviles. Este seguimiento tiene como objetivo principal controlar los pesos que transitan en las rutas nacionales y sancionar a quienes exceden los límites de peso, y a quienes evaden o intentan eludir este control. Estos datos tienen gran potencial y han sido aún poco explorados.

Esta memoria se enmarca en el Proyecto FONDECYT de iniciación No.11230092, busca estudiar en detalle la información de pesaje disponible y su potencial aplicación en el diseño de nuevos puentes, la evaluación de puentes existentes y la estimación de daños en la infraestructura de transporte. Considerando la variedad de actividades económicas del país, el presente estudio propone una evaluación inicial de la carga viva en puentes de Chile buscando diferencias entre las macrozonas del país.

1.2 Problema

Los puentes en Chile se diseñan siguiendo el Manual de Carreteras (MOP, 2019), el cual referencia las principalmente las especificaciones de diseño norteamericanas AASHTO (2002). Respecto de la carga viva especificada en dicho código, MOP (2019) indica que es necesario amplificar el efecto del camión nocional de diseño, conocido como HS20-44, en un 20% adicional. En la década de los 80s, empezaron a circular en Chile camiones de cinco ejes que superaban el peso de la carga viva especificada en el código AASHTO Standard (AASHTO, 2002), es decir, HS20-44. Como respuesta, se incrementó en un 20% la carga de camión en todo el país, dando origen al factor de amplificación MOP. Sin embargo, el peso del camión no es el único factor para considerar en los efectos de la carga viva, también influye que las actividades económicas a lo largo del país son diferentes, por ende, los bienes transportados también son distintas lo que implica cargas diferentes en magnitud, distribución y frecuencia según la zona. Por lo tanto, el aumento del 20% en la carga de camión HS20-44 carece de justificación técnica y no parece apropiado que la carga viva para el diseño y evaluación de puentes sea uniforme en todo el país.

Adicionalmente, en 1994, se introduce un nuevo tren de carga de diseño en la especificación de diseño AASHTO LRFD—conocido como HL93—y en Chile se permite también usar este código como referencia, en su versión (AASHTO, 2012) o posteriores. No existe evidencia de qué tren de carga—HS-44+20% o HL93—representa mejor los efectos de la carga vehicular real sobre los puentes.

1.3 Objetivo general

Analizar las cargas vivas en puentes carreteros generados por vehículos pesados en macrozonas de Chile (norte, centro y sur) utilizando información de registros de pesaje obtenidos de plazas de pesaje fijas.

1.4 Objetivos específicos

- Consolidar una base de datos de pesaje de camiones provenientes de varias plazas de pesajes fijas distribuidas a lo largo de Chile, del Departamento de Pesaje, de la Dirección de Vialidad, del Ministerio de Obras Públicas.
- Analizar estadísticamente las cargas vivas en puentes de vehículos pesados en términos de peso bruto total, peso por eje, frecuencia de tránsito y tipología vehicular.
- Comparar geográficamente las características del tráfico de vehículos pesados entre las macro regiones definidas.

1.5 Plan de trabajo

Inicialmente, se ordenan los datos recopilados de ocho estaciones de pesaje fijas ubicadas a lo largo del país, desde Huara hasta Los Ángeles. Estos datos, que abarcan un periodo de cinco años (2016-2019 y 2022), se organizan para asegurar su completitud y estructura para el análisis posterior. A continuación, se definen los parámetros clave a evaluar, tales como los pesos por eje y totales de los vehículos, la frecuencia de tránsito y la tipología vehicular. Este paso es fundamental para establecer los criterios de evaluación que guían el análisis y aseguran que todos los aspectos relevantes sean considerados.

Posteriormente, se desarrollan las herramientas de análisis necesarias utilizando el lenguaje de programación Python. Esto incluye la limpieza y preprocesamiento de datos, el análisis estadístico. El objetivo de esta fase es desarrollar herramientas eficientes y precisas que permitan obtener resultados significativos a partir de los datos recopilados.

Una vez desarrolladas estas herramientas, se analiza la información obtenida, con el propósito de interpretar los resultados de manera clara y precisa, para comprender el impacto de las cargas en la infraestructura vial.

Finalmente, se redactan las conclusiones basadas en el análisis de los datos., con el objetivo final de proporcionar un resumen claro.

1.6 Organización del documento

Este documento se estructura en cinco capítulos principales. En el Capítulo 1: Introducción, se presenta el contexto y los objetivos del estudio, así como la justificación y el plan del trabajo. El Capítulo 2: Revisión Bibliográfica ofrece un análisis detallado de la literatura existente relacionada con el tema, destacando investigaciones previas y teorías relevantes. En el Capítulo 3: Metodología, se describen los métodos y procedimientos utilizados para llevar a cabo la investigación, incluyendo las normas, la recolección de datos y las técnicas de análisis. El Capítulo 4: Resultados expone los hallazgos obtenidos a partir del análisis de los datos, presentando tablas, gráficos y descripciones que facilitan la comprensión de los resultados. Finalmente, en el Capítulo 5: Conclusión, se discuten, los resultados, se presentan las principales conclusiones.

CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introducción

En este capítulo, se definen brevemente conceptos necesarios para la comprensión del análisis de las cargas vivas presentes en la red vial. Además, a través de la revisión de estudios se da a conocer como han ejecutado este tipo de estudios otros países.

2.2 Marco Teórico

El marco teórico proporciona el contexto conceptual necesario para abordar el problema de estudio. Este componente esencial del trabajo investigativo establece las bases teóricas que guían la indagación y el análisis. En esta sección, se exploran los principales conceptos para el estudio.

2.2.1 Carga en puentes

El diseño y análisis estructural de un puente requiere una comprensión detallada de las diversas cargas que actúan sobre la estructura a lo largo de su vida útil. Estas cargas se clasifican en cargas permanentes y cargas vivas.

2.2.1.1 Cargas permanentes

Las cargas permanentes, también conocidas como cargas muertas, son un componente esencial en el diseño y análisis estructural de puentes. Estas cargas se refieren al peso propio de todos los elementos estructurales, el peso propio del cimiento, pasillos, barandas y barreras.

2.2.1.2 Cargas vivas

Las cargas vivas son aquellas que actúan sobre la estructura de manera temporal y que pueden variar su magnitud y ubicación a lo largo del tiempo, dependen de los siguientes factores: el peso bruto total de los vehículos; la distribución del espaciamiento del peso por eje de los vehículos; el número de vehículos simultáneos en el puente; el tráfico medio diario anual de camiones (ADTT, por sus siglas

en inglés); la configuración del propio puente (luz y espaciamiento entre vigas); y el efecto dinámico de la carga de tráfico, también conocido como carga de impacto (Nowak, 1999).

2.2.1.3 Sobrecarga

El sobrepeso es regulado y permitido dentro de los márgenes estipulados en el manual de cargas especiales y son evaluadas las rutas de estas cargas con el fin de proteger la infraestructura vial. En la Tabla 2.1, se muestra el máximo peso bruto total permitido.

Tabla 2.1 Peso Bruto Total máximo estipulado por manual de carga especiales

| | | |
|---------------|--|--------|
| Semirremolque | Combinación de un camión de un semirremolque con eje posterior simple o doble | |
| | Menor de 13m. Entre ejes extremos | 39 ton |
| | De 13 a 15m. Entre ejes extremos | 42 ton |
| | Más de 25m. Entre ejes extremos | 45 ton |
| | Camión con eje posterior triple, cualesquiera sea la distancia entre ejes extremos | 45 ton |
| Remolque | Cualquier distancia entre ejes extremos | 45 ton |

2.2.2 Variables determinantes de los efectos de las cargas vivas

Los efectos de las cargas vivas en puentes son función del peso bruto total, peso por eje, frecuencia de tránsito y tipología vehicular (Vidal et al., 2023). A continuación, se definen las variables mencionadas.

Peso bruto total (PBT): El PBT es la suma del peso del vehículo vacío (tara) más el peso de la carga que transporta. En Chile, la normativa establece que el PBT máximo permitido para vehículos que transitan por la red vial es de 45 toneladas. Este límite es controlado mediante estaciones de pesaje en diferentes puntos del país. Existen límites de PBT más estrictos según tipología vehicular, por ejemplo, los vehículos de cuatro ejes que habitualmente transportan áridos no deben pesar más de 32t. Los buses de transporte interurbano no deben pesar más de 23t.

Peso por eje: El peso por eje se refiere al peso que soporta cada conjunto de ejes del vehículo. Cada eje tiene restricciones específicas de tonelaje, y durante el pesaje, los vehículos avanzan en la balanza

por conjuntos de ejes para verificar que no excedan los límites establecidos. Esto garantiza que la distribución de peso no dañe la infraestructura vial.

Frecuencia de tránsito: La frecuencia de tránsito se refiere al número de vehículos que circulan por una carretera en un período de tiempo específico. Este dato es crucial para el diseño y mantenimiento de las carreteras, ya que influye en la capacidad vial y en la planificación de la infraestructura necesaria para soportar el flujo vehicular.

Tipología vehicular: La tipología vehicular clasifica los vehículos que circulan por las carreteras según sus características físicas, como tamaño, peso, y su uso. En el diseño de carreteras, se consideran diferentes tipos de vehículos, como vehículos ligeros, buses, y camiones, para asegurar que la infraestructura pueda soportar las distintas demandas de tráfico. En la sección 2.2.4 se entregan detalles de la tipología vehicular utilizada en Chile.

2.2.3 Trenes de carga de diseño

Los trenes de carga de diseño son configuraciones teóricas utilizadas en el diseño estructural, evaluación de puentes y otras infraestructuras viales. Estos trenes simulan las cargas máximas que los puentes pueden soportar a lo largo de su vida útil, considerando el tráfico real y potencialmente extremo. Los trenes de carga típicamente incluyen varios vehículos pesados con distribuciones específicas de ejes y pesos que representan diferentes condiciones de tráfico.

Estos trenes se utilizan para evaluar cómo las cargas dinámicas y estáticas afectan la estructura, asegurando que los puentes puedan soportar el uso previsto sin comprometer su integridad ni seguridad.

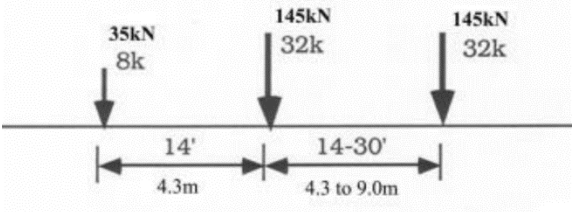
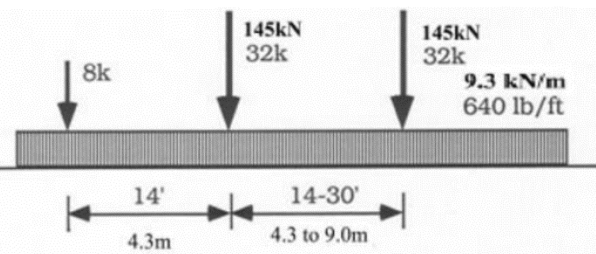
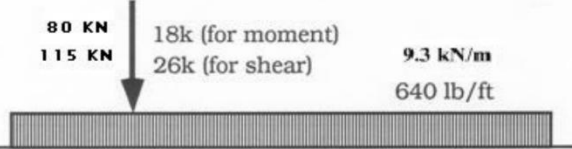
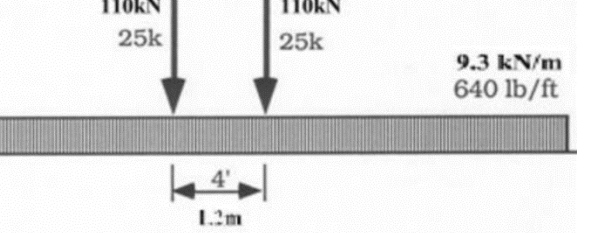
Entre los distintos tipos de trenes de carga, están:

- Camión de diseño: Vehículo teórico utilizado para diseñar la infraestructura vial.
- Tándem de diseño: Conjunto de ejes de vehículos con una configuración específica.
- Carga de carril o de faja: Representa la carga uniformemente distribuida a lo largo de un carril, simula el efecto combinado de varios vehículos que podrían estar presentes simultáneamente en la estructura.

Además, hay dos conceptos relacionados con los trenes de carga y la carga viva que deben definirse: el patrón de carga viva y el modelo probabilístico de carga viva. Un patrón de carga viva es un conjunto de cargas que luce como la configuración de un camión, pero no es un camión común o real; en cambio, es un patrón de carga cuyos efectos representan las fuerzas internas producidas por el tráfico real (es decir, momentos flectores y fuerzas cortantes).

Los ejemplos de trenes de carga utilizados en Estados Unidos, según los códigos de diseño de puentes (AASHTO, 2002, 2017), incluyen el HS20-44 y el HL-93 (ver Tabla 2.2.). En Chile, el diseño se basa en lo estipulado por el Manual de Carreteras, que requiere el uso del patrón de carga viva HS20-44 incrementado en un 20% (ver Figura 2.1.). Además, un modelo probabilístico de carga viva captura la incertidumbre en el patrón de carga, evaluando la diferencia entre el patrón idealizado y el tráfico real. Este modelo se define mediante una distribución estadística y sus parámetros (Iatsko et al., 2020; Nowak et al., 1993). Se podría argumentar que el patrón de carga viva de EE. UU. podría no representar adecuadamente los efectos del tráfico en Chile, y que los modelos probabilísticos de carga viva en ambos países son probablemente diferentes.

Tabla 2.2 Tren de carga viva provenientes de EE.UU

| Camión Estándar HS20 del patrón HS20-44 | Camión HS20 y carga uniforme del patrón HL.93 |
|---|--|
|  |  |
| Carga de faja del patrón HS20-44 | Carga militar y carga uniforme del patrón HL-93 |
|  |  |

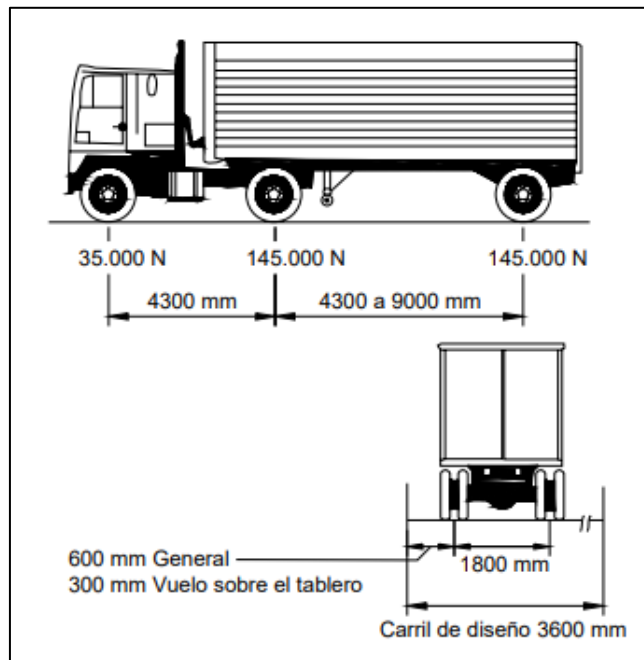
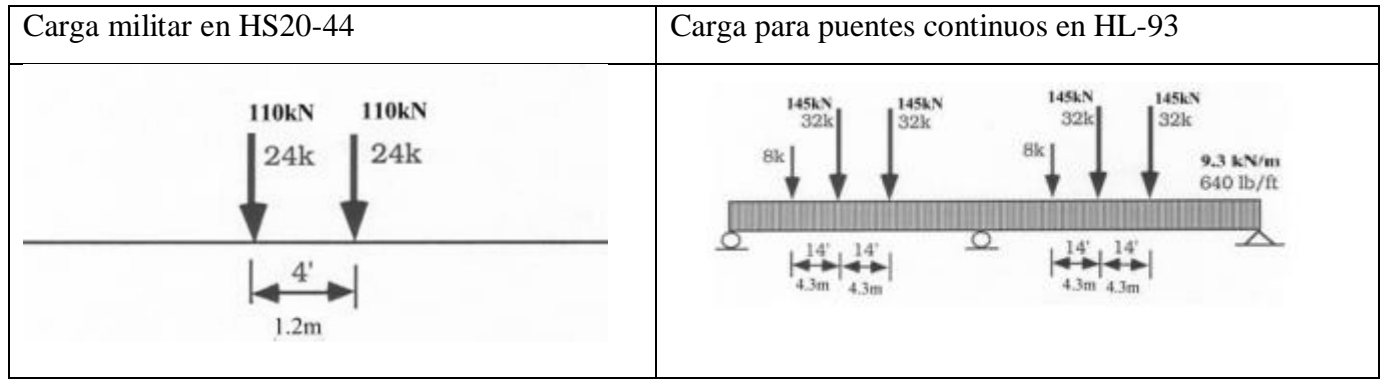


Figura 2.1 Características del camión de diseño HS20 (Manual de Carretera. Volumen 3)

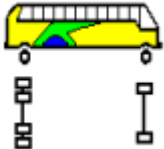
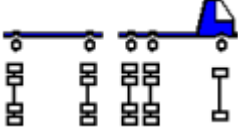
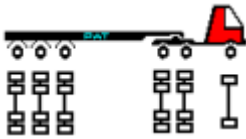
2.2.4 Clasificación vehicular

El Ministerio de Obras Públicas (MOP) utiliza un sistema de clasificación vehicular que categoriza los vehículos basándose en diversas características, con especial énfasis en el número de ejes, el tipo de eje y de rodado. Además, este sistema especifica el límite de peso admisible para cada tipo de vehículo, asegurando una gestión eficiente y sostenible de la infraestructura vial (ver Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Límite de pesos máximos para ejes (D.S MOP N°158/80)

| Tipo de Eje | Tipo de Rodado | Límite de Peso (Ton.) |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Simple | Simple | 7 |
| Simple | Doble | 11 |
| Doble | Simple | 14 |
| Doble | Doble + Simple | 16 |
| Doble | Doble | 18 |
| Triple | Simple | 19 |
| Triple | 2 Doble + 1 Simple | 23 |
| Triple | Doble | 25 |
| Cuádruple | Doble | 29 |
| Simple (compuesto por semiejes) | Múltiple (4 ruedas) | 12 |
| Simple (compuesto por semiejes) | Múltiple (4 ruedas) | 14 |

Tabla 2.4. Extracto de clasificación de vehículos pesados más comunes en Chile (MOP)

| Clasificación MOP | Número de ejes | Tipo de Camión |
|---|----------------|----------------|
|  | 2 | 210 |
|  | 5 | 520 |
|  | 6 | 690 |

2.3 Experiencia internacional

Los códigos de diseño de puentes en EE. UU. y Europa se desarrollaron originalmente basándose en una cantidad limitada de datos de tráfico. La carga viva de diseño para el código AASHTO LRFD en EE. UU. se fundamenta en datos de tráfico recopilados por el Ministerio de Transporte de Ontario en la década de 1970. El Euro código se desarrolló inicialmente utilizando datos de tráfico recogidos en unas pocas semanas en Auxerre, Francia, en la década de 1980 (Babu et al., 2019). Datos exhaustivos de pesaje en movimiento (WIM) pueden servir como base para verificar y mejorar el modelo de carga viva de diseño.

Babu et al. (2019) analizaron y compararon los parámetros estadísticos de la carga viva en EE. UU. y Europa utilizando datos WIM disponibles. Se emplearon mediciones WIM de 44 ubicaciones en 20 estados de EE. UU. desde 2005 hasta 2014, que contienen 118 millones de registros. Adicionalmente, se utilizaron mediciones WIM de países europeos (Polonia, Países Bajos, República Checa, Eslovenia y Eslovaquia) que comprenden alrededor de 2 millones de vehículos. Los parámetros estadísticos obtenidos en EE. UU. son similares a los de Europa, lo que sugiere que los datos de tráfico de EE. UU pueden ser útiles para recalibrar el código de diseño de puentes europeo si es necesario.

Además, se concluyó que se podría desarrollar un modelo de carga viva específico para ciertos sitios en los EE. UU. Esto también puede servir como base para actualizar el modelo de carga viva nacional en los EE. UU.

Con respecto a EE.UU, las estaciones de pesaje (WIM) y las estaciones de conteo continuo (CCS) son las dos fuentes principales que recopilan datos de tráfico (Hallenbeck & Weinblatt, 2004). El primero de éstos puede recopilar volumen de tráfico y espectros de carga, mientras que el CCS sólo sirve para recopilar volumen de tráfico. En este caso los datos obtenidos han sido de estaciones de pesaje en movimiento (WIM), cada registro de tráfico obtenido incluye información detallada respecto al tipo de camión, velocidad, peso bruto total y por eje.

2.4 Conclusión

En este capítulo se definieron conceptos relacionados a las cargas vivas en puentes, desde su origen hasta su importancia estructural. A pesar de los avances, persisten desafíos en la precisión del análisis y la mitigación de riesgos. Esto demuestra la necesidad de investigaciones futuras para mejorar los resultados respecto al análisis de las cargas vivas.

CAPITULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Introducción

En este capítulo se detallan los métodos empleados para abordar el estudio sobre las cargas vivas en puentes. Se justificarán las decisiones metodológicas tomadas, desde la selección de la muestra hasta el análisis de datos. Además, se discuten las limitaciones y estrategias para garantizar la validez de los resultados.

3.1.1 Plaza de pesaje

Una plaza de pesaje es una instalación diseñada para medir el peso de vehículos, ya sea para el control de carga o el cumplimiento de regulaciones de transporte. Esta instalación está compuesta por una plataforma de pesaje sobre la cual los vehículos se posicionan para ser pesados. Las plazas de pesaje pueden ser fijas o móviles y están equipadas con dispositivos de medición de peso, como básculas o sensores de carga, que registran el peso del vehículo.

La importancia de estas plazas radica en que garantizan el cumplimiento de los límites de peso establecidos por la normativa, aseguran la seguridad vial y contribuyen tanto al óptimo funcionamiento como a la vida útil de la infraestructura de transporte.

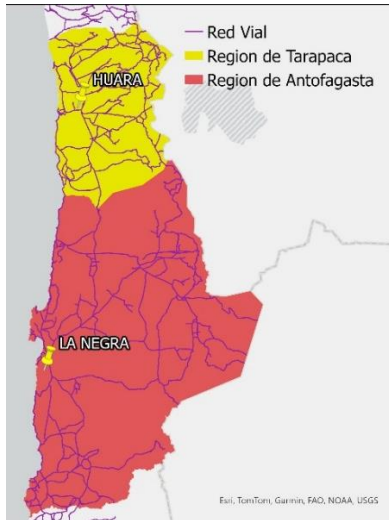
Existen dos tipos de estaciones de pesaje fijo:

- **Selectiva:** Esta balanza es el primer dispositivo que debe enfrentar los vehículos que ingresan a una estación de pesaje fijo.
Este control se realiza con el vehículo en movimiento, ya que la balanza se encuentra calibrada para un rango de velocidades de entre 5 y 60 Km/hr. Este control es de carácter obligatorio para controlar el peso de todos los vehículos pesados.
- **Punitiva:** Sirve para controlar el peso de los camiones y buses que presenten algún sobrepeso o anomalía detectada en el paso de la balanza selectiva. El paso del vehículo pesado se efectúa en un rango de velocidades entre los 0 y 6 Km/h.

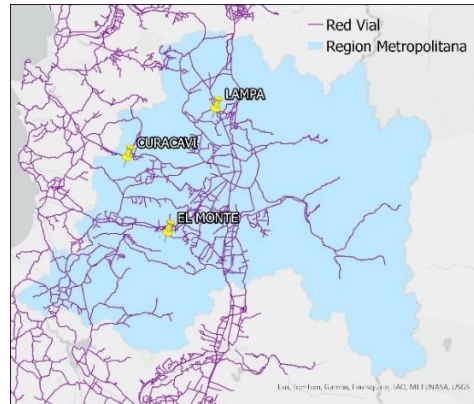
En nuestro país, las plazas de pesaje están ubicadas a un costado de la carretera principal. Es decisión del conductor del vehículo pesado ingresar a la estación de pesaje correspondiente. Estas plazas de

pesaje no cuentan con un control policial, lo que aumenta la probabilidad de evasión. Es posible que un camión pase por la balanza selectiva y, al indicársele que debe ir a la balanza punitiva, se dé a la fuga. Actualmente, en Chile no existe un mecanismo eficaz para controlar esta situación.

(a) Zona Norte



(b) Zona Centro



(c) Zona Sur

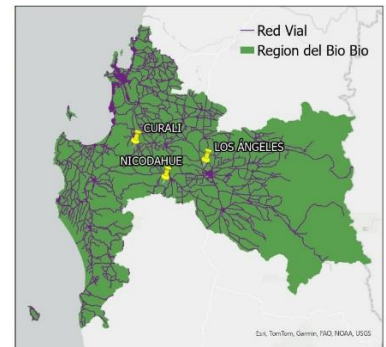


Figura 3.1 Mapa de referencia de las plazas de pesaje (ArcGIS)

(a) Huará, Ruta 5 Norte km 1840.



(b) La Negra, Ruta 5 Norte km 1355.



(c) Lampa, Ruta 5 Norte km 27,5.



(d) Curacaví, Ruta 68 km 47.



(d) El Monte, Ruta 78 km 76.



(e) Los Ángeles, Ruta 5 Sur km 498.



(f) Curali, Ruta 156 km 53.



(g) Nicodahue, Ruta 156 km 93.

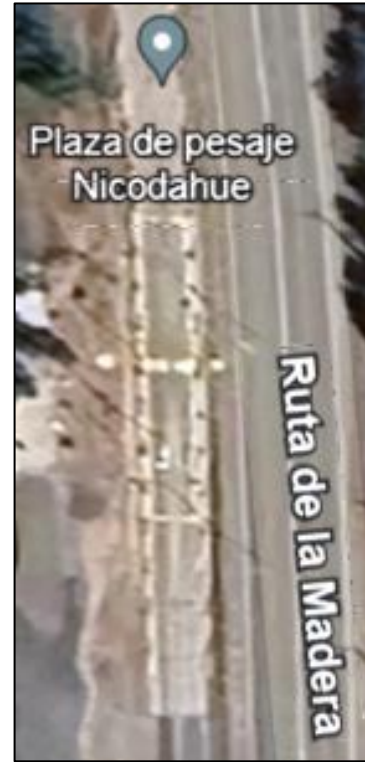


Figura 3.2 Plazas de pesaje (Google Earth)

3.1.2 Descripción base de datos

La base de datos del estudio fue conformada a partir de datos facilitados por el Departamento de Pesaje (DP) de la Dirección de Vialidad (DV) del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Se obtuvo información de ocho plazas de pesaje ubicadas a lo largo de Chile: Huará, La Negra, Lampa, Curacaví, El Monte, Los Ángeles, Curali y Nicodahue. Los datos corresponden a los años 2016-2019 y el 2022. De los años 2020 y 2021 no se obtuvieron datos debido a la pandemia del virus COVID-2019. Generalmente, en cada plaza de pesaje existen dos estaciones, una a cada lado de la carretera, una estación llamada 12 y otra estación llamada 34. Las estaciones 12 corresponden a las estaciones ubicadas en la pista cuya dirección se aleja de Santiago y las estaciones estación 34 corresponden a las pistas cuya dirección se acercan a Santiago. La mayoría de estas estaciones constan de dos balanzas. La balanza selectiva, que es de carácter obligatorio para todo vehículo pesado y la punitiva que es para camiones que presenten anomalías en la selectiva. (Espinoza,2024)

En las Figuras 3.2 y 3.3 se presenta la cantidad de datos analizados, los cuales corresponden a la pesada de un camión individual. Estos datos, proporcionados por las balanzas, están separados por año y por día. En total, considerando ambas balanzas, se han analizado 50.284.280 registros.

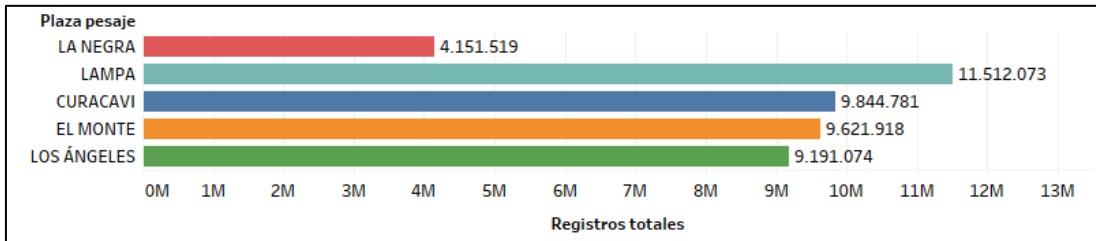


Figura 3.3 Cantidad total de datos analizados, desglosados por plaza de pesaje de la balanza selectiva

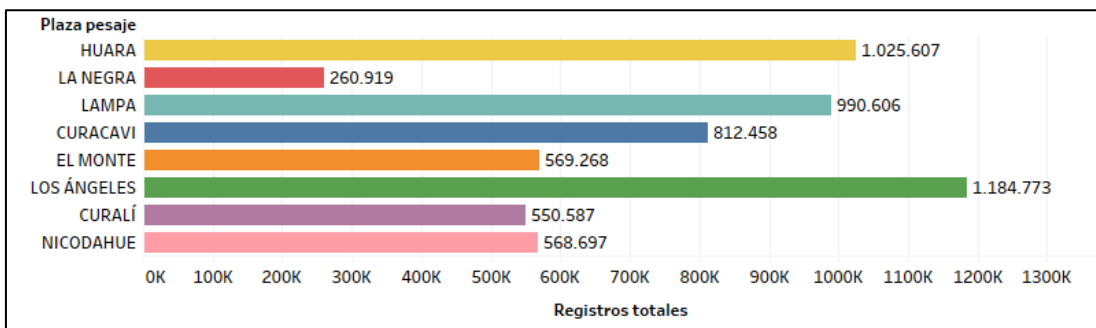


Figura 3.4 Cantidad total de datos analizados, desglosados por plaza de pesaje de la balanza punitiva

3.1.3 Estructura de datos

Con respecto a la estructura de los datos, existen dos formatos: uno para los datos obtenidos en 2022 y otro para los datos obtenidos entre 2016 y 2019. La estructura de los datos correspondientes al año 2022 se presenta en la Tabla 3.1, utilizando como ejemplo un vehículo de tres ejes. Para cada pesada se registran los siguientes elementos: un correlativo de la lectura, la patente del vehículo, la fecha y hora de la pesada, la velocidad de circulación sobre la balanza, el largo estimado del vehículo, la tipología vehicular según la clasificación del MOP presentada en la sección 2.2.4, la sobrecarga (SC) por eje y total, la estación correspondiente a la lectura, los pesos por eje (de 1 a 9) y, finalmente, el peso bruto total del vehículo (PBT).

La estructura de los datos del periodo 2016-2019 (ver Tabla 3.2) es similar; sin embargo, existen dos diferencias significativas: en este formato, no se registra el largo estimado del vehículo ni el peso bruto total, el cual debe ser calculado posteriormente por el programa.

Tabla 3.1 Ejemplo de registro de datos de pesajes de año 2022, Dirección de Vialidad.

(Elaboración propia)

| ID | Patente | Fecha | Hora | Vel. Llegada | Largo | Tipología Vehicular | SC eje | SC total | Estación | Peso Eje 1 | Peso Eje 2 | Peso Eje 3 | Peso bruto total |
|------|------------|----------------|------|--------------|-------|---------------------|--------|----------|-----------|------------|------------|------------|------------------|
| 4372 | LPBZ 56 | 01-02- 2022 | 5:33 | 4 | 10,2 | 310 | 0 | 0 | CU- 12 | 6,41 | 15,9 | 1,97 | 24,28 |

Tabla 3.2 Ejemplo de registro de datos de pesajes de año 2016-2019, Dirección de Vialidad.

(Elaboración propia)

| ID | Patente | Fecha | Hora | Velocidad | Tipología Vehicular | SC eje | SC total | Estación | Peso Eje 1 | Peso Eje 2 | Peso Eje 3 |
|------|---------|----------------|------|-----------|---------------------|--------|----------|----------|------------|------------|------------|
| 9623 | CJFP 11 | 01-02- 0216 | 0:48 | 3,6 | 310 | 0 | 0 | CU-12 | 5,88 | 9,16 | 8,25 |

3.1.4 Limpieza de datos

Se aplicaron una serie de filtros para asegurar la completitud y la coherencia de los datos. Estos filtros utilizados fueron:

- Cambio de comas por punto: Este filtro se utilizó para asegurar la consistencia en la notación decimal, sustituyendo las comas por puntos en todos los valores, ya que si existían datos con comas y otros con punto el código los interpreta de manera distinta.
- Elimina fila vacía: Este filtro eliminó todas las filas que no contenían datos, evitando así registros incompletos que pudieran interferir con el análisis.

- Eliminar fila 0: Se descartaron las filas donde el peso registrado era cero, ya que estos registros no aportaban información útil y podían distorsionar los resultados.
- Eliminar patentes de prueba y calibración: Para calibrar la balanza se utilizan vehículos de prueba, dichas patentes se eliminaron de los registros, para asegurar que solo se incluyeran datos de operaciones reales.
- Peso por eje máximo: Se estableció un límite de peso por eje de 30 toneladas, eliminando los registros que excedieran este valor para mantener la coherencia con las normativas y evitar datos extremos no representativos y físicamente imposibles.
- Eliminar datos inválidos: Se filtraron los datos que contenían información incorrecta o formato no compatible con el código, garantizando que solo se trabajara con datos válidos y precisos.

3.1.5 Variables de interés

Se programaron 28 variables, pero para efectos de este estudio se utilizaron las que más aportan información respecto a las cargas vivas y tránsito de los puentes carreteros.

Las variables de interés para el estudio son:

- Cantidad de registros anuales (Count): Representa el número total de datos registrados por una estación en un año.
- Moda del peso bruto total (PBT mode): Indica el peso bruto total que aparece con mayor frecuencia en una estación a lo largo de un año.
- Percentil 75 del peso bruto total (PBT_P075): Representa el peso bruto total bajo el cual se encuentra el 75% de los registros en una estación anualmente.
- Percentil 95 del peso bruto total (PBT_P095): Representa el peso bruto total bajo el cual se encuentra el 95% de los registros en una estación anualmente.
- Máximo peso bruto total (PBT_max): Indica el mayor peso bruto total registrado en una estación durante un año.
- Tráfico diario promedio de camiones (ADTT): Representa el promedio diario de registros de camiones obtenidos en una estación durante un año.
- Camión más común (1st common): Indica el tipo de camión que pasa con mayor frecuencia por una estación en un año.

- Camión más común con sobrecarga (1st OW common): Indica el tipo de camión con sobrecarga que pasa con mayor frecuencia por una estación en un año.
- Probabilidad >45T (Prob>45 T): Representa la probabilidad anual de que un camión con un peso superior a 45 toneladas pase por una estación.
- Moda del eje (Eje mode): Indica el tipo de eje que aparece con mayor frecuencia en los camiones registrados en una estación durante un año.
- Máximo peso del eje (Max eje): Representa el peso máximo registrado de los ejes de un camión en una estación durante un año.

3.1.6 Método de análisis

El análisis de la base de datos de pesadas de camiones de la Dirección de Vialidad comenzó con una revisión bibliográfica de documentos relevantes al proyecto. Entre ellos se incluyen: (Nowak, 1993,1999; Aguilar et al. 2023, AASHTO 2002/2012; MOP 2019). Este estudio emplea un método de análisis exploratorio, descriptivo y cuantitativo para examinar detalladamente la base de datos.

Después de tener una idea clara del objetivo, se definen las variables de interés mencionadas en la sección 3.1.5.

En cuanto a los datos descritos en la sección 3.1.2, se analizan de la siguiente manera: primero, se importan utilizando el lenguaje de programación Python en Jupyter Notebook. Luego, en el programa, se filtran los datos según los filtros indicados en la sección 3.1.4. Posteriormente, se desarrollan 65 scripts de programación en total, considerando que para cada año, estación y balanza se utiliza un directorio diferente. Todos los resultados se entregan en tablas de Excel, las cuales se ordenan según el tipo de balanza correspondiente. Luego, ambas tablas se importan a Tableau para generar gráficos de las variables de interés de la sección 3.1.5. Finalmente, se presenta la comparación geográfica en mapas.

3.1.7 Método de comparación

En este estudio se empleó el método comparativo geográfico, que se centra en el análisis y comparación del tránsito de cargas vivas en los puentes carreteros de Chile. Este enfoque examina aspectos como el peso bruto total, el peso por eje, la frecuencia de tránsito y la tipología vehicular. El método es especialmente valioso para identificar patrones, evaluar desigualdades regionales y comprender las dinámicas que afectan las diferencias en el tráfico entre las macrozonas.

3.1.8 Softwares

Para llevar a cabo este estudio se utilizan tres herramientas para el orden de los datos y para el análisis.

Se tiene:

- Jupyter Notebook: Es una aplicación de código abierto que permite crear y compartir documentos interactivos que contienen código en vivo, visualizaciones, texto explicativo y otros elementos multimedia, utiliza el lenguaje de programación de Python.
- Excel: Es una aplicación de hojas de cálculo desarrollada por Microsoft, ampliamente utilizada para manipular, analizar y presentar datos numéricos y alfanuméricos. Permite organizar datos en hojas de cálculo, realizar cálculos automatizados con fórmulas y funciones, crear gráficos y visualizaciones, analizar datos y automatizar tareas repetitivas.
- Tableau: Es una herramienta de visualización de datos que permite a los usuarios crear gráficos, mapas, dashboards e informes interactivos de manera sencilla y rápida. Su interfaz intuitiva de arrastrar y soltar facilita la conexión con múltiples fuentes de datos y la creación de visualizaciones sin necesidad de programación avanzada.

3.2 Conclusión

En este capítulo se presentaron los conceptos y herramientas clave de la metodología del estudio. Se detalló la función de las balanzas de pesaje, esenciales para medir con precisión el peso de los vehículos, proporcionando datos cruciales para analizar el impacto de la sobrecarga en la infraestructura vial. Además, se describieron las herramientas computacionales utilizadas, que permitieron un análisis detallado y fiable de los datos. Estos elementos metodológicos establecen una base sólida para interpretar los resultados y formular conclusiones en los próximos capítulos.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de los datos recopilados de las plazas de pesajes fijas distribuidas a lo largo de Chile. El objetivo es proporcionar una visión detallada y comprensible de los resultados, destacando las principales tendencias, patrones y diferencias observadas.

El capítulo se estructura en dos partes, los resultados de la balanza selectiva y punitiva respectivamente. En ambas se analizan las mismas variables. Se incluyen tanto análisis descriptivos como inferenciales, acompañados de gráficos que facilitan la interpretación de los datos.

4.2 Resultados

4.2.1 Selectiva

Los datos recopilados de esta balanza corresponden a cinco plazas de pesaje, entre ellas La Negra, Lampa, Curacaví, El Monte y Los Ángeles.

La muestra analizada por esta balanza en este periodo de tiempo es aproximadamente 45.400.000 de datos, para efectos de hacer un análisis por macrorregión los resultados obtenidos se analizan según las estaciones que pertenecen los datos, Zona Norte, Centro y Sur.

4.2.1.1 Zona Norte

En la Figura 4.1 se muestra el volumen de datos de la macrozona norte. La plaza de pesaje que representan dicha zona es La Negra. El total de registros para esta zona es de aproximadamente 4.150.000, es una de las estaciones con menor cantidad de datos en comparación a la zona centro y sur. El promedio de registros diarios está entre los 1100-1408 datos. Se evidencia que en el año 2022 existe una gran diferencia entre el volumen de datos registrados por cada estación.

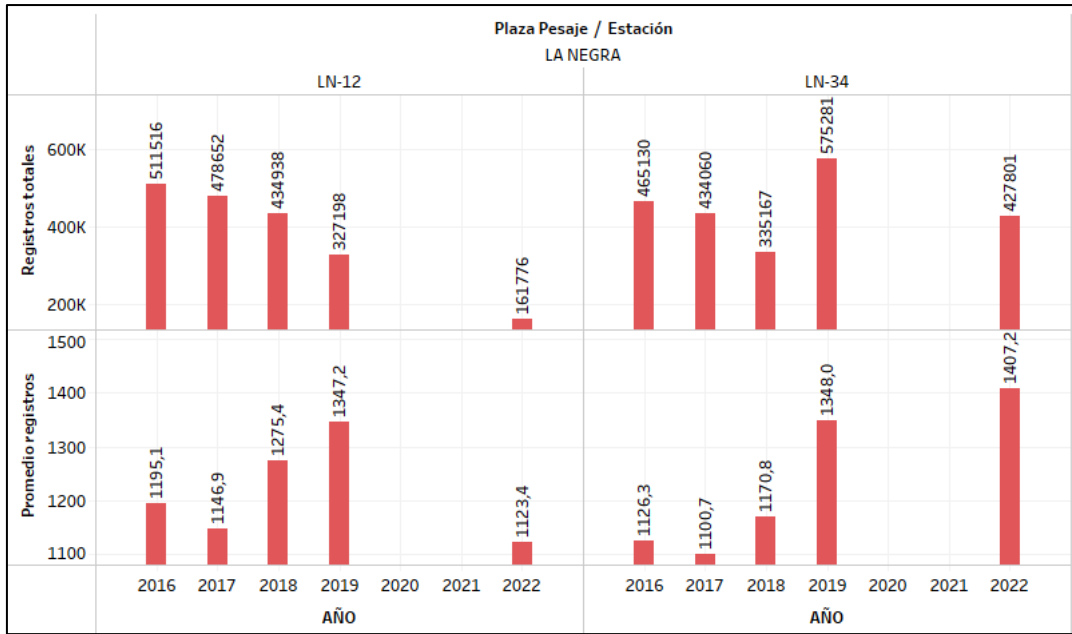


Figura 4.1. Registros totales y promedio de registros diarios, Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración Propia)

En la Figura 4.2 se presentan dos medidas descriptivas del peso bruto total. El valor máximo, que para esta zona es de 155,12t, dicho dato es de la estación LN-34 del año 2016. En los otros años el máximo se encuentra entre 90t y 125t aproximadamente. La moda varía dependiendo el año está entre 2t y 3t o entre 16t y 18,25t. Modas entre 2-3t son indicación de que numerosos vehículos livianos se pesa en la balanza selectiva sin razón o de errores no eliminados por los filtros seleccionados.

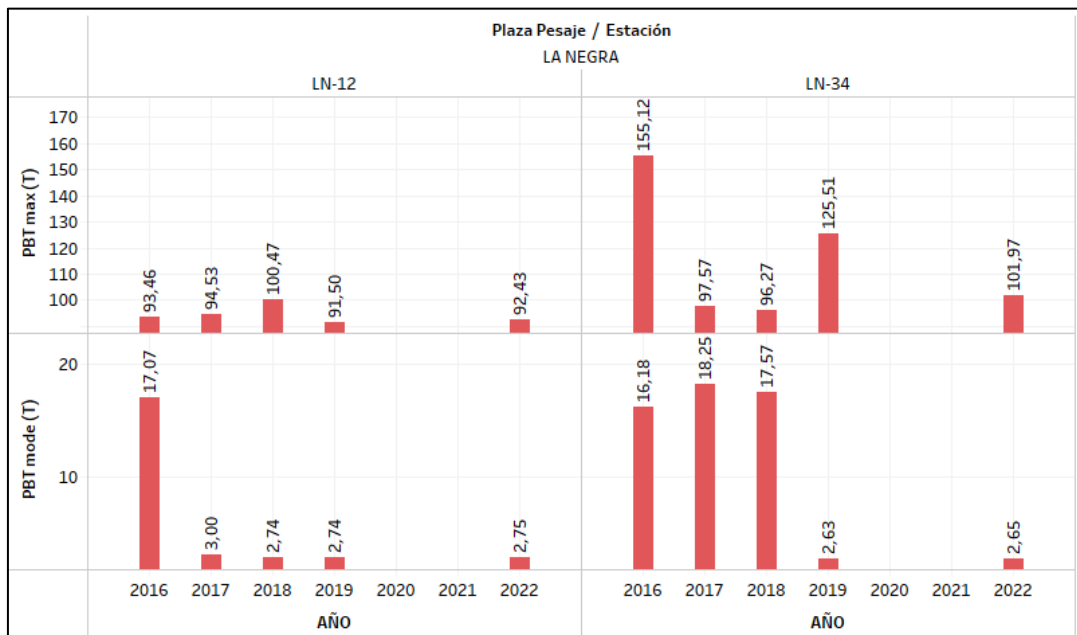


Figura 4.2. Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.3 se exhiben los camiones más comunes que transitan por las plazas de pesaje. Respecto de aquellos vehículos que no presentan sobrecarga, los más comunes son los tipos 200, 530 y 690. Respecto a los que llevan posible sobrecarga son el 690, 410 y 7X. Se evidencia que el camión de tipología vehicular 690 es común para ambos casos (a) y (b).

(a) PBT < 45t

(b) PBT > 45t

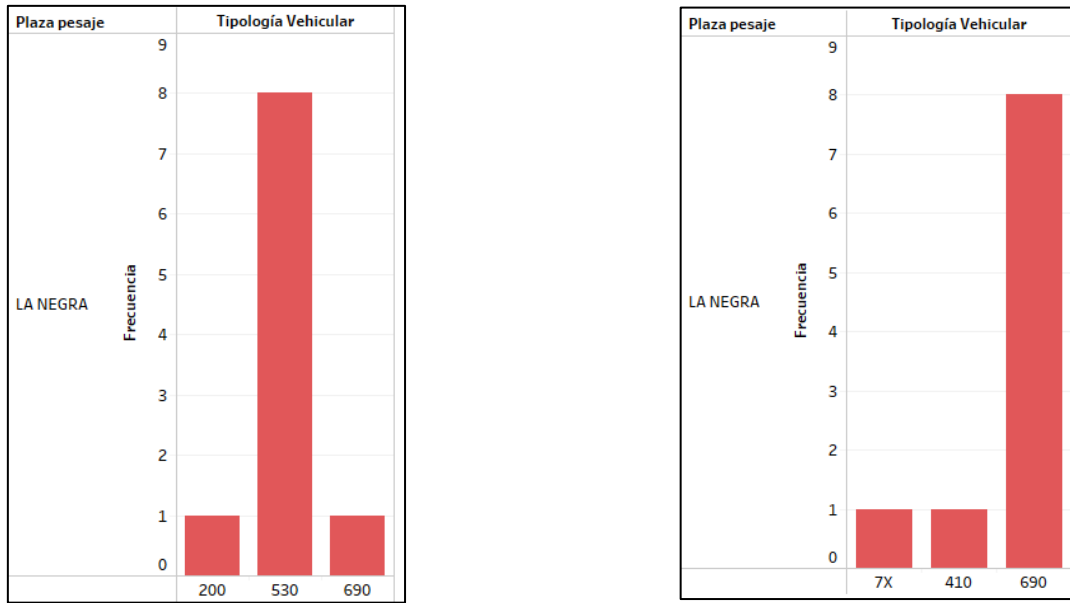


Figura 4.3 Camiones más comunes, Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración Propia)

En la Figura 4.4 se observan dos medidas de posición. El percentil 75, el cual es inferior a 35,02t y el percentil 95 que es inferior a 48,16t. Se demuestra que al menos el 75% de los datos está dentro de lo estipulado por el manual de cargas especiales (ver Tabla 2.1)

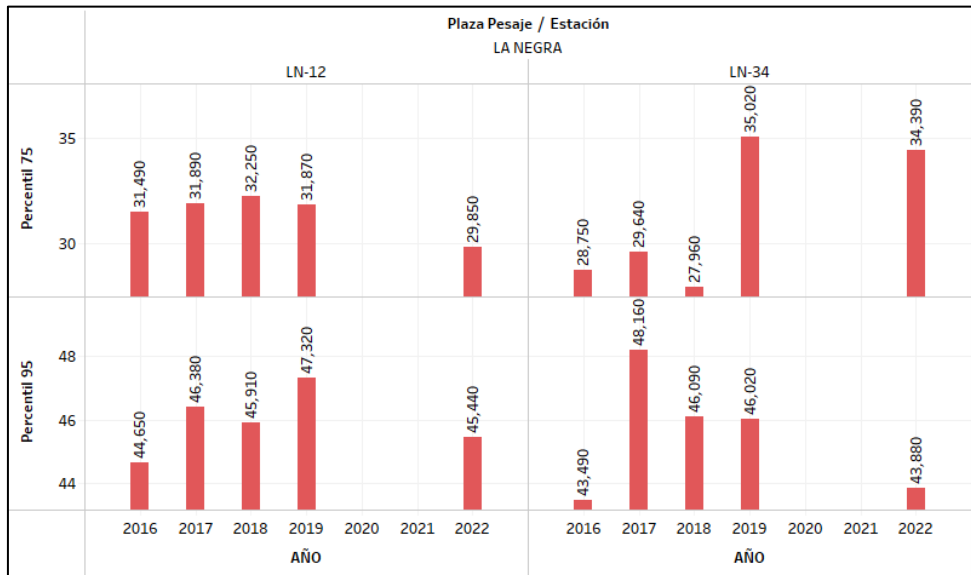


Figura 4.4. Percentiles peso bruto total, Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.5 se muestra la probabilidad de que un camión pese más de 45t. Se tiene que durante el periodo 2016-2019 el porcentaje más alto fue de 14,37%, el año 2022 dicho valor tuvo una baja considerable a 2,33%. Se evidencia una tendencia al alza entre 2016-2019 y luego una baja en 2022 en ambas estaciones. El rango típicamente aceptable de superación de un valor nominal o característico va entre un 2% a 5% (el valor 5% está marcado con línea segmentada en las Figuras). La probabilidad de exceder el límite legal de 45t supera lo que se consideraría aceptable.

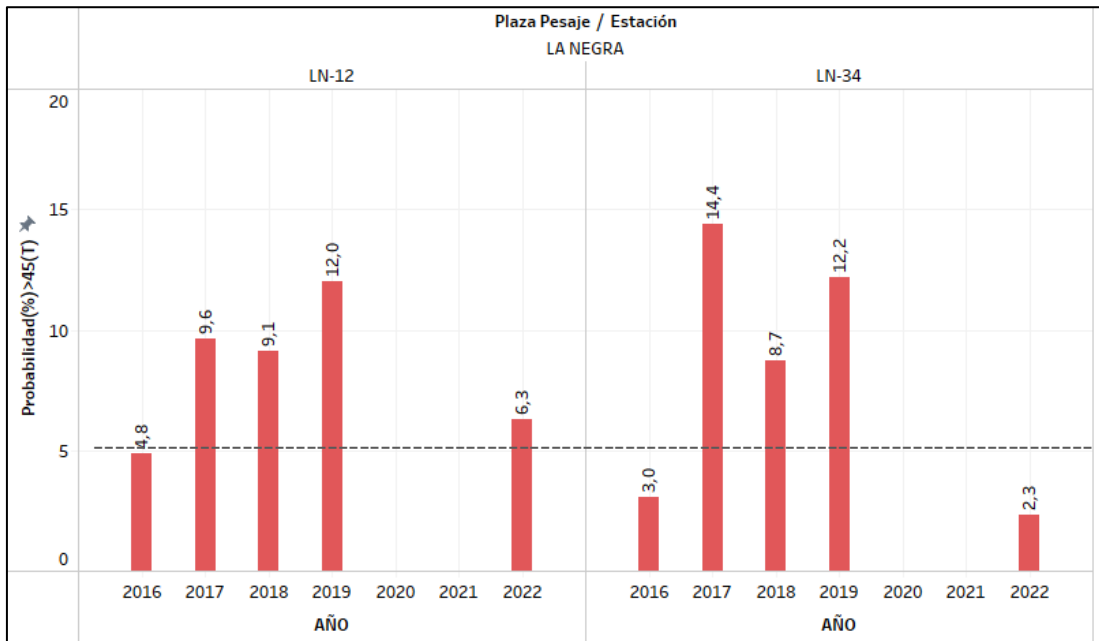


Figura 4.5. Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t , Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.6 se exhibe una medida descriptiva y otra de posición de los ejes de los camiones que transitan por esta balanza. El máximo pesa 29,3t y el percentil 75 de los datos se encuentra inferior a 7,56t. Se evidencia que el 75% de los pesos está dentro de rango según lo estipulado por el Ministerio de Obras Públicas para camiones que presenten un eje simple de rodado doble (ver Tabla 2.3).

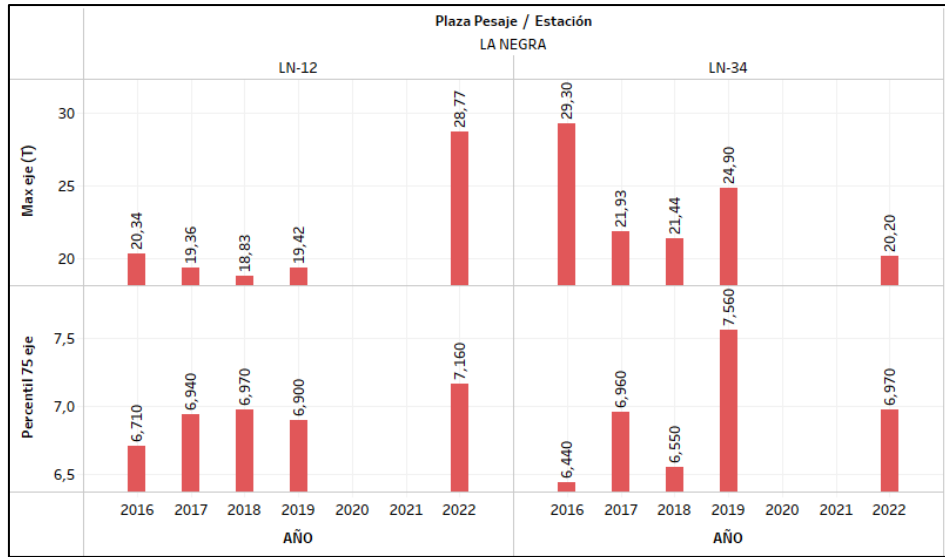


Figura 4.6. Características de eje más común de los camiones, Zona Norte-balanza selectiva (Elaboración Propia)

4.2.1.2 Zona Centro

En la Figura 4.7, se muestra el volumen de datos de la macrozona centro. Las plazas de pesaje que representan la zona Centro son Lampa, Curacaví y El Monte. El total de registros para esta zona es de aproximadamente 30.980.000 datos, es la zona con mayor cantidad de registros. El promedio de registros diarios que se obtienen en el periodo 2016-2018 varía entre los 1650-2300. En el año 2019 en Lampa el promedio de registros es de 2300 y 2500, Curacaví y El Monte el promedio es de 3870 a 3850. Em el año 2022 Lampa aumenta sus registros a 4080, Curacavi y El Monte disminuyen a un rango de 1730-2600 el promedio de datos diarios. Se evidencia que, en el periodo analizado, la zona Centro presenta un alto tráfico de vehículos pesados, siendo Lampa la que presenta mayor volumen de datos.

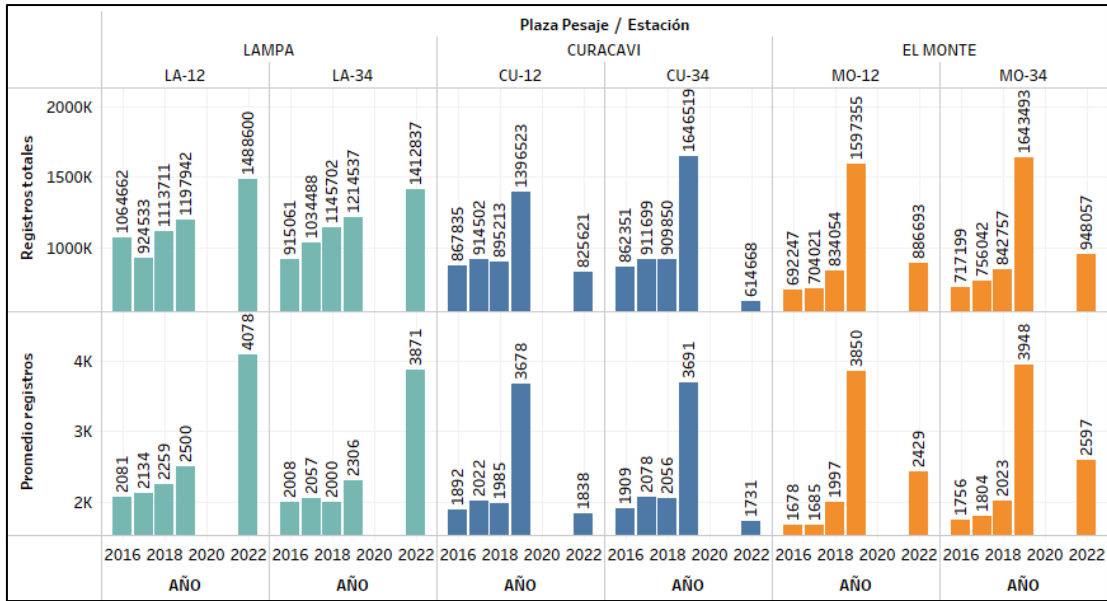


Figura 4.7. Registros totales y promedio de registros diarios, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.8 se presentan dos medidas descriptivas del peso bruto total. El máximo que es de 158,16t dicho dato es de la estación LA-12 del año 2018, respecto a los otros años el peso bruto total máximo se encuentra entre 80t y 148t aproximadamente. La moda en Lampa en el periodo 2016-2019 es de 2t a 3t, en las otras estaciones de 16t a 19t. Se evidencia que, en las tres estaciones, la moda el año 2022 está dentro del mismo rango 15t a 20 toneladas, cumple con lo estipulado por el manual de cargas especiales (ver Tabla 2.1). Modas entre 2-3t son indicación de que numerosos vehículos livianos se pesa en la balanza selectiva sin razón o de errores no eliminados por los filtros seleccionados.

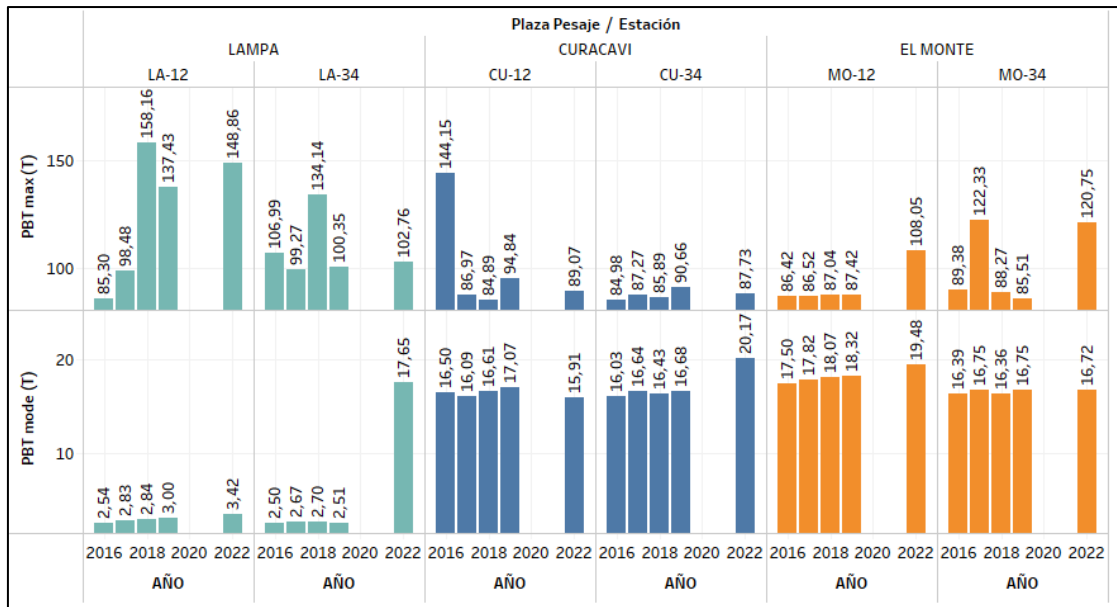


Figura 4.8. Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.9 se exhiben los camiones más comunes que transitan por las plazas de pesaje. En Lampa son el 530, 200 y 690, en Curacaví son el 210, 690 y 410 y en El Monte hay mayor variabilidad son 690, 410, 200 y 210. Ahora respecto a los que llevan posible sobrecarga, en Lampa son el 690, 520, 450 y 7X, en Curacaví son exclusivamente del tipo 690 y en El Monte son el 690, 630 y 410. Se evidencia que el camión de tipología vehicular 690 es común para ambos casos (a) y (b).

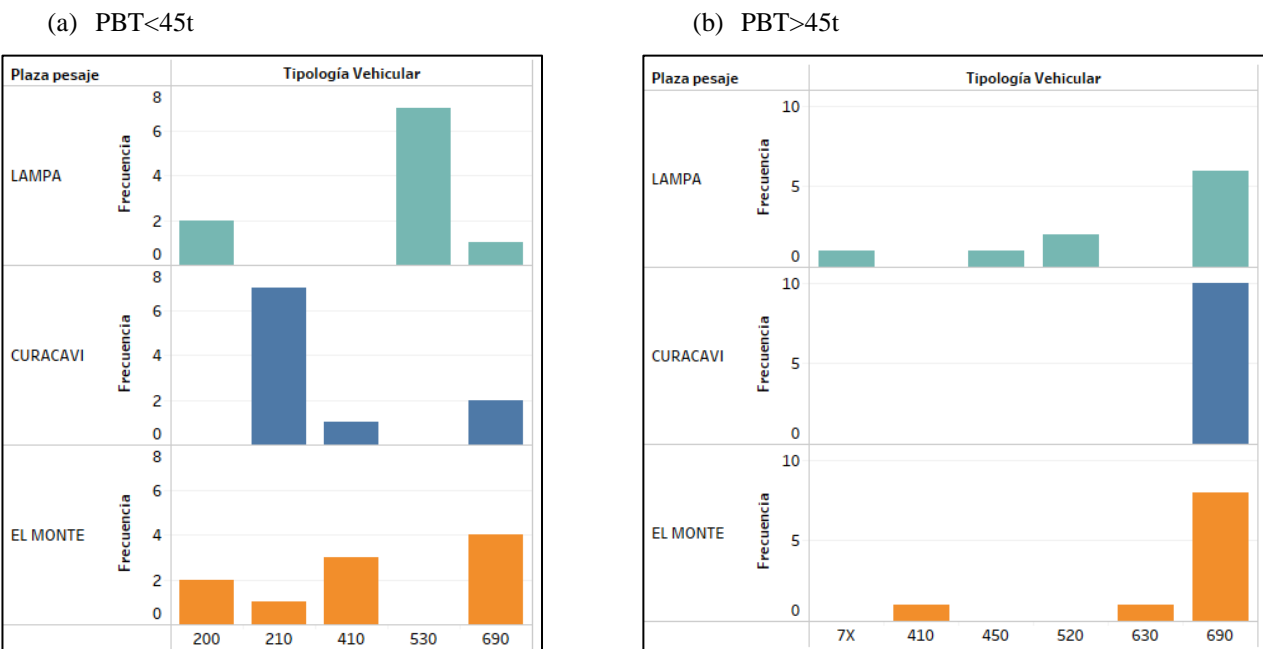


Figura 4.9 Camiones más comunes, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.10 se observan dos medidas de posición. El percentil 75, en Lampa es inferior a 25,43t salvo el año 2022 que aumentó a 36,92t, en Curacaví es inferior a 27t, el año 2022 tiene una pequeña diferencia, llega a 29t, en El Monte que presenta una gran diferencia entre sus dos estaciones en MO-12 es inferior a 21,71t mientras que en MO-34 es inferior a 36,75t. El percentil 95, en las tres plazas está bajo el rango de 44t a 46t. Se evidencia que en las tres plazas de pesaje el 95% de los datos excede ligeramente lo estipulado por el manual de cargas especiales (ver Tabla 2.1)

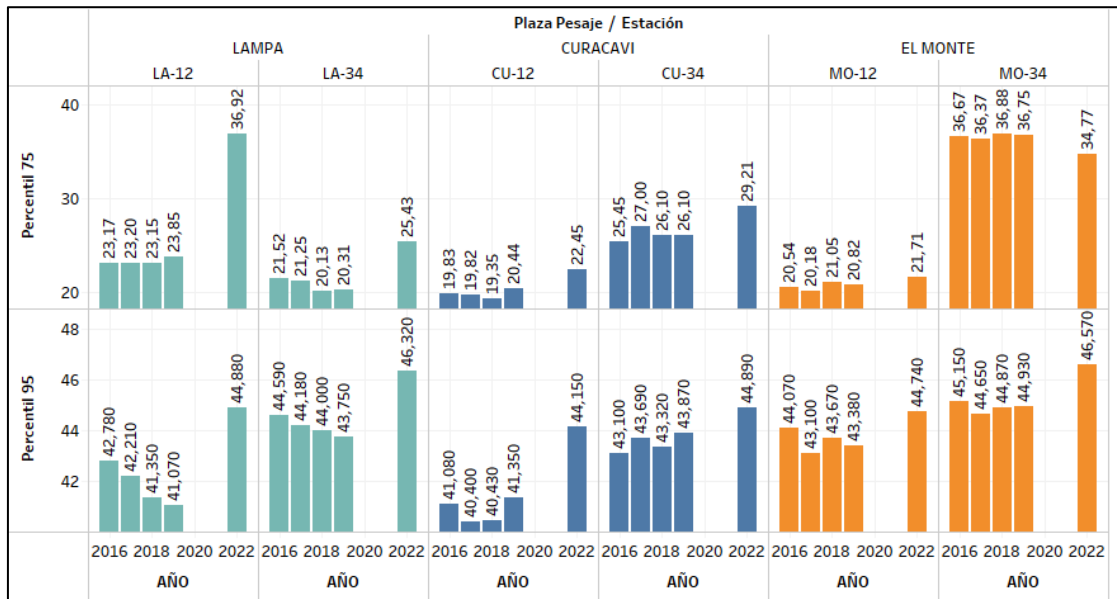


Figura 4.10. Percentiles peso bruto total, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.11 se muestra la probabilidad de que un camión pese más de 45t. Se tiene que durante el periodo 2016-2019 las plazas están dentro de un rango similar entre un 1%-6%, a diferencia del año 2022 que tanto en Lampa como en El Monte este valor alcanzó un rango de 7%-8%, en Curacaví llegó a 5,75%. El rango típicamente aceptable de superación de un valor nominal o característico va entre un 2% a 5% (el valor 5% está marcado con línea segmentada en las Figuras). La probabilidad de exceder el límite legal de 45t supera lo que se consideraría aceptable.

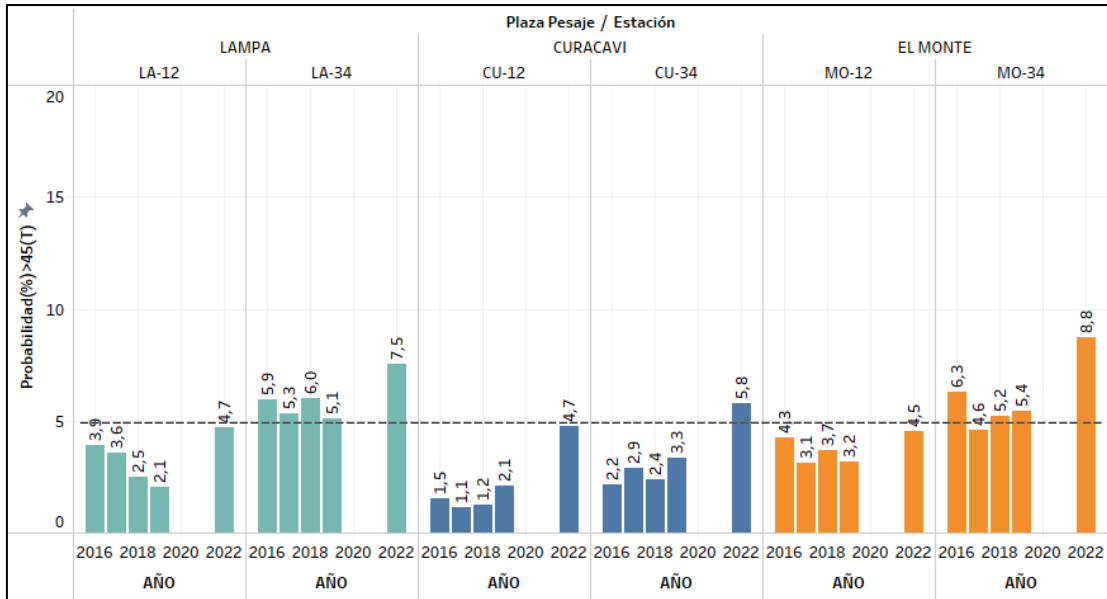


Figura 4.11 Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t , Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.12 se exhibe una medida descriptiva y de posición de los ejes de los camiones que transitan por esta balanza. En las tres plazas de pesaje el máximo peso está en el rango de 18t a 29t y el percentil 75 de los datos es inferior a 7,72t. Se evidencia que el 75% de los pesos está dentro de lo estipulado por el Ministerio de Obras Públicas para camiones que presenten un eje simple de rodado doble (ver Tabla 2.3).

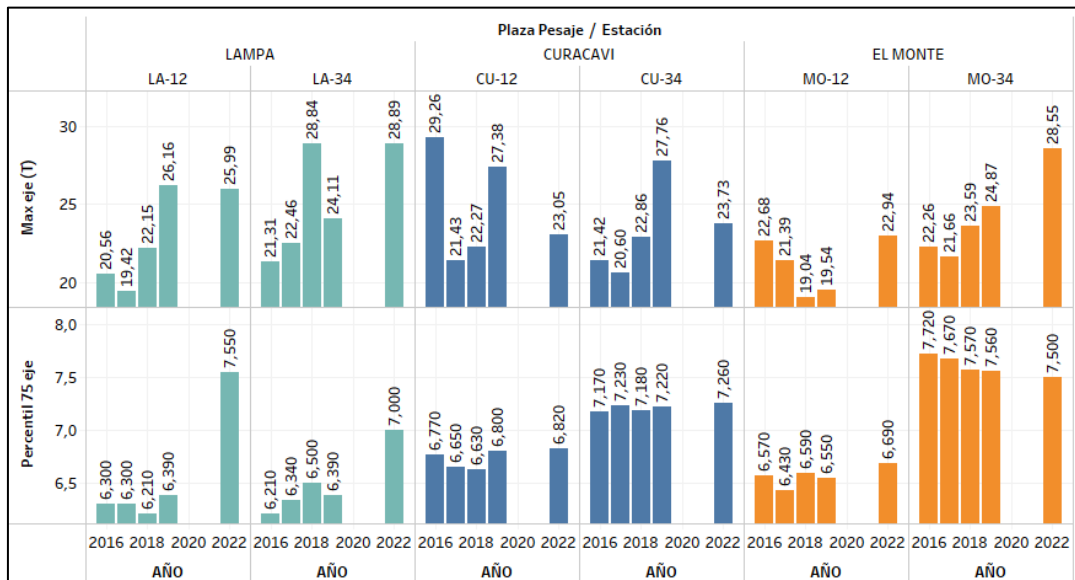


Figura 4.12. Características de eje más común de los camiones, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia)

4.2.1.3 Zona Sur

En la Figura 4.13 se muestra el volumen de datos de la macrozona sur. La plaza de pesaje que representa la zona sur es la de Los Ángeles. El total de registros para esta zona es de aproximadamente 9.192.000. El promedio de registros diarios varía entre los 1600-2700 datos, salvo el año 2019 que fue de 3880 y 4300 datos.

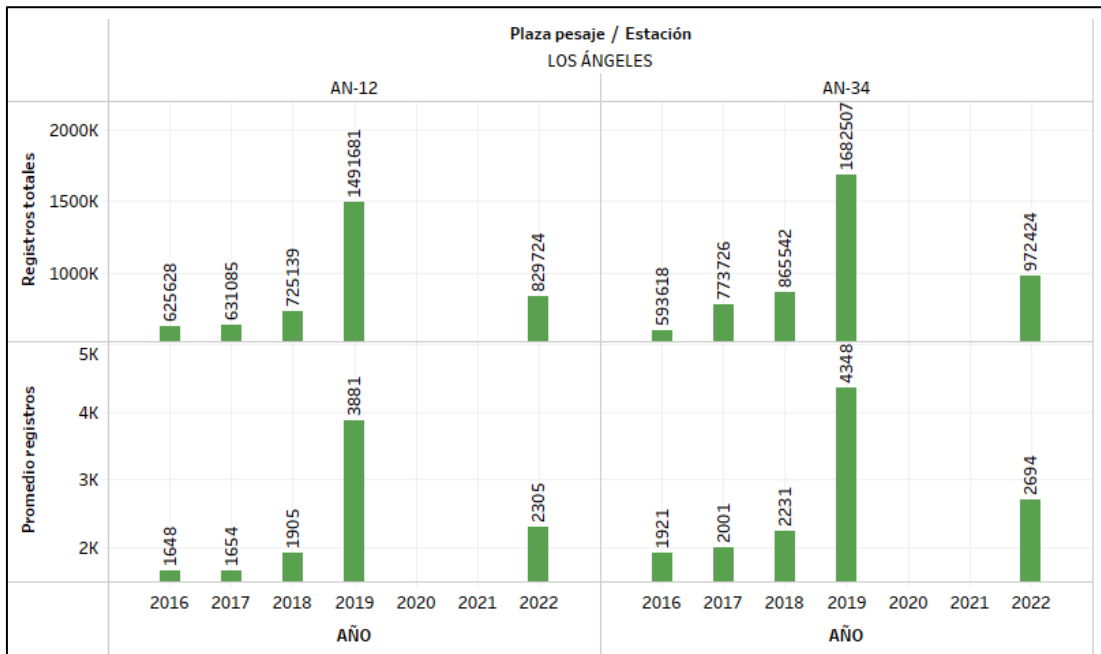


Figura 4.13. Registros totales y promedio de registros diarios (Zona Sur-, balanza selectiva)

En la Figura 4.14 se presentan dos medidas descriptivas del peso bruto total. El máximo, que es de 130,1t dicho dato es del año 2016, respecto a los otros años el máximo se encuentra entre 100t a 120t aproximadamente. La moda está entre 16t y 21t, cumpliendo con lo estipulado en el manual de cargas especiales (ver Tabla 2.1).

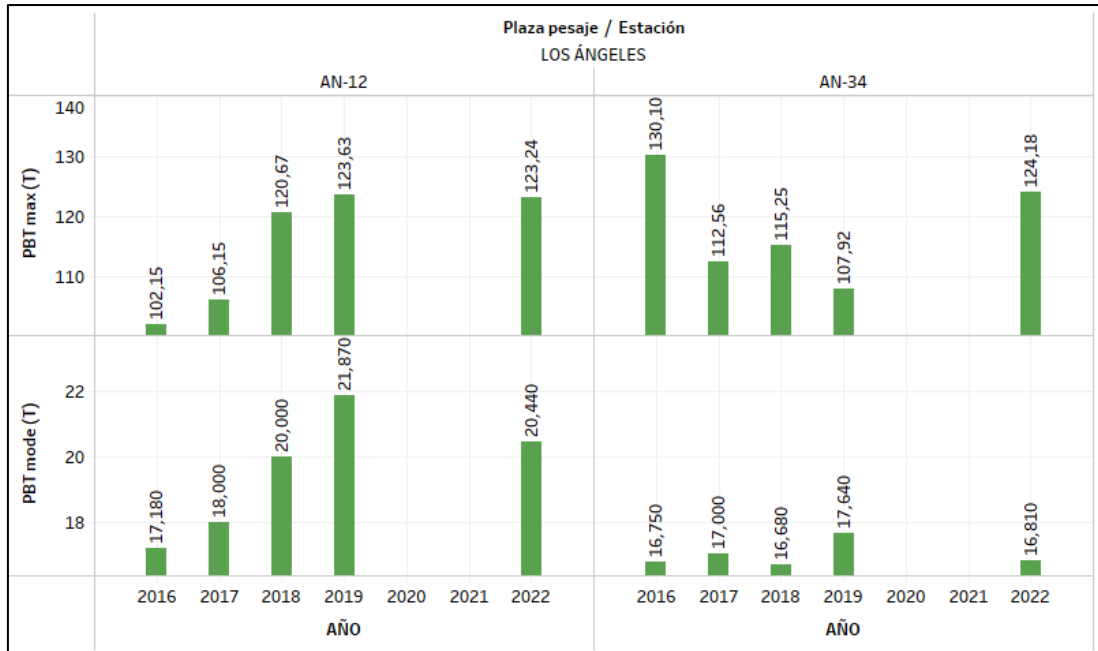


Figura 4.14 Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Centro-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.15 se exhiben los camiones más comunes que transitan por la plaza de pesaje. Los que no presentan sobrecarga es exclusivamente el 520. Ahora respecto a los que llevan posible sobrecarga, son el 520 y 690. Se evidencia que el camión de tipología vehicular 520 es común para ambos casos (a) y (b).

(a) PT<45t

(b) PBT>45t

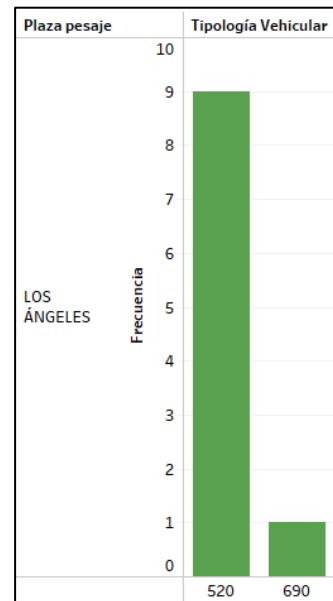
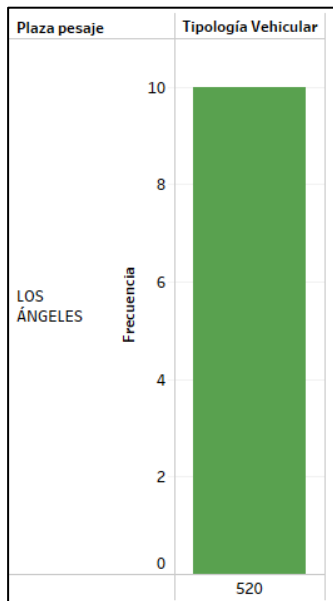


Figura 4.15 Camiones más comunes, Zona Sur-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.16 se observan dos medidas de posición. El percentil 75 que es inferior a 41,55t y el percentil 95 inferior a 49,6t. Se demuestra que al menos el 75% de los datos está dentro de lo estipulado por el manual de cargas especiales (ver Tabla 2.1)

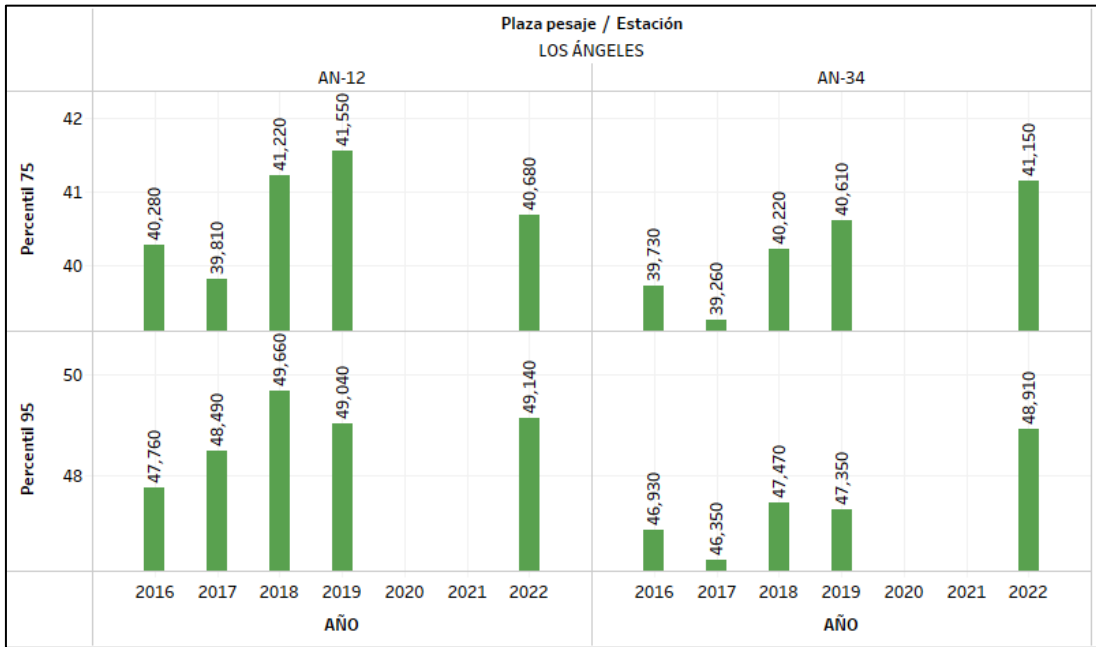


Figura 4.16 Percentiles peso bruto total, Zona Centro-balanza selectiva 8Elaboración propia)

En la Figura 4.17 se muestra la probabilidad de que un camión pese más de 45t. Se observa que existe una gran diferencia entre AN-12 y AN-34, en AN-12 varía entre 12% y 17% y en AN-34 el rango está entre 7% y 13%. El rango típicamente aceptable de superación de un valor nominal o característico va entre un 2% a 5% (el valor 5% está marcado con línea segmentada en las Figuras). La probabilidad de exceder el límite legal de 45t supera lo que se consideraría aceptable.

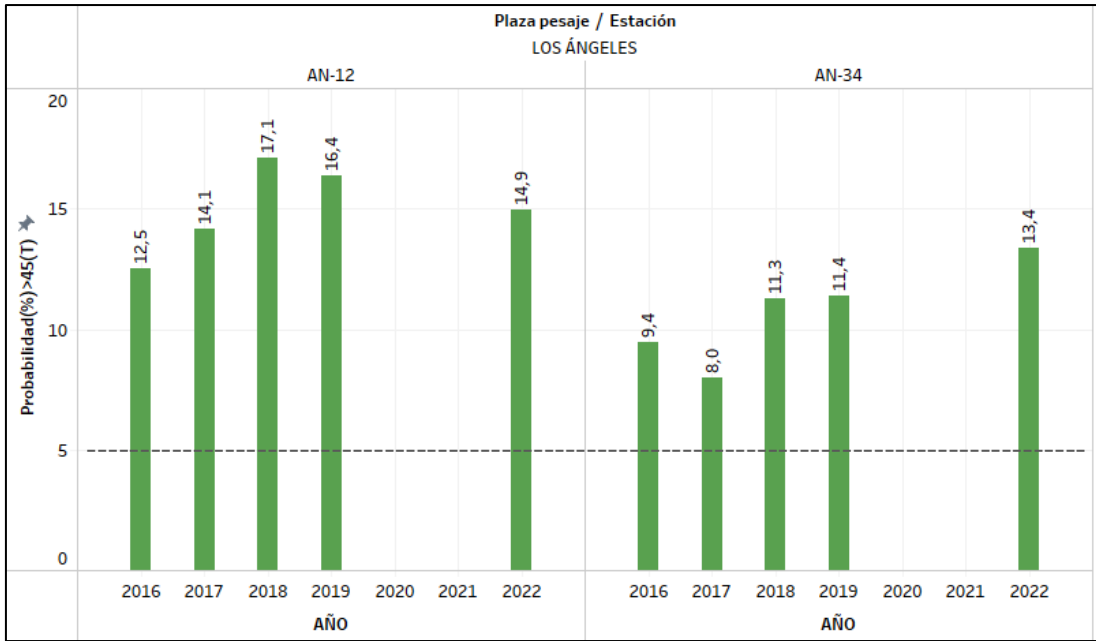


Figura 4.17 Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t , Zona Sur-balanza selectiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.18 se exhibe una medida descriptiva y otra de posición de los ejes de los camiones que transitan por esta balanza. El máximo pesa 29,96t y el percentil 75 de los datos es inferior a 8,53t. Se evidencia que el 75% de los pesos está dentro de lo estipulado por el Ministerio de Obras Públicas para camiones que presenten un eje simple de rodado doble. (ver Tabla 2.3)

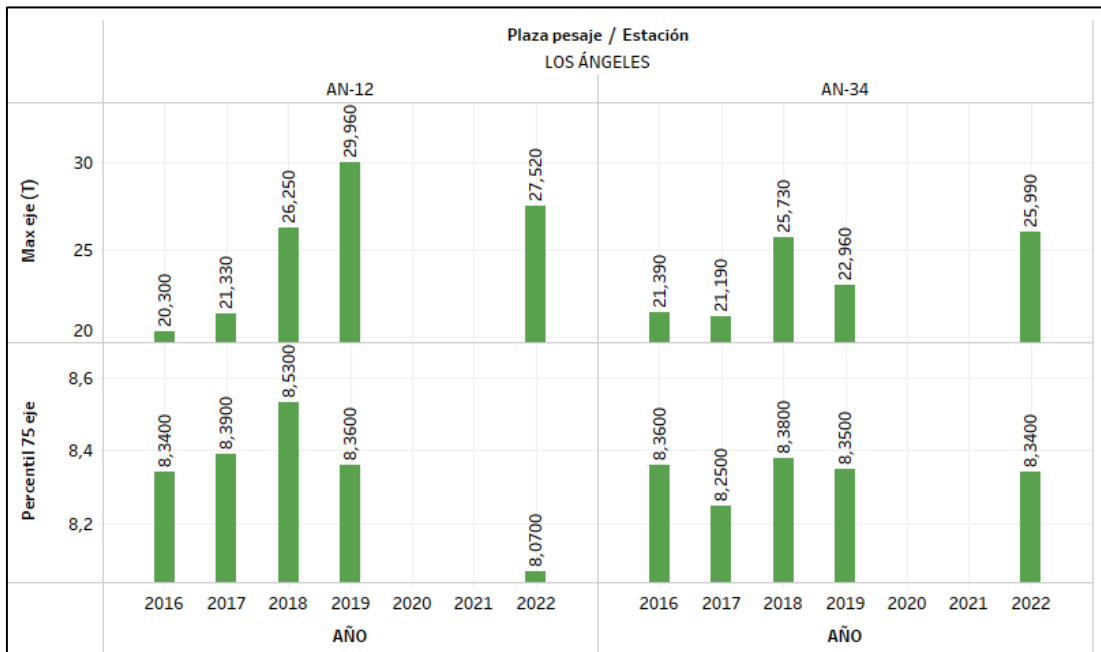


Figura 4.18. Características de eje más común de los camiones, Zona Sur-balanza selectiva (Elaboración propia)

4.2.2 Punitiva

Los datos recopilados de esta balanza corresponden a ocho plazas de pesaje, entre ellas Huara, La Negra, Lampa, Curacaví, El Monte, Los Ángeles, Curalí y Nicodahue los cuales fueron obtenidos entre 2016-2019 y debido a la pandemia el año 2022 se retomaron.

La muestra analizada por esta balanza en este periodo de tiempo es aproximadamente 5.950.000 datos, para efectos de hacer un análisis por macrorregión los resultados obtenidos se analizan según las estaciones que pertenecen los datos, zona Norte, Centro y Sur.

4.2.2.1 Zona Norte

En la Figura 4.19 se muestra el volumen de datos de la macrozona norte. Las plazas de pesaje que representan la zona norte es la Huara y La Negra. El total de registros para esta zona es de aproximadamente 1.280.000, esta zona es la con menor cantidad de datos en comparación al centro y sur. El promedio de registros diarios en la Huara en los años 2016-2019 varía entre 367 y 471,8 datos mientras que en el 2022 se alcanzan los 377,8 datos, con respecto a La Negra el promedio de datos diarios en los años 2016-2019 está dentro del orden de magnitud de 80 y 220, con respecto al año 2022 a penas se alcanzan 61,8 datos. Se evidencia que La Huara, en el periodo analizado, hay mayor volumen de datos, esto asociado a un mayor tráfico de vehículos pesados.

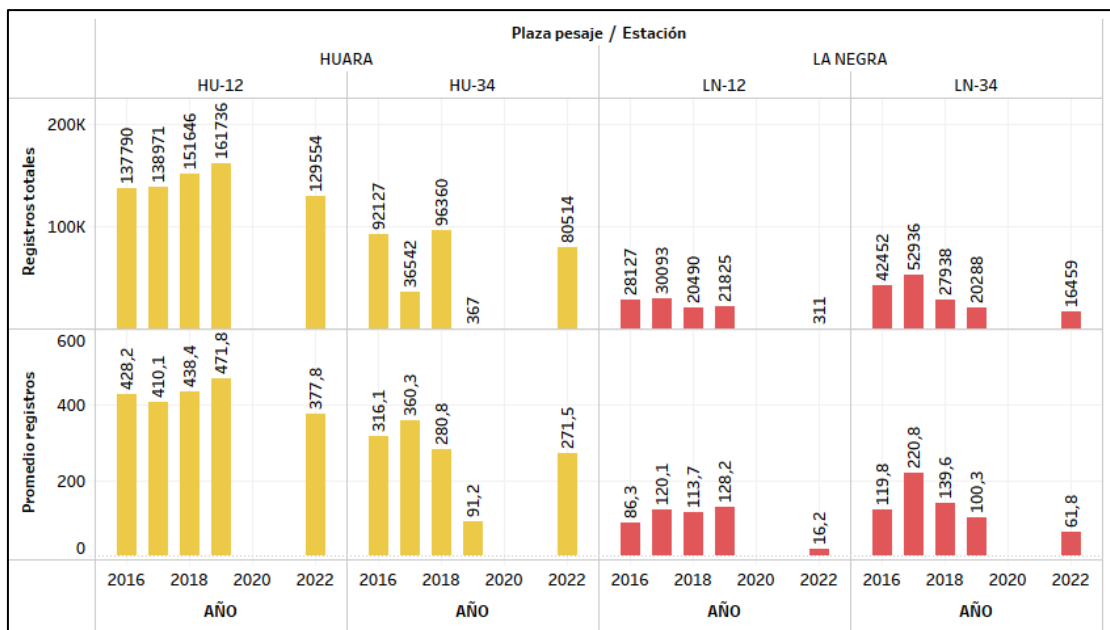


Figura 4.19 Registros totales y promedio de registros diarios, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.20 se presentan dos medidas descriptivas del peso bruto total. El máximo es de 100,99 t(Huara) y 137,01t (La Negra) ambos del año 2018, respecto a los otros años de ambas plazas el peso bruto total máximo se encuentran entre 69t a 132t aproximadamente, salvo en la HU-34 que en el 2019 tiene un peso bruto total máximo de 45,55t. La moda en la Huara en el periodo 2016-2019 se mantiene en 10t, mientras que en el 2022 tiene una moda de 43,62t, por otro lado, La Negra se mantiene constante en aproximadamente 44t durante todos los años salvo en 2022 que específicamente en LN-12 la moda es de 78,99t. Se evidencia que La Negra y Huara presenta una moda que está en el límite de lo admisible según el manual de cargas especiales, salvo el año 2022 en LN-12 que se excede el límite. (ver Tabla 2.1)

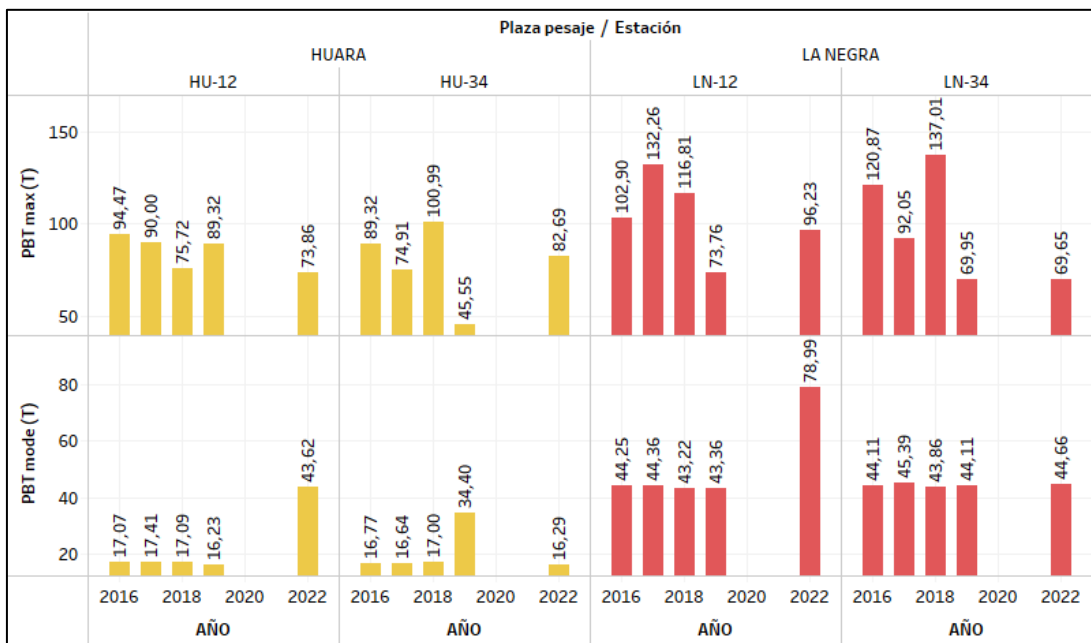
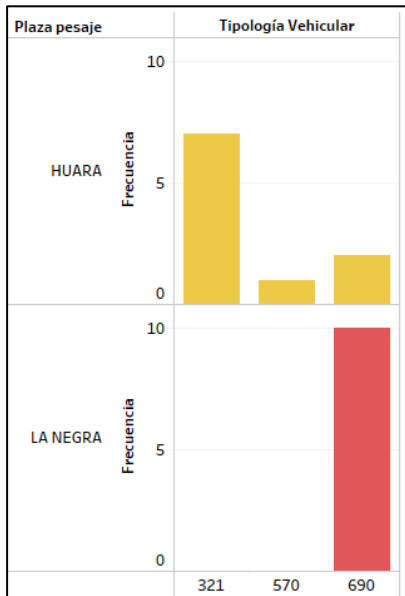


Figura 4.20. Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.21 se exhiben los camiones más comunes que transitan por las plazas de pesaje. En el caso de la Huara son el 321, 690 y 570, en La Negra es exclusivamente el 690. Ahora respecto a los que llevan posible sobrecarga, en la Huara es el 690, 520 y 630, en La Negra predomina nuevamente el 690 y 530. Se evidencia que el camión de tipología vehicular 690 es común para ambos casos (a) y (b).

(a) PBT < 45t



(b) PBT > 45t

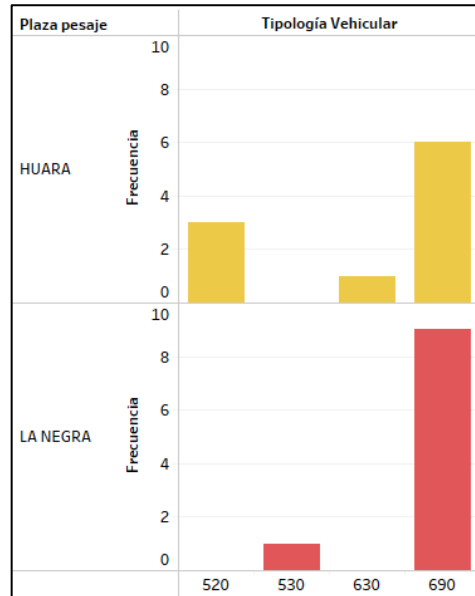


Figura 4.21 Camiones más comunes, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.22 se observan dos medidas de posición. El percentil 75, en Huara es inferior a 42,04t y en La Negra es inferior a 44,67t. El percentil 95 de los datos en ambas plazas están entre 40t y 50t. Se evidencia que ambas plazas de pesaje cumplen con lo indicado en el manual de cargas especiales, salvo en LN-12 el año 2022 que el percentil 95 está bajo 52,95t. (ver Tabla 2.1)

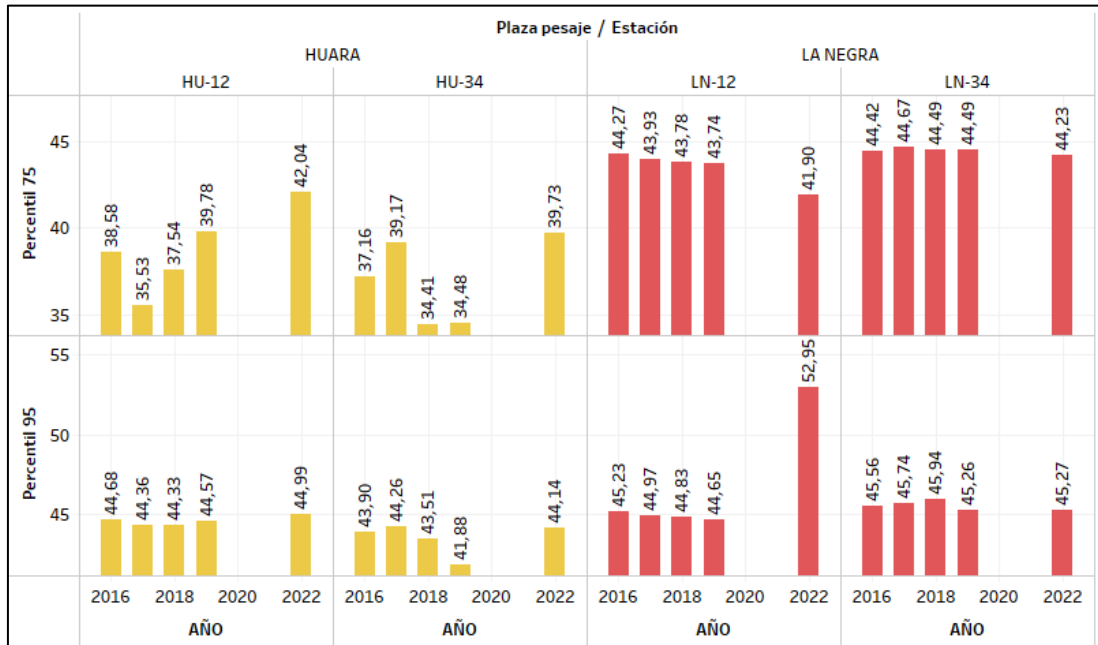


Figura 4.22. Percentiles peso bruto total, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.23 se muestra la probabilidad de que un camión pese más de 45 toneladas. Existe una diferencia considerable entre la Huara y La Negra, con respecto a HU-12 y HU-34 oscila entre 1% a 5% al igual que en LN-12 salvo en LN-34 que este valor se dispersa y va entre un 9% a 19%. Se evidencia que en La Negra existe un exceso de vehículos pesados con sobrecarga. El rango típicamente aceptable de superación de un valor nominal o característico va entre un 2% a 5% (el valor 5% está marcado con línea segmentada en las Figuras). La probabilidad de exceder el límite legal de 45t supera lo que se consideraría aceptable.

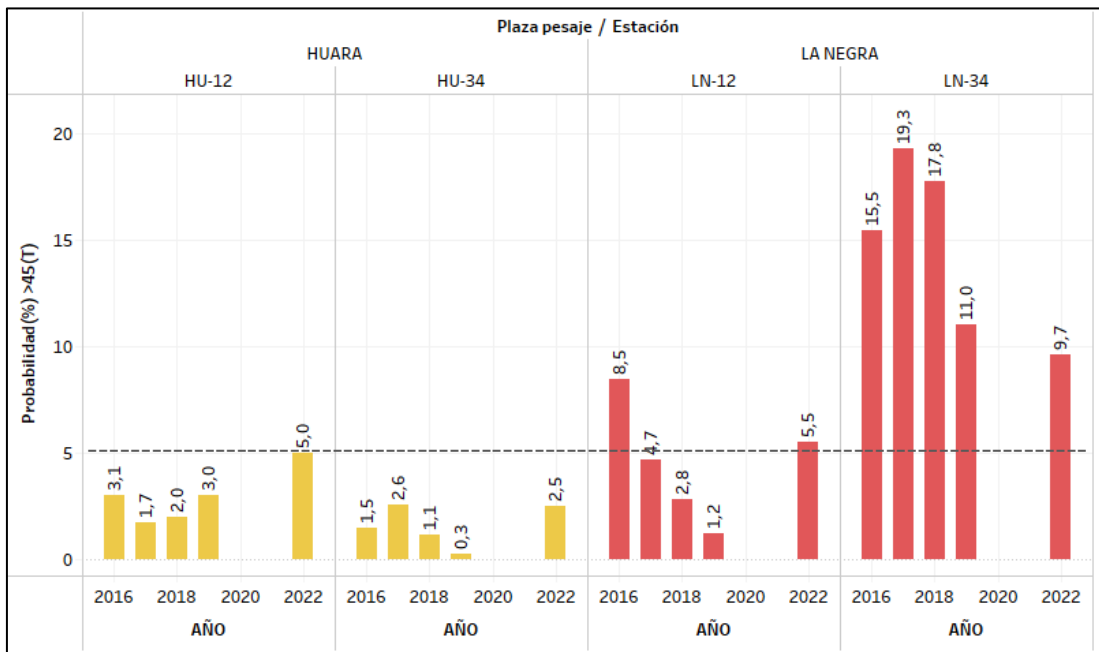


Figura 4.23. Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración Propia)

En la Figura 4.24 se exhibe una medida descriptiva y otra de posición de los ejes de los camiones que transitan por esta balanza. El máximo en ambas plazas está entre las 17t y 24t y el percentil 75 de los datos es inferior a 8,95t. Se evidencia que el 75% de los pesos está dentro de lo estipulado por el Ministerio de Obras Públicas para camiones que presenten un eje simple de rodado doble. (ver Tabla 2.3)

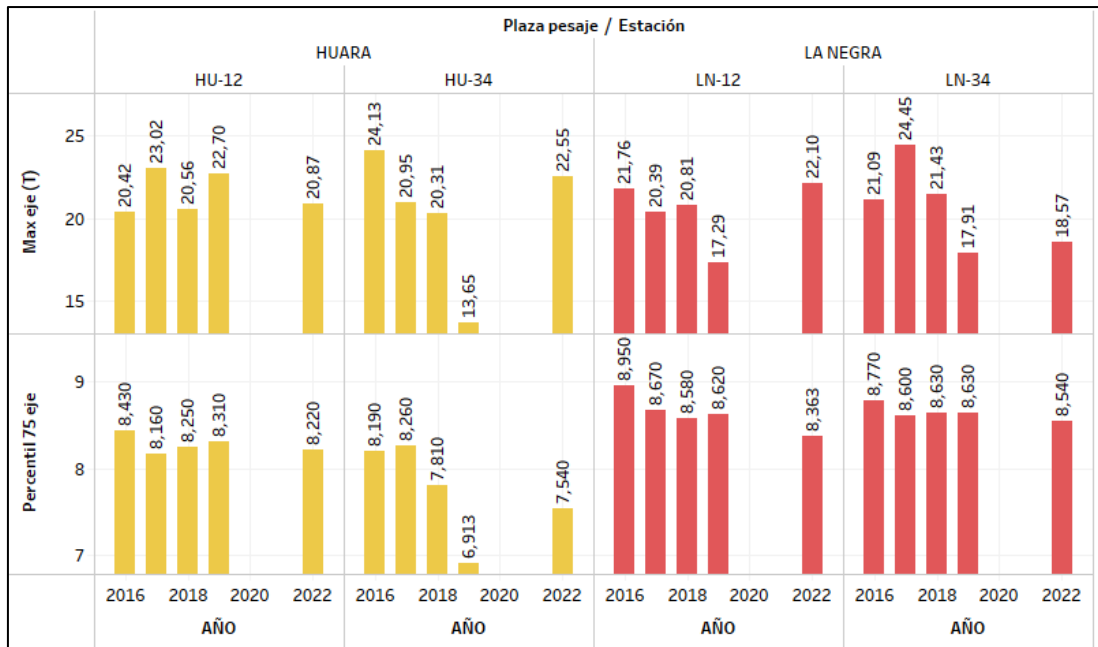


Figura 4.24 Características de eje más común de los camiones, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia)

4.2.2.2 Zona Centro

En la Figura 4.25 se muestra el volumen de datos de la macrozona centro. Las plazas de pesaje que representan la zona centro son Lampa, Curacaví y El Monte. El total de registros para esta zona es de aproximadamente 2.370.000 datos, es la zona con mayor cantidad de registros. El promedio de registros diarios va entre 100-350. Se evidencia que en el periodo analizado, la zona centro presenta un alto tráfico de vehículos pesados, siendo Lampa la que presenta mayor volumen de datos.

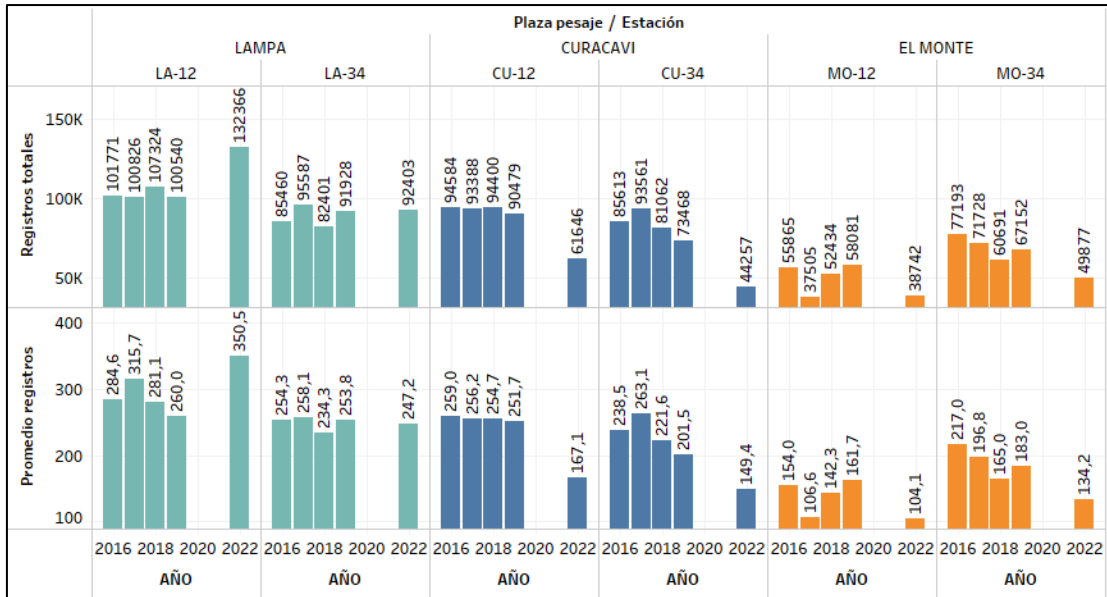


Figura 4.25. Registros totales y promedio de registros diarios, Zona Centro-balanza punitiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.26 se presentan dos medidas descriptivas del peso bruto total. El máximo está en LA-34 de 287,9t-293,1t dichos datos son del año 2019 y 2022, respecto a los otros años el peso bruto total máximo en Lampa se encuentra entre 87t y 117t aproximadamente, en Curacaví oscila entre 50t a 110t, al igual que en El Monte. La moda, está claramente definida para cada plaza en Lampa la moda es de 44t, en Curacaví de 18t y 22t, en El Monte de 17t o 44t. Se evidencia que Lampa, Curacaví y El Monte están en el límite de lo admisible según el manual de cargas especiales.

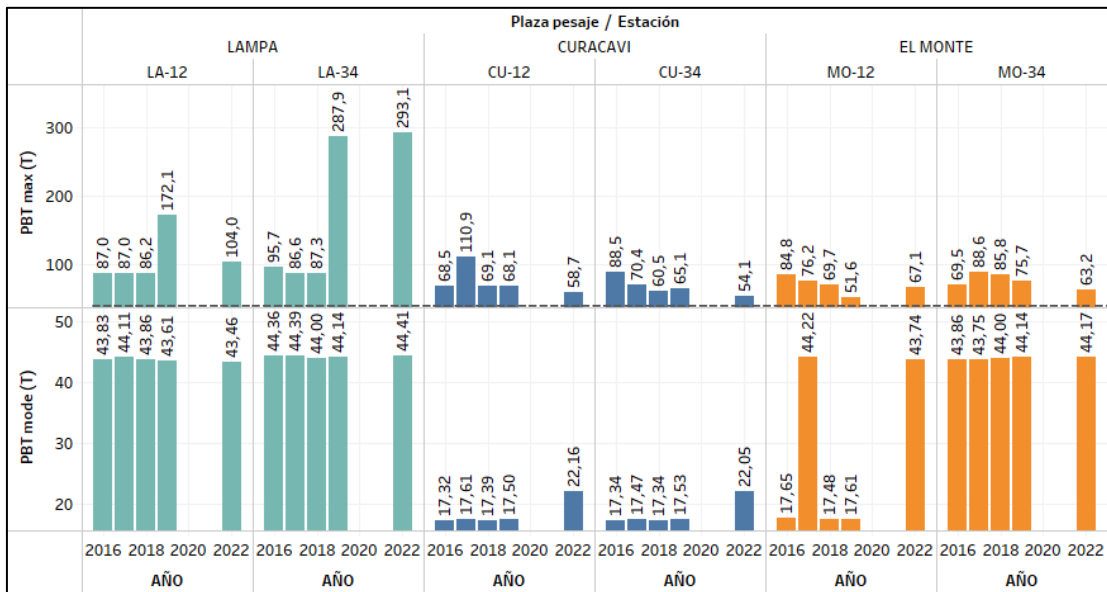


Figura 4.26. Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Centro-balanza punitiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.27 se exhiben los camiones más comunes que transitan por las plazas de pesaje. En Lampa son el 690 y 520, en Curacaví son el 210, 321 y 690, y en El Monte es exclusivamente el 690. Ahora respecto a los que llevan, en las tres plazas es el 690, y en Lampa además el 520. Se evidencia que los camiones de tipología vehicular 520 y 690 es común para ambos casos (a) y (b).

(a) PBT<45t

(b) PBT>45t

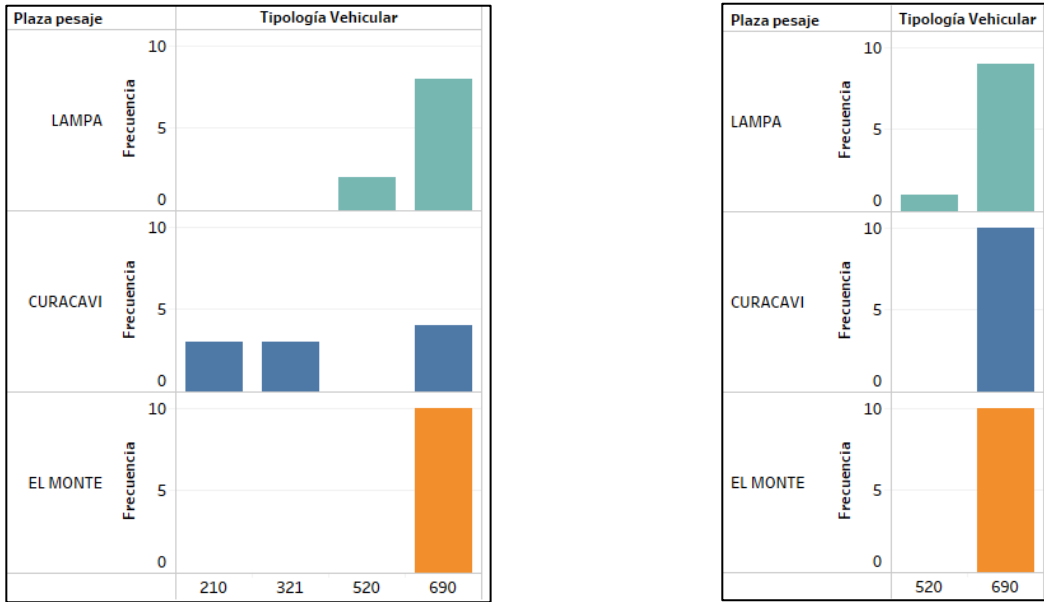


Figura 4.27 Camiones más comunes, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración Propia)

En la Figura 4.28 se observan dos medidas de posición. El percentil 75 y 95 tiene valores muy cercanos están entre 40t y 45t, salvo en Curacaví que en la estación CU-12 tiene el percentil 75 inferior a 38t y el 95 inferior a 44t. Se demuestra que el 95% de los datos está dentro de lo estipulado por el manual de cargas especiales (ver Tabla 2.1), a excepción de los datos de Lampa en LA-12 en el año 2022 y en LA-34 en el 2016 y el 2022.

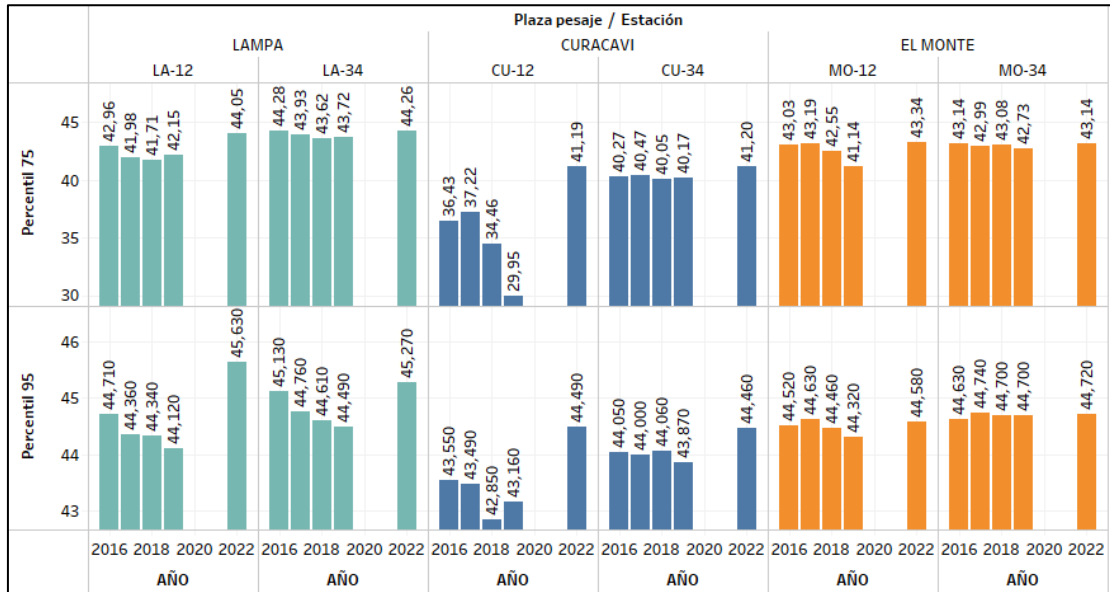


Figura 4.28. Percentiles peso bruto total, Zona Centro-balanza punitiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.29 se muestra la probabilidad de que un camión pese más de 45t. Lampa es la plaza que tiene mayor porcentaje, llegando el 2022 a un 11,2%, con respecto a Curacaví y El Monte están entre un 1% y 3%. Se evidencia que en Lampa existe un mayor tránsito de vehículos pesados. El rango típicamente aceptable de superación de un valor nominal o característico va entre un 2% a 5% (el valor 5% está marcado con línea segmentada en las Figuras). La probabilidad de exceder el límite legal de 45t supera lo que se consideraría aceptable en la plaza de Lampa.

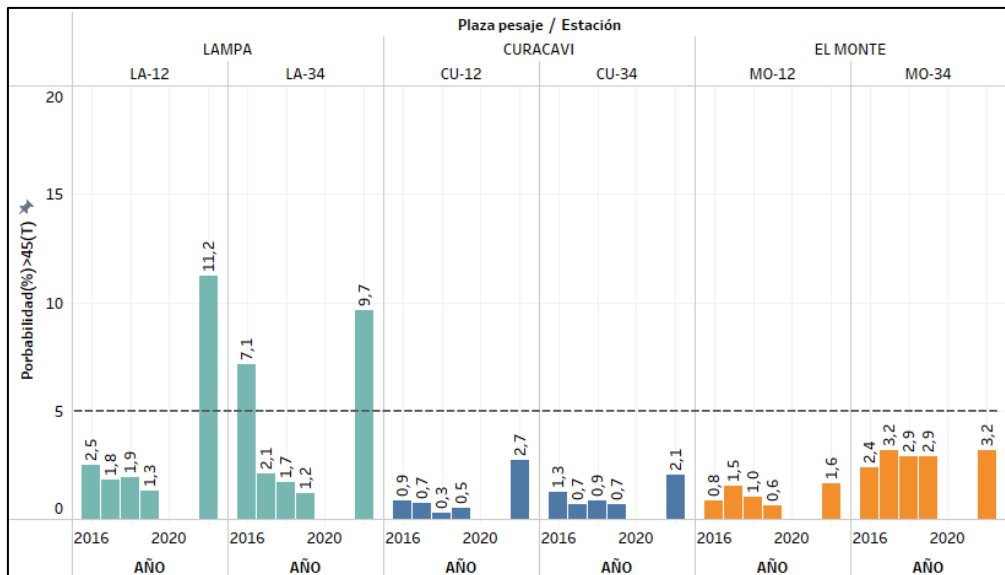


Figura 4.29. Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t , Zona Centro-balanza punitiva (Elaboración Propia)

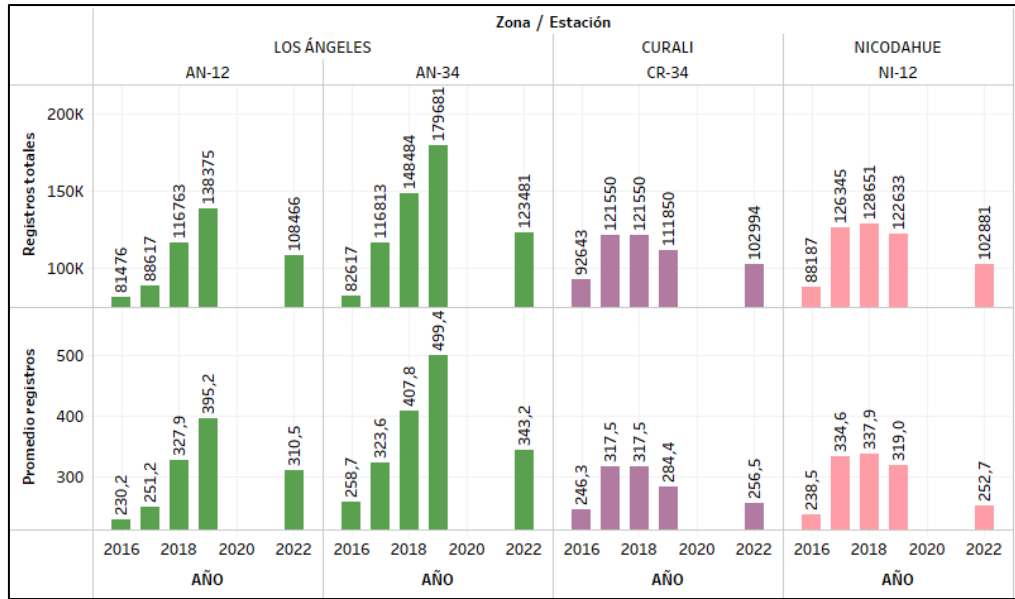


Figura 4.31. Registros totales y promedio de registros diarios, Zona Sur-balanza punitiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.32 se presentan dos medidas descriptivas del peso bruto total. El máximo es de 120,71 toneladas dicho dato es del año 2016 y pertenece a AN-12, respecto a los otros años el máximo se encuentra entre 60 a 110 toneladas aproximadamente. La moda, está bien definida en este caso en Los Ángeles es 44t, en Curalí es de 43t o 16t dependiendo el año y en Nicodahue es de 16t. Se evidencia que considerando que la moda mayor es de 44t, todas las plazas están bajo lo estipulado por el manual de cargas especiales (ver Tabla 2.1)

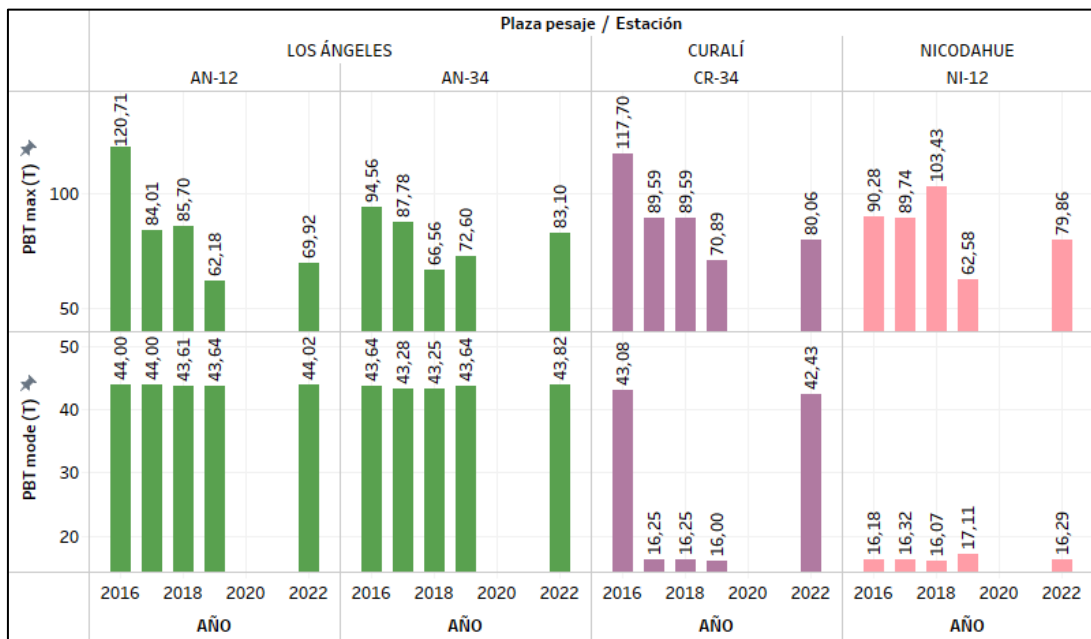
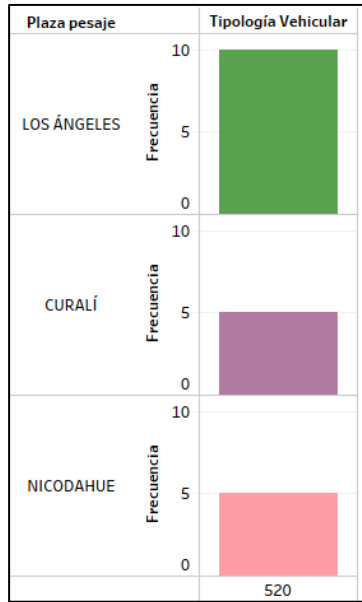


Figura 4.32. Peso bruto total: Máximo y moda, Zona Sur-balanza punitiva (Elaboración Propia)

En la Figura 4.33 se exhiben los camiones más comunes que transitan por las plazas de pesaje. Los que no presentan sobrecarga para las tres plazas es el mismo camión 520. Ahora respecto a los que llevan sobrecarga, en Los Ángeles y Nicodahue es el 520 y 690, mientras que en Curalí es el 520. Se evidencia que el camión de tipología vehicular 520 es común para ambos casos (a) y (b).

(a) PBT<45t



(b) PBT>45t

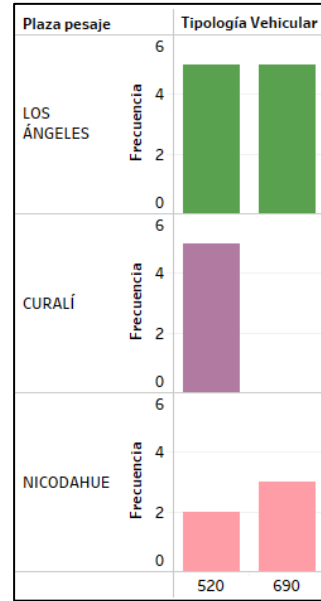


Figura 4.33 Camiones más comunes, Zona Norte-balanza punitiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.34 se observan dos medidas de posición. El percentil 75 y 95 en Los Ángeles es inferior a 44,78t. En Curalí y Nicodahue, difiere un poco el percentil 75 es inferior a 42,14 t y el el percentil 95 es inferior a 44,85t.. Se evidencia que el 95% de los datos está bajo lo estipulado por el manual de cargas especiales (ver Tabla 2.1)

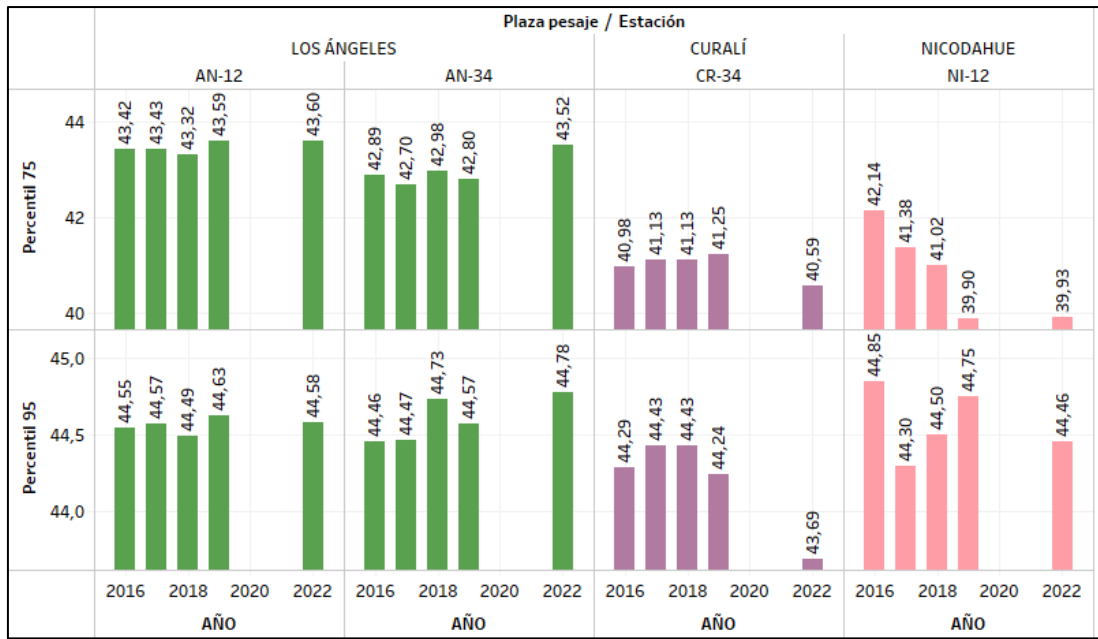


Figura 4.34. Percentiles peso bruto total, Zona Sur-balanza punitiva (Elaboración propia)

En la Figura 4.35 se muestra la probabilidad de que un camión pese más de 45t. Se tiene que en Los Ángeles y Curalí oscila entre 1-3%, y en Nicodahue se aleja un poco alcanzado un 4%. Se evidencia que en las tres plazas de pesaje están bajo el 5%, que corresponde al porcentaje de diseño nominal. El rango típicamente aceptable de superación de un valor nominal o característico va entre un 2% a 5% (el valor 5% está marcado con línea segmentada en las Figuras). La probabilidad de exceder el límite legal de 45t es inferior, lo que se consideraría aceptable.

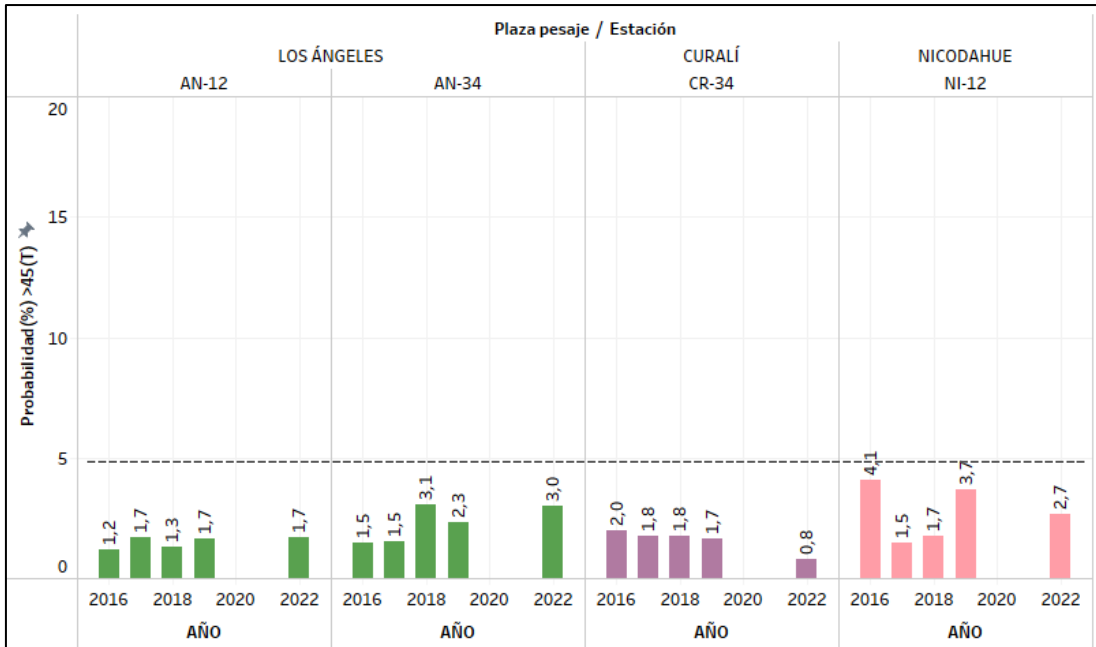


Figura 4.35. Probabilidad de encontrar un camión que pese más de 45t , Zona Sur-balanza punitiva (Elaboración propia)
 En la Figura 4.36 se exhibe una medida descriptiva y otra de posición de los ejes de los camiones que transitan por esta balanza. El máximo pesa 27,67t pero el promedio se centra en 20t, respecto al percentil 75 de los datos es inferior a 9,24t en Los Ángeles, en Curalí y Nicodahue es inferior a 8,5t. Se evidencia que el 75% de los datos cumple según lo estipulado por el Ministerio de Obras Públicas para camiones que presenten un eje simple de rodado doble (ver Tabla 2.3)

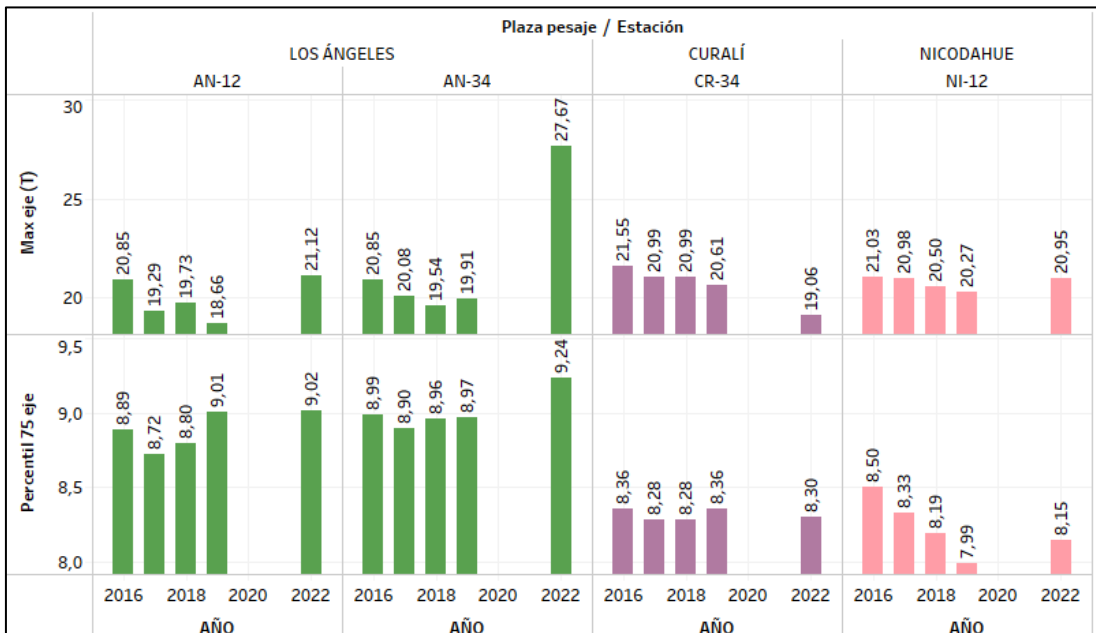


Figura 4.36 Características de eje más común de los camiones (Zona Sur, balanza punitiva)

4.3 Resumen

Uno de los hallazgos de este estudio es que, aunque en cada pesada de los camiones se registran tanto el peso por eje como la distancia entre ejes, únicamente se guarda el peso por eje, lo que limita la usabilidad de estos datos. En este capítulo se presenta un resumen de los resultados obtenidos, y las Figuras 4.37-4.44 ofrecen un resumen general en formato de mapa.

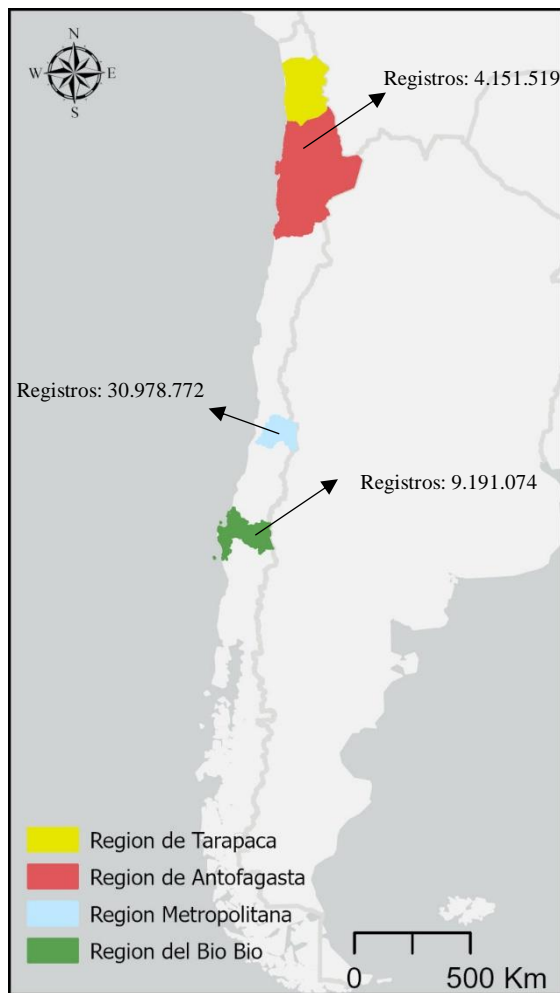


Figura 4.37 Registros totales (Balanza Selectiva)

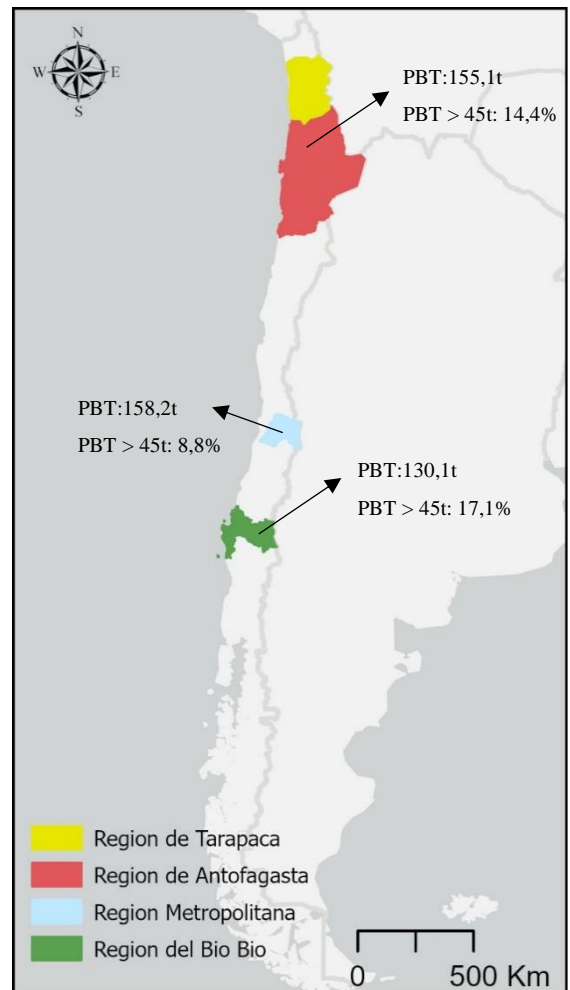


Figura 4.38 PBT máximo y PBT > 45t (Balanza Selectiva)

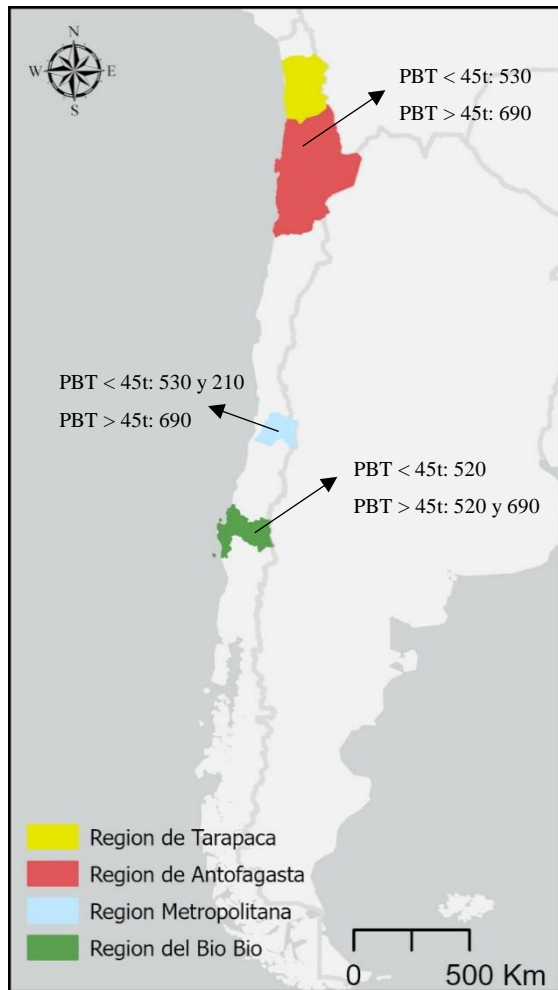


Figura 4.39 Camiones más comunes (Balanza Selectiva)

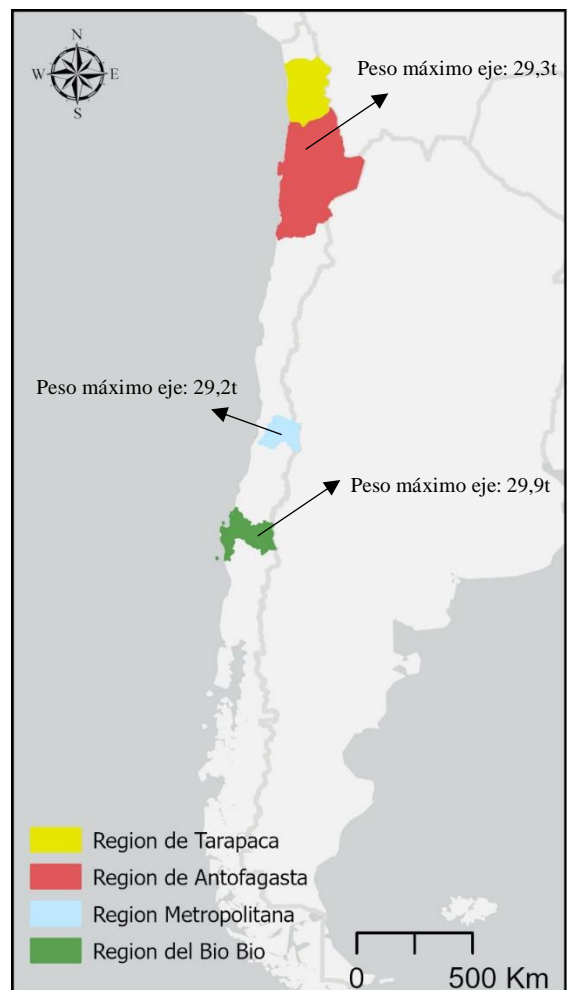


Figura 4.40 Peso máximo por eje (Balanza Selectiva)

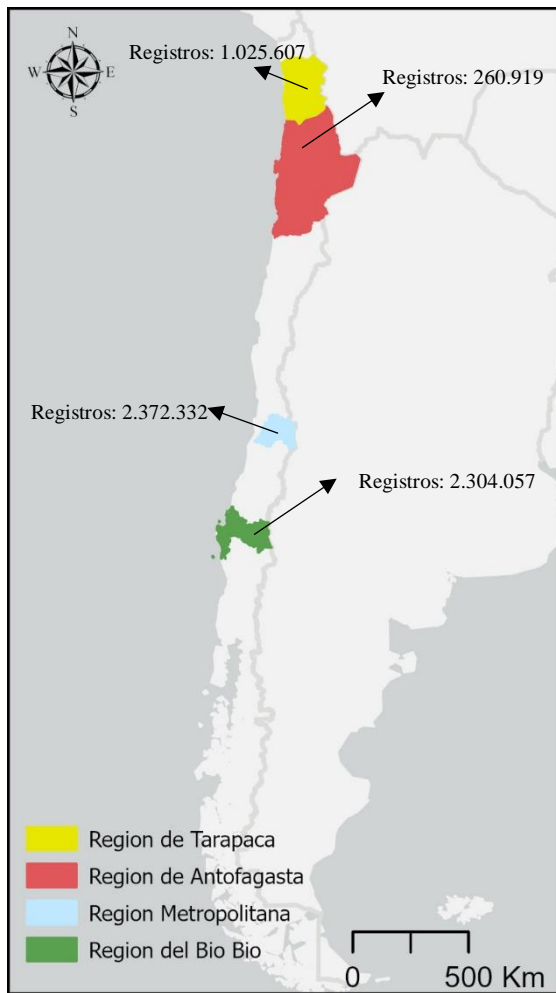


Figura 4.41 Registros totales (Balanza Punitiva)

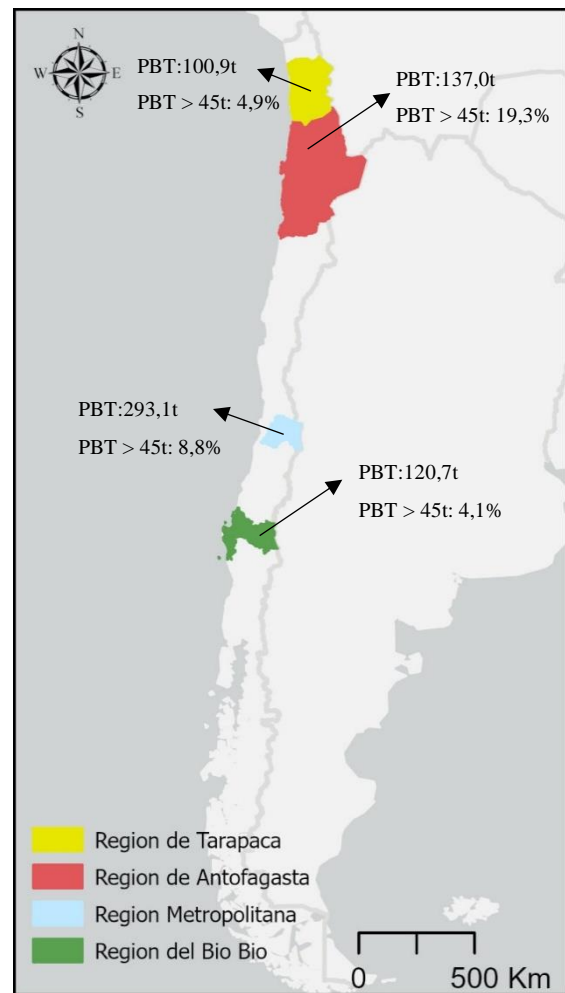


Figura 4.42 PBT máximo y PBT > 45t (Balanza Punitiva)

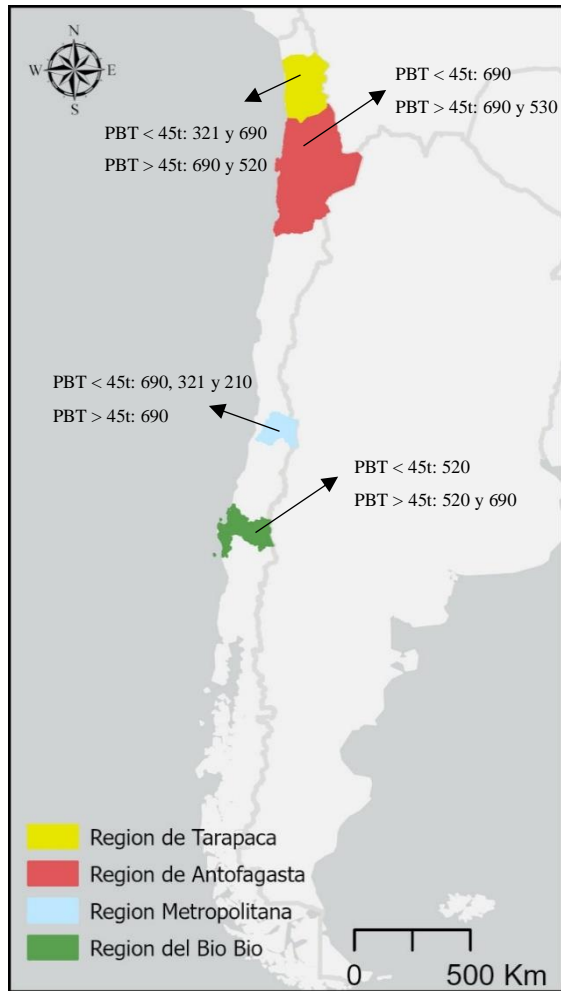


Figura 4.43 Camiones más comunes (Balanza Punitiva)

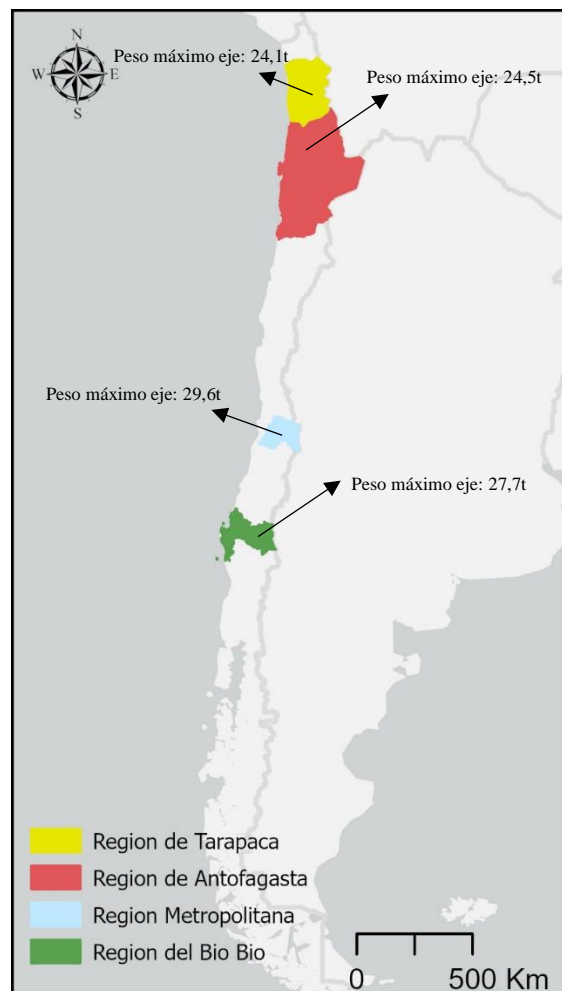


Figura 4.44 Peso por eje (Balanza Punitiva)

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

Se realizó un análisis de las cargas vivas en puentes carreteros generadas por vehículos pesados separados por macrozona de Chile (norte, centro y sur), utilizando datos obtenidos de plazas de pesaje fijas, proporcionado por el Departamento de Pesaje (DP) de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas.

Se logró consolidar una base de datos de pesaje de camiones recolectada de ocho plazas de pesaje fijas distribuidas a lo largo de Chile, dos en la Zona Norte (Huara y La Negra), tres en la Zona Centro (Lampa, Curacavi y El Monte) y tres en la Zona Sur (Los Ángeles, Curali y Nicodahue). El total de datos analizados fue de 44.321.365 para la balanza selectiva y 5.962.915 para la balanza punitiva.

Un hallazgo de este estudio es que a pesar de que en las pesadas de cada camión se registran peso por eje y distancia entre ejes, solo se guarda el peso por eje, limitando la usabilidad de estos datos.

El análisis estadístico de las cargas vivas en puentes carreteros reveló información detallada sobre el peso bruto total (PBT), el peso por eje, la frecuencia de tránsito y la tipología vehicular de los vehículos pesados.

Los resultados indicaron que el PBT máximo de los vehículos pesados varía significativamente entre las regiones. En el norte, el PBT máximo fue de 155,12t, mientras que en el centro y sur fue de 293,1t y 130,1t, respectivamente. El percentil 75 del PBT fue de 44,67t en el norte, 38t en el centro, y 42t en el sur. El percentil 95 del PBT fue de 52,95t en el norte, 46,57t en el centro, y 49,9t en el sur. La moda del PBT en las tres macrozonas varía entre 3t, 17t o 44t. Una posible recomendación al DP es aclarar la información de quienes están obligados a pasar por la balanza selectiva y a la vez revisar la validez de las numerosas lecturas con PBT en el rango de las 3t.

Se calculó la probabilidad de encontrar un camión con un PBT superior a 45 toneladas en cada macrozona. En el norte, la probabilidad fue del 19%, en el centro del 11% y en el sur del 17%. El rango típicamente aceptable para la superación de un valor nominal o característico oscila entre un 2% y un 5%. Estos valores indican la frecuencia con la que se pueden esperar cargas excepcionalmente pesadas en las distintas regiones.

El análisis del peso por eje reveló que los vehículos en las tres regiones tenían valores similares. El máximo fue de 29,96t en la zona sur, mientras que en las regiones norte y centro los valores fueron de 29t y 29,3t, respectivamente. El percentil 75 de estos datos, está en el rango de 7t a 9t. Esta información puede ser de interés también en el diseño y mantención de pavimentos.

La frecuencia de tránsito de vehículos pesados mostró variaciones regionales. En la zona norte, se registró una cantidad de 1100-1400 vehículos pesados por día, mientras que en el centro y sur las frecuencias fueron de 1650-3800 y 1600-4300 registros diarios, respectivamente. Cabe destacar que la macrozona centro es la que tiene mayor cantidad de registros con un total de 33.351.104, seguida por la macrozona sur con 11.495.131 y luego la norte con 5.438.045.

En cuanto a la tipología vehicular, se observó que en la macrozona norte el camión más común, ya sea PBT < 45t o PBT > 45t, es el vehículo tipo 690. En el centro, los tipos más comunes son el 590 y el 690, mientras que en el sur predomina el vehículo 520. Esta información es valiosa para dirigir el control de peso vehicular, tanto para las balanzas portátiles que operan en el país como para el control policial de apoyo.

En conclusión, se proporciona una visión detallada del tráfico vehicular pesado en las macroregiones de Chile, incluyendo una comparación geográfica de los resultados obtenidos para cada variable y balanza, documentada en mapas. Además, se subraya la importancia de mantener y actualizar continuamente las bases de datos de pesaje.

Este estudio ofrece un panorama inicial sobre la carga viva en puentes carreteros, analizando variables clave como la frecuencia, tipología, PBT y peso por eje para evaluar la sollicitación causada por el flujo vehicular. Como futura línea de investigación, se recomienda complementar la base de datos con información detallada sobre la distancia entre ejes para poder determinar el momento flector y fuerza cortante de la carga viva en puentes, que son variables directas para el diseño de elementos estructurales.

REFERENCIAS

- AASHTO. (2002). *Standard Bridge Design Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials.*
- AASHTO. (2012). *AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATION: Customary U.S. Units 2012*
- AASHTO. (2017). *LRFD Bridge Design Specifications (8th ed.). American Association of State Highway Transportation Officials.*
- Babu, A. R. (2019). *Quantifying the Fatigue Damage Accumulation in Bridges.*
- Babu, A. R., Iatsko, O., & Nowak, A. S. (2019). *Comparison of Bridge Live Loads in US and Europe.*
- Dirección de Vialidad (2018). *Manual de autorizaciones para transportes especiales, versión 2018.*
- Hallenbeck, M. E., & Weinblatt, H. (with National Cooperative Highway Research Program, American Association of State Highway and Transportation Officials, United States, & National Research Council (U.S.)). (2004). *Equipment for collecting traffic load data. Transportation Research Board.*
- Iatsko, O., Babu, A. R., Stallings, J. M., & Nowak, A. S. (2020). Weigh-in-Motion-Based Fatigue Damage Assessment. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2674(8), 710-719. <https://doi.org/10.1177/0361198120919758>
- Colegio de Ingenieros de Chile. (2019). *Transporte 2019.*

- Espinoza, C.I. (2024). *Estado del Arte y Estado de la práctica nacional en tecnologías de pesaje en movimiento*.
- Ghosn, M., Fiorillo, G., Gayovyy, V., Getso, T., Ahmed, S., & Parker, N. (2015). *Effects of overweight vehicles on NYSDOT infrastructure*. University Transportation Research Center.
- Manual de carreteras, Volumen N°3, Instrucciones y Criterios de Diseño (2019). *Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile*.
- Nassif, H., Ozbay, K., Wang, H., Noland, R., Lou, P., Demiroglu, S., Su, D., Na, C., Zhao, J., & Beltran, M. (2015). *Impact of freight on highway infrastructure in New Jersey*.
- Nowak, A. S. (1999). NCHRP report 368: Calibration of LRFD bridge design code (Issue 368). *Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program*.
Structural Engineering International, 29(1), 84–93. <https://doi.org/10.1080/10168664.2018.1541334>
- Nowak, A. S., Nassif, H., & DeFrain, L. (1993). *Effect of Truck Loads on Bridges*. *Journal of Transportation Engineering*, 119(6), 853-867. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1993\)119:6\(853\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1993)119:6(853))
- Vidal, V. A., Leon, F. E., Beltrán, M. F., & Marambio, M. M. (2023). *Modelos de carga viva para el diseño y evaluación de puentes en Chile*

ANEXOS

ANEXO 1. CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. Seleccione a cuál o cuáles de los 17 ODS contribuye su trabajo de Memoria de Título:

- ODS-1 : Fin de la pobreza.
- ODS-2 : Hambre cero.
- ODS-3 : Salud y bienestar.
- ODS-4 : Educación de calidad.
- ODS-5 : Igualdad de género.
- ODS-6 : Agua limpia y saneamiento.
- ODS-7 : Energía asequible y no contaminante.
- ODS-8 : Trabajo decente y crecimiento económico.
- ODS-9 : Industria, innovación e infraestructura.
- ODS-10 : Reducción de las desigualdades.
- ODS-11 : Ciudades y comunidades sostenibles.
- ODS-12 : Producción y consumo responsables.
- ODS-13 : Acción por el clima.
- ODS-14 : Vida Submarina.
- ODS-15 : Vida de ecosistemas terrestres.
- ODS-16 : Paz, justicia e instituciones sólidas.
- ODS-17 : Alianzas para lograr los objetivos.

| Vinculación |
|-------------|
|-------------|

| |
|---|
| <p>Los puentes son vitales para el desarrollo territorial, pero su durabilidad depende de las cargas de tráfico que soportan. En Chile, los puentes se diseñan según normas basadas en especificaciones de 1944, actualizadas en 1993, que no reflejan las cargas vehiculares actuales. La Dirección de Vialidad monitorea el peso de los camiones en estaciones fijas, y este estudio analiza las cargas en puentes utilizando datos de ocho estaciones en diferentes macrozonas. Los resultados, presentados en mapas y gráficos, destacan la necesidad urgente de actualizar las normas de diseño para alinearlas mejor con las condiciones actuales del tráfico en Chile. Esto es fundamental para garantizar la seguridad y capacidad de los puentes, alineándose con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 9: "Industria, Innovación e Infraestructura". Este ODS promueve la construcción de infraestructuras resilientes y sostenibles, clave para el desarrollo económico y la conectividad. Al modernizar la infraestructura de puentes, se contribuye no solo a la seguridad vial, sino también al crecimiento inclusivo y a la preparación del país para afrontar futuros desafíos, asegurando un desarrollo sostenible a largo plazo.</p> |
|---|

A continuación, se presenta el código base para cada tipo de balanza. Existen dos formatos: el de los años 2016-2019 y el de 2022. Para obtener los resultados de cada estación, es necesario cambiar el directorio de la ruta según la estación y el año que se desee. Además, se incluyen dos funciones externas al código que son necesarias para su funcionamiento.

ANEXO 2. CÓDIGO BALANZA SELECTIVA CURACAVI, FORMATO AÑO 2016-2019

```
import pandas as pd
import os
import sys

# Agregar el directorio al path
sys.path.append("C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/funciones selectiva")

# Importar los módulos desde el directorio agregado
import manejar_archivos3 as ma
import func trafico as ft

def ajustar_apuntar_16a19_sel(directory_path):
    # Estructura de los datos según la descripción proporcionada
    column_names = ['sample', 'fecha', 'hora', 'vel', 'tipo_DV', 'msg', 'vel_sal', 'estacion', 'P1', 'P2', 'P3',
'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'P10', 'P11', 'P12']

    # Leer todos los archivos de la carpeta
    file_list = [f for f in os.listdir(directory_path) if f.startswith(('S_', 'D_', 'L_')) and not
f.startswith('Ct')]
```

```
# DataFrame vacío para almacenar los datos combinados
df = pd.DataFrame()

# Iterar sobre cada archivo y concatenar al DataFrame combinado
for file in file_list:
    try:
        file_path = os.path.join(directory_path, file)
        # Leer el archivo CSV ignorando los espacios en blanco alrededor de las comas
        dfaux = pd.read_csv(file_path, header=None, delimiter=',', names=column_names, dtype=str,
na_values=[' ', ''], skipinitialspace=True)
        # Llenar valores faltantes con NaN
        dfaux = dfaux.fillna("")
        df = pd.concat([df, dfaux], ignore_index=True)
    except Exception as e:
        print(f'Error al procesar archivo '{file}': {str(e)}")

# Unificar texto en tipo_DV
df['tipo_DV'] = df['tipo_DV'].str.strip()

# Convertir columnas numéricas a tipo float
numeric_columns = ['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'P10', 'P11', 'P12']
df[numeric_columns] = df[numeric_columns].apply(pd.to_numeric, errors='coerce')
df.fillna(0, inplace=True) # Llenar valores faltantes con 0

# Calcular PBT
df['PBT'] = df[numeric_columns].sum(axis=1)

# Calcular número de ejes cargados
df['NoEjes'] = (df[numeric_columns] > 0).sum(axis=1).astype(str)

# Formato de fecha y hora
df['fecha'] = pd.to_datetime(df['fecha'], dayfirst=True, errors='coerce')
```

```
df['hora'] = pd.to_datetime(df['hora'], format='%H:%M', errors='coerce')

return df

# Lista de rutas
# Punitivas
Cu_12_2019S = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/SELECTIVA/2019/CURACAVI/CU-12'
Cu_34_2019S = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/SELECTIVA/2019/CURACAVI/CU-34'

rutas = [Cu_12_2019S, Cu_34_2019S]

# Crear un DataFrame vacío para almacenar los resultados
Results = pd.DataFrame(columns=[
    'ID', 'count', 'PBT_mean', 'PBT_median', 'PBT_mode', 'PBT_std',
    'PBT_P005', 'PBT_P025', 'PBT_P075', 'PBT_P095', 'PBT_max', 'prob_gt_45',
    'ADTT', 'RegisteredDays', 'DataDays',
    '1st common', '2nd common', '3rd common',
    '1st OW common', '2nd OW common', '3rd OW common',
    'percent_overweight', 'eje_modal_mean', 'eje_modal_std',
    'eje_modal_median', 'eje_modal_mode', 'eje_modal_75th_percentile',
    'max_eje', 'tipo_camion', 'numero_eje_modal' # Agregamos la columna 'numero_eje_modal' para
el número del eje modal
])

# Iterar sobre las rutas
for ruta in rutas:
    df = ajustar_apuntar_16a19_sel(ruta)

# Filtrar ejes que pesen entre 0 y 30 toneladas
eje_columns = ['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'P10', 'P11', 'P12']
```

```
filtered_axes = df[eje_columns].where((df[eje_columns] > 0) & (df[eje_columns] <= 30))

# Estadísticas del eje modal
eje_pesos = filtered_axes.melt(value_name='peso').dropna()['peso']

if not eje_pesos.empty:
    eje_modal_mean = eje_pesos.mean()
    eje_modal_std = eje_pesos.std()
    eje_modal_median = eje_pesos.median()
    eje_modal_mode = eje_pesos.mode().iloc[0] if not eje_pesos.mode().empty else None
    eje_modal_75th_percentile = eje_pesos.quantile(0.75)
    max_eje = eje_pesos.max()

# Identificar el número de eje modal
numero_eje_modal = None
for col in eje_columns:
    if eje_modal_mode is not None and (df[col] == eje_modal_mode).any():
        numero_eje_modal = col
        break
else:
    eje_modal_mean = eje_modal_std = eje_modal_median = eje_modal_mode =
eje_modal_75th_percentile = max_eje = numero_eje_modal = None

# Calcular estadísticas del PBT excluyendo ejes que pesen más de 30 toneladas
PBT_filtered = df['PBT'].where(df[eje_columns].max(axis=1) <= 30).dropna()
PBT_mean = PBT_filtered.mean()
PBT_median = PBT_filtered.median()
PBT_mode = PBT_filtered.mode().iloc[0] if not PBT_filtered.mode().empty else None
PBT_std = PBT_filtered.std()
PBT_P005 = PBT_filtered.quantile(0.005)
PBT_P025 = PBT_filtered.quantile(0.025)
PBT_P075 = PBT_filtered.quantile(0.075)
```

```
PBT_P095 = PBT_filtered.quantile(0.095)
PBT_max = PBT_filtered.max()

# Calcular estadísticas generales
PBT_stats = ft.PBT_statistics(df)
trucks = df[df['PBT'] > 9]
ADTT, RegisteredDays, DataDays = ft.ADTT(trucks)
common_trucks = ft.common_categories(trucks)
OWtrucks = df[df['PBT'] > 45]
common_OWtrucks = ft.common_categories(OWtrucks)
percent_overweight = (len(OWtrucks) / len(trucks)) * 100 if len(trucks) > 0 else 0

# Crear fila de resultados solo si el DataFrame tiene datos
if not df.empty:
    filaResults = ma.fila_resultados(df, PBT_stats, (ADTT, RegisteredDays, DataDays),
common_trucks, common_OWtrucks)

# Agregar las nuevas variables a la fila de resultados
filaResults['percent_overweight'] = percent_overweight
filaResults['eje_modal_mean'] = eje_modal_mean
filaResults['eje_modal_std'] = eje_modal_std
filaResults['eje_modal_median'] = eje_modal_median
filaResults['eje_modal_mode'] = eje_modal_mode
filaResults['eje_modal_75th_percentile'] = eje_modal_75th_percentile
filaResults['max_eje'] = max_eje
filaResults['numero_eje_modal'] = numero_eje_modal

# Obtener el tipo_DV del eje modal
if not eje_pesos.empty:
    tipo_DV_eje_modal = df['tipo_DV'].iloc[0] # Suponiendo que el tipo_DV está en la primera
fila
else:
```

```
tipo_DV_eje_modal = None

# Agregar el tipo_DV del eje modal al DataFrame de resultados
filaResults['tipo_camion'] = tipo_DV_eje_modal

# Excluir filas con valores NaN antes de la concatenación
Results = pd.concat([Results.dropna(), filaResults.dropna()], ignore_index=True)

# Verificar si Results tiene datos antes de guardar el archivo Excel
if not Results.empty:
    # Specify the directory path
    directory_path = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/RESUMEN DATOS/SELECTIVA/'

    # Exportar el DataFrame a un archivo Excel en el directorio especificado
    output_file = os.path.join(directory_path, 'resultados_Cu_2019_SEL2.xlsx')
    Results.to_excel(output_file, index=False)
    print(f"Resultados guardados en: {output_file}")
else:
    print("No se encontraron datos para guardar en el archivo Excel.")
```

ANEXO 3. CÓDIGO BALANZA SELECTIVA CURACAVI, FORMATO AÑO 2022

```
import pandas as pd
import os

# Lista de rutas
Cu_12_2022S = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/SELECTIVA/2022/CURACAVI/Cu-12'
Cu_34_2022S = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/SELECTIVA/2022/CURACAVI/Cu-34'

rutas = [Cu_12_2022S, Cu_34_2022S]
```

```
# Crear un DataFrame vacío para almacenar los resultados
Results = pd.DataFrame(columns=[
    'ID', 'count', 'PBT_mean', 'PBT_median', 'PBT_mode', 'PBT_std',
    'PBT_P005', 'PBT_P025', 'PBT_P075', 'PBT_P095', 'PBT_max', 'prob_gt_45',
    'ADTT', 'RegisteredDays', 'DataDays',
    '1st common', '2nd common', '3rd common',
    '1st OW common', '2nd OW common', '3rd OW common',
    'FAJA_mean', 'FAJA_median', 'FAJA_mode', 'FAJA_std',
    'FAJA_P025', 'FAJA_P095', 'FAJA_max', 'prob_gt_0952',
    'percent_overweight', 'eje_modal_mean', 'eje_modal_std',
    'eje_modal_median', 'eje_modal_mode', 'eje_modal_75th_percentile',
    'max_eje', 'truck_type_modal_eje', 'numero_eje_modal'
])

# Función para procesar datos de 2022 en adelante
def apuntar_ajustar_22_sel(directory_path):
    column_names = ['ID', 'SAMPLE', 'fecha', 'hora', 'vel', 'Lar', 'tipo_DV', 'sc_eje', 'sc_pbt', 'msg',
    'estacion', 'P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'PBT']

    dtype_dict = {
        'tipo_DV': str,
        'msg': str,
        'P1': float,
        'P2': float,
        'P3': float,
        'P4': float,
        'P5': float,
        'P6': float,
        'P7': float,
        'P8': float,
        'P9': float,
        'PBT': float,
```

```
}
file_list = [f for f in os.listdir(directory_path) if f.startswith('S_')]

df = pd.DataFrame()

for file in file_list:
    try:
        file_path = os.path.join(directory_path, file)
        dfaux = pd.read_csv(file_path, header=None, delimiter=';', names=column_names,
dtype=dtype_dict, na_values=' ', skipinitialspace=True)
        dfaux.fillna(0, inplace=True)
        df = pd.concat([df, dfaux], ignore_index=True)
    except Exception as e:
        print(f"Error processing file '{file}': {str(e)}")

df['tipo_DV'] = df['tipo_DV'].str.strip()
df[['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'PBT']] = df[['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7',
'P8', 'P9', 'PBT']].div(1000)

NoEjes = df[['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9']] != 0
df['NoEjes'] = NoEjes.sum(axis=1)
df['NoEjes'] = df['NoEjes'].astype(str)

df['fecha'] = pd.to_datetime(df['fecha'], format='%d/%m/%y', errors='coerce')
df['hora'] = pd.to_datetime(df['hora'], format='%H:%M', errors='coerce')

df['Faja'] = (df['PBT'] / df['Lar']).round(3)

return df

def ADTT(df, threshold=0):
    daily_counts = df.groupby(df['fecha'].dt.date).size()
```

```
DiasTotales = len(daily_counts)
filtered_daily_counts = daily_counts[daily_counts > threshold]
DiasConDatos = len(filtered_daily_counts)
average_daily_truck_traffic = round(filtered_daily_counts.mean(), 1)
return average_daily_truck_traffic, DiasConDatos, DiasTotales

def PBT_statistics(df):
    # Compute statistics for 'PBT' column
    pbt_desc_stats = df['PBT'].describe()

    # Calculate modes
    pbt_mode = df['PBT'].mode()[0]

    # Calculate percentiles
    pbt_percentiles = df['PBT'].quantile([0.05, 0.25, 0.5, 0.75, 0.95])

    # numero con sobrecarga
    pbt_gt_45_count = (df['PBT'] > 45).sum()
    prob_gt_45 = round(pbt_gt_45_count/df.shape[0]*100,3) #por ciento

    # summary
    ave = round(pbt_desc_stats['mean'], 3)
    median = round(pbt_percentiles[0.5], 3)
    mode = round(pbt_mode, 3)
    std = round(pbt_desc_stats['std'], 3)
    p5 = round(pbt_percentiles[0.05], 3)
    p25 = round(pbt_percentiles[0.25], 3)
    p75 = round(pbt_percentiles[0.75], 3)
    p95 = round(pbt_percentiles[0.95], 3)
    max = round(pbt_desc_stats['max'], 3)

    return ave,median,mode,std,p5,p25,p75,p95,max,prob_gt_45
```

```
def common_categories(df):
    return df['tipo_DV'].value_counts().index.tolist()[:3]

def FAJA_statistics(df):
    df_filtrado = df[(df['Lar'] > 8) & (df['Lar'] < 30)]
    faja_desc_stats = df_filtrado['Faja'].describe()
    faja_mode = df_filtrado['Faja'].mode()[0]
    faja_percentiles = df_filtrado['Faja'].quantile([0.025, 0.5, 0.95])
    faja_gt_0952_count = (df_filtrado['Faja'] > 0.952).sum()
    prob_gt_0952 = round(faja_gt_0952_count / df.shape[0] * 100, 3)
    ave = round(faja_desc_stats['mean'], 3)
    median = round(faja_percentiles[0.5], 3)
    mode = round(faja_mode, 3)
    std = round(faja_desc_stats['std'], 3)
    p025 = round(faja_percentiles[0.025], 3)
    p095 = round(faja_percentiles[0.95], 3)
    max_val = round(faja_desc_stats['max'], 3)
    return ave, median, mode, std, p025, p095, max_val, prob_gt_0952

def calculate_percent_overweight(df):
    OWtrucks = df[df['sc_eje'] > 20000]
    percent_overweight = (len(OWtrucks) / len(df)) * 100 if len(df) > 0 else 0
    return percent_overweight

def calculate_eje_statistics(df):
    eje_columns = ['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9']
    eje_pesos = df[eje_columns].where((df[eje_columns] > 0) & (df[eje_columns] <=
30)).melt(value_name='peso').dropna()['peso']
    eje_modal_mean = eje_pesos.mean()
    eje_modal_std = eje_pesos.std()
```

```

eje_modal_median = eje_pesos.median()
eje_modal_mode = eje_pesos.mode()[0] if not eje_pesos.empty else None
eje_modal_75th_percentile = eje_pesos.quantile(0.75)
max_eje = eje_pesos.max()
truck_type_modal_eje = df[df['PBT'] == eje_modal_mode]['tipo_DV'].iloc[0] if
eje_modal_mode is not None else None
numero_eje_modal = None
if eje_modal_mode is not None:
    for col in eje_columns:
        if (df[col] == eje_modal_mode).any():
            numero_eje_modal = col
            break
return eje_modal_mean, eje_modal_std, eje_modal_median, eje_modal_mode,
eje_modal_75th_percentile, max_eje, truck_type_modal_eje, numero_eje_modal

```

```
def fila_resultados2022(df):
```

```

    PBT_stats = PBT_statistics(df)
    ADTT_stats = ADTT(df)
    common_trucks = common_categories(df)
    common_OWtrucks = common_categories(df[df['sc_eje'] > 20000])
    FAJA_stats = FAJA_statistics(df)
    percent_overweight = calculate_percent_overweight(df)
    eje_stats = calculate_eje_statistics(df)

```

```

fila_resultado = pd.DataFrame({
    'ID': [df['estacion'][0]],
    'count': [len(df)],
    'PBT_mean': [PBT_stats[0]],
    'PBT_median': [PBT_stats[1]],
    'PBT_mode': [PBT_stats[2]],
    'PBT_std': [PBT_stats[3]],
    'PBT_P005': [PBT_stats[4]],

```

```
'PBT_P025': [PBT_stats[5]],
'PBT_P075': [PBT_stats[6]],
'PBT_P095': [PBT_stats[7]],
'PBT_max': [PBT_stats[8]],
'prob_gt_45': [PBT_stats[9]],
'ADTT': [ADTT_stats[0]],
'RegisteredDays': [ADTT_stats[1]],
'DataDays': [ADTT_stats[2]],
'1st common': [common_trucks[0] if len(common_trucks) > 0 else None],
'2nd common': [common_trucks[1] if len(common_trucks) > 1 else None],
'3rd common': [common_trucks[2] if len(common_trucks) > 2 else None],
'1st OW common': [common_OWtrucks[0] if len(common_OWtrucks) > 0 else None],
'2nd OW common': [common_OWtrucks[1] if len(common_OWtrucks) > 1 else None],
'3rd OW common': [common_OWtrucks[2] if len(common_OWtrucks) > 2 else None],
'FAJA_mean': [FAJA_stats[0]],
'FAJA_median': [FAJA_stats[1]],
'FAJA_mode': [FAJA_stats[2]],
'FAJA_std': [FAJA_stats[3]],
'FAJA_P025': [FAJA_stats[4]],
'FAJA_P095': [FAJA_stats[5]],
'FAJA_max': [FAJA_stats[6]],
'prob_gt_0952': [FAJA_stats[7]],
'percent_overweight': [percent_overweight],
'eje_modal_mean': [eje_stats[0]],
'eje_modal_std': [eje_stats[1]],
'eje_modal_median': [eje_stats[2]],
'eje_modal_mode': [eje_stats[3]],
'eje_modal_75th_percentile': [eje_stats[4]],
'max_eje': [eje_stats[5]],
'truck_type_modal_eje': [eje_stats[6]],
'numero_eje_modal': [eje_stats[7]]
})
```

```
    return fila_resultado

# Procesamiento de cada ruta y escritura de resultados
for ruta in rutas:
    try:
        df = apuntar_ajustar_22_sel(ruta)
        fila = fila_resultados2022(df)
        Results = pd.concat([Results, fila], ignore_index=True)
    except Exception as e:
        print(f"Error processing route '{ruta}': {str(e)}")
# Definir la carpeta y nombre del archivo de salida
output_folder = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/RESUMEN DATOS/SELECTIVA/'
output_file = 'resultados_Cu_2022_sel.xlsx'

# Guardar los resultados en un archivo Excel
output_path = os.path.join(output_folder, output_file)
Results.to_excel(output_path, index=False)

print(f"Se han guardado los resultados en el archivo '{output_path}')
```

ANEXO 3. CÓDIGO BALANZA PUNITIVA CURACAVI, FORMATO AÑO 2016-2019

```
import pandas as pd
import os
import sys

# Agregar el directorio al path
sys.path.append("C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/funciones extra")
```

```
# Importar los módulos desde el directorio agregado
import manejar_archivos as ma
import functrafico as ft

# Lista de rutas
# Punitivas
Cu_12_2019P = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/PUNITIVA/2019/CURACAVI/CU-12'
Cu_34_2019P = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/PUNITIVA/2019/CURACAVI/CU-34'

rutas = [Cu_12_2019P, Cu_34_2019P]

# Crear un DataFrame vacío para almacenar los resultados
Results = pd.DataFrame(columns=[
    'ID', 'count', 'PBT_mean', 'PBT_median', 'PBT_mode', 'PBT_std',
    'PBT_P005', 'PBT_P025', 'PBT_P075', 'PBT_P095', 'PBT_max', 'prob_gt_45',
    'ADTT', 'RegisteredDays', 'DataDays',
    '1st common', '2nd common', '3rd common',
    '1st OW common', '2nd OW common', '3rd OW common',
    'percent_overweight', 'eje_modal_mean', 'eje_modal_std',
    'eje_modal_median', 'eje_modal_mode', 'eje_modal_75th_percentile',
    'max_eje', 'tipo_camion', 'numero_eje_modal' # Agregamos la columna 'numero_eje_modal'
para el número del eje modal
])

# Iterar sobre las rutas
for j in range(len(rutas)):
    # Leer el archivo y obtener el DataFrame
    df = ma.apuntar_ajustar_16a19_pun(rutas[j])

    # Filtrar ejes que pesen entre 0 y 30 toneladas
```

```
eje_columns = ['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'P10', 'P11', 'P12']
filtered_axes = df[eje_columns].where((df[eje_columns] > 0) & (df[eje_columns] <= 30))

# Estadísticas del eje modal
eje_pesos = filtered_axes.melt(value_name='peso').dropna()['peso']

if not eje_pesos.empty:
    eje_modal_mean = eje_pesos.mean()
    eje_modal_std = eje_pesos.std()
    eje_modal_median = eje_pesos.median()
    eje_modal_mode = eje_pesos.mode().iloc[0] if not eje_pesos.mode().empty else None
    eje_modal_75th_percentile = eje_pesos.quantile(0.75)
    max_eje = eje_pesos.max()

# Identificar el número de eje modal
numero_eje_modal = None
for col in eje_columns:
    if eje_modal_mode is not None and (df[col] == eje_modal_mode).any():
        numero_eje_modal = col
        break
else:
    eje_modal_mean = eje_modal_std = eje_modal_median = eje_modal_mode =
eje_modal_75th_percentile = max_eje = numero_eje_modal = None

# Calcular estadísticas del PBT excluyendo ejes que pesen más de 30 toneladas
PBT_filtered = df['PBT'].where(df[eje_columns].max(axis=1) <= 30).dropna()
PBT_mean = PBT_filtered.mean()
PBT_median = PBT_filtered.median()
PBT_mode = PBT_filtered.mode().iloc[0] if not PBT_filtered.mode().empty else None
PBT_std = PBT_filtered.std()
PBT_P005 = PBT_filtered.quantile(0.005)
PBT_P025 = PBT_filtered.quantile(0.025)
```

```
PBT_P075 = PBT_filtered.quantile(0.075)
PBT_P095 = PBT_filtered.quantile(0.095)
PBT_max = PBT_filtered.max()

# Calcular estadísticas generales
PBT_stats = ft.PBT_statistics(df)
trucks = df[df['PBT'] > 9]
ADTT, RegisteredDays, DataDays = ft.ADTT(trucks)
common_trucks = ft.common_categories(trucks)
OWtrucks = df[df['PBT'] > 45]
common_OWtrucks = ft.common_categories(OWtrucks)
percent_overweight = (len(OWtrucks) / len(trucks)) * 100 if len(trucks) > 0 else 0

# Crear fila de resultados solo si el DataFrame tiene datos
if not df.empty:
    filaResults = ma.fila_resultados(df, PBT_stats, (ADTT, RegisteredDays, DataDays),
common_trucks, common_OWtrucks)

# Agregar las nuevas variables a la fila de resultados
filaResults['percent_overweight'] = percent_overweight
filaResults['eje_modal_mean'] = eje_modal_mean
filaResults['eje_modal_std'] = eje_modal_std
filaResults['eje_modal_median'] = eje_modal_median
filaResults['eje_modal_mode'] = eje_modal_mode
filaResults['eje_modal_75th_percentile'] = eje_modal_75th_percentile
filaResults['max_eje'] = max_eje
filaResults['numero_eje_modal'] = numero_eje_modal

# Obtener el tipo_DV del eje modal
if not eje_pesos.empty:
    tipo_DV_eje_modal = df['tipo_DV'].iloc[0] # Suponiendo que el tipo_DV está en la
primera fila
```

```
else:
    tipo_DV_eje_modal = None

# Agregar el tipo_DV del eje modal al DataFrame de resultados
filaResults['tipo_camion'] = tipo_DV_eje_modal

# Excluir filas con valores NaN antes de la concatenación
Results = pd.concat([Results.dropna(), filaResults.dropna()], ignore_index=True)

# Verificar si Results tiene datos antes de guardar el archivo Excel
if not Results.empty:
    # Specify the directory path
    directory_path = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/RESUMEN DATOS/PUNITIVA/'

    # Exportar el DataFrame a un archivo Excel en el directorio especificado
    output_file = os.path.join(directory_path, 'resultados_Cu_2019.xlsx')
    Results.to_excel(output_file, index=False)
    print(f"Resultados guardados en: {output_file}")
else:
    print("No se encontraron datos para guardar en el archivo Excel.")
```

ANEXO 5. CÓDIGO BALANZA PUNITIVA CURACAVI, FORMATO AÑO 2022

```
import pandas as pd
import os
import sys
import numpy as np

# Agregar el directorio al path
sys.path.append("C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/funciones extra")
```

```
# Importar los módulos desde el directorio agregado
import manejar_archivos as ma
import func trafico as ft

# Lista de rutas
Cu_12_2022P = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/PUNITIVA/2022/CURACAVI/CU-12'
Cu_34_2022P = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/PUNITIVA/2022/CURACAVI/CU-34'

rutas = [Cu_12_2022P, Cu_34_2022P]

# Crear un DataFrame vacío para almacenar los resultados
Results = pd.DataFrame(columns=[
    'ID', 'count', 'PBT_mean', 'PBT_median', 'PBT_mode', 'PBT_std',
    'PBT_P005', 'PBT_P025', 'PBT_P075', 'PBT_P095', 'PBT_max', 'prob_gt_45',
    'ADTT', 'RegisteredDays', 'DataDays',
    '1st common', '2nd common', '3rd common',
    '1st OW common', '2nd OW common', '3rd OW common',
    'FAJA_mean', 'FAJA_median', 'FAJA_mode', 'FAJA_std',
    'FAJA_P025', 'FAJA_P095', 'FAJA_max', 'prob_gt_0952',
    'percent_overweight', 'eje_modal_mean', 'eje_modal_std',
    'eje_modal_median', 'eje_modal_mode', 'eje_modal_75th_percentile',
    'max_eje', 'truck_type_modal_eje', 'numero_eje_modal' # Agregamos la nueva variable
])

for j in range(len(rutas)):
    df = ma.apuntar_ajustar_22_pun(rutas[j])

# Estadísticas PBT para todos los registros
PBT_stats = ft.PBT_statistics(df)
```

```
# Considerando camiones aquellos que pesan más de 9 toneladas (20 kips)
trucks = df[df['PBT'] > 9]
ADTT = ft.ADTT(trucks)
common_trucks = ft.common_categories(trucks)

# Over Weight trucks
OWtrucks = df[df['PBT'] > 45]
common_OWtrucks = ft.common_categories(OWtrucks)

# Estadísticas FAJA para todos los registros
FAJA_stats = ft.FAJA_statistics(df)

# Filtrar el peso de los ejes modales
eje_columns = ['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9']
eje_pesos = df[eje_columns].where((df[eje_columns] > 0) & (df[eje_columns] <=
30)).melt(value_name='peso').dropna()['peso']

# Calcular las nuevas variables
percent_overweight = (len(OWtrucks) / len(trucks)) * 100 if len(trucks) > 0 else 0
eje_modal_mean = eje_pesos.mean()
eje_modal_std = eje_pesos.std()
eje_modal_median = eje_pesos.median()
eje_modal_mode = eje_pesos.mode()[0] if not eje_pesos.empty else None
eje_modal_75th_percentile = eje_pesos.quantile(0.75)
max_eje = eje_pesos.max()
truck_type_modal_eje = df[df['PBT'] == eje_modal_mode]['tipo_DV'].iloc[0] if
eje_modal_mode is not None else None

# Identificar el número de eje modal
numero_eje_modal = None
if eje_modal_mode is not None:
    for col in eje_columns:
```

```
if (df[col] == eje_modal_mode).any():
    numero_eje_modal = col
    break

# Agregar resultados al DataFrame
filaResults = ma.fila_resultados2022(df, PBT_stats, ADTT, common_trucks,
common_OWtrucks, FAJA_stats)
filaResults['percent_overweight'] = percent_overweight
filaResults['eje_modal_mean'] = eje_modal_mean
filaResults['eje_modal_std'] = eje_modal_std
filaResults['eje_modal_median'] = eje_modal_median
filaResults['eje_modal_mode'] = eje_modal_mode
filaResults['eje_modal_75th_percentile'] = eje_modal_75th_percentile
filaResults['max_eje'] = max_eje
filaResults['truck_type_modal_eje'] = truck_type_modal_eje
filaResults['numero_eje_modal'] = numero_eje_modal

Results = pd.concat([Results, filaResults], ignore_index=True)

print(Results.to_string())

# Especificar el directorio
directory_path = 'C:/Users/Javiera/OneDrive - Universidad de Concepción/Documentos
Memoria/RESUMEN DATOS/PUNITIVA/'

# Exportar el DataFrame a un archivo Excel en el directorio especificado
Results.to_excel(os.path.join(directory_path, 'resultados_Cu_2022_p65.xlsx'), index=False)
```

ANEXO . FUNCIÓN PARA PROCESAMIENTO DEL CÓDIGO

- **Función manejar_archivos**

```
import pandas as pd
import os
```

```
def fila_resultados(df,PBT_stats,ADTT,common_trucks,common_OWtrucks):
    aux = [{
        'ID': df['estacion'][0],
        'count': df.shape[0],
        'PBT_mean': PBT_stats[0],
        'PBT_median': PBT_stats[1],
        'PBT_mode': PBT_stats[2],
        'PBT_std': PBT_stats[3],
        'PBT_P005': PBT_stats[4],
        'PBT_P025': PBT_stats[5],
        'PBT_P075': PBT_stats[6],
        'PBT_P095': PBT_stats[7],
        'PBT_max': PBT_stats[8],
        'prob_gt_45': PBT_stats[9],
        'ADTT': ADTT[0],
        'RegisteredDays': ADTT[1],
        'DataDays': ADTT[2],
        '1st common': common_trucks[0],
        '2nd common': common_trucks[1],
        '3rd common': common_trucks[2],
        '1st OW common': common_OWtrucks[0],
        '2nd OW common': common_OWtrucks[1],
        '3rd OW common': common_OWtrucks[2]
    }]
    filaResults = pd.DataFrame(aux)
    return filaResults

def
fila_resultados2022(df,PBT_stats,ADTT,common_trucks,common_OWtrucks,FAJA_stats):
    aux = [{
        'ID': df['estacion'][0],
```

```
'count': df.shape[0],
'PBT_mean': PBT_stats[0],
'PBT_median': PBT_stats[1],
'PBT_mode': PBT_stats[2],
'PBT_std': PBT_stats[3],
'PBT_P005': PBT_stats[4],
'PBT_P025': PBT_stats[5],
'PBT_P075': PBT_stats[6],
'PBT_P095': PBT_stats[7],
'PBT_max': PBT_stats[8],
'prob_gt_45': PBT_stats[9],
'ADTT': ADTT[0],
'RegisteredDays': ADTT[1],
'DataDays': ADTT[2],
'1st common': common_trucks[0],
'2nd common': common_trucks[1],
'3rd common': common_trucks[2],
'1st OW common': common_OWtrucks[0],
'2nd OW common': common_OWtrucks[1],
'3rd OW common': common_OWtrucks[2],
'FAJA_mean': FAJA_stats[0],
'FAJA_median': FAJA_stats[1],
'FAJA_mode': FAJA_stats[2],
'FAJA_std': FAJA_stats[3],
'FAJA_P025': FAJA_stats[5],
'FAJA_P095': FAJA_stats[7],
'FAJA_max': FAJA_stats[8],
'prob_gt_0952': FAJA_stats[9]
}]
filaResults2022 = pd.DataFrame(aux)
return filaResults2022
```

```
def apuntar_ajustar_16a19_pun(directory_path):
    # estructura de datos para punitivas 2016 a 2019
    column_names = ['sample', 'patente', 'fecha', 'hora', 'vel', 'tipo_DV', 'sc_eje', 'sc_pbt', 'msg',
'estacion', 'P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5','P6','P7','P8','P9','P10','P11','P12']
    dtype_dict = {
        'tipo_DV': str,
        'msg': str,
        'P1': float,
        'P2': float,
        'P3': float,
        'P4': float,
        'P5': float,
        'P6': float,
        'P7': float,
        'P8': float,
        'P9': float,
        'P10': float,
        'P11': float,
        'P12': float,
    }
    # leer todos los archivos de carpeta
    file_list = [f for f in os.listdir(directory_path) if f.startswith('P_')]

    # Initialize an empty DataFrame to store the combined data
    df = pd.DataFrame()

    # Loop through each file and concatenate to the combined DataFrame
    for file in file_list:
        try:
            file_path = os.path.join(directory_path, file)
            dfaux = pd.read_csv(file_path, header=None, delimiter=',', names=column_names,
dtype=dtype_dict, na_values=' ', skipinitialspace=True)
```

```

    # Fill missing values with 0
    dfaux.fillna(0, inplace=True)
    df = pd.concat([df, dfaux], ignore_index=True)
except Exception as e:
    print(f"Error processing file '{file}': {str(e)}")

# Unificar texto en tipo_DV
df['tipo_DV'] = df['tipo_DV'].str.strip()
# Calcular PBT
df['PBT'] = df[['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'P10', 'P11', 'P12']].sum(axis=1)

# Calcular Numero de Ejes cargados
NoEjes = df[['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'P10', 'P11', 'P12']] != 0
df['NoEjes'] = NoEjes.sum(axis=1)
df['NoEjes'] = df['NoEjes'].astype(str)

# Formato de fecha y hora
df['fecha'] = pd.to_datetime(df['fecha'], format='mixed')
df['hora'] = pd.to_datetime(df['hora'], format='%H:%M')

return df

def apuntar_ajustar_22_pun(directory_path):
    # estructura de datos para punitivas 2016 a 2019
    column_names = ['sample', 'patente', 'fecha', 'hora', 'vel', 'Lar', 'tipo_DV', 'sc_eje', 'sc_pbt',
'msg', 'estacion', 'P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'PBT']
    dtype_dict = {
        'tipo_DV': str,
        'msg': str,
        'P1': float,
        'P2': float,
        'P3': float,

```

```
'P4': float,
'P5': float,
'P6': float,
'P7': float,
'P8': float,
'P9': float,
'PBT': float,
}
# leer todos los archivos de carpeta
file_list = [f for f in os.listdir(directory_path) if f.startswith('P_')]

# Initialize an empty DataFrame to store the combined data
df = pd.DataFrame()

# Loop through each file and concatenate to the combined DataFrame
for file in file_list:
    try:
        file_path = os.path.join(directory_path, file)
        dfaux = pd.read_csv(file_path, header=None, delimiter=';', names=column_names,
dtype=dtype_dict, na_values=' ', skipinitialspace=True)
        # Fill missing values with 0
        dfaux.fillna(0, inplace=True)
        df = pd.concat([df, dfaux], ignore_index=True)
    except Exception as e:
        print(f"Error processing file '{file}': {str(e)}")

# Unificar texto en tipo_DV
df['tipo_DV'] = df['tipo_DV'].str.strip()
# Trabajamos en ton
df[['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9','PBT']] = df[['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6',
'P7', 'P8', 'P9','PBT']].div(1000)
```

```
# Calcular Numero de Ejes cargados
NoEjes = df[['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9']] != 0
df['NoEjes'] = NoEjes.sum(axis=1)
df['NoEjes'] = df['NoEjes'].astype(str)
# Calcular carga de faja
df['Faja'] = (df['PBT'] / df['Lar']).round(3)
# Formato de fecha y hora
df['fecha'] = pd.to_datetime(df['fecha'], format='%d/%m/%y')
df['hora'] = pd.to_datetime(df['hora'], format='%H:%M')

return df

def apuntar_ajustar_16a19_sel(file_path):
    # estructura de datos para punitivas 2016 a 2019
    column_names = ['sample', 'fecha', 'hora', 'vel', 'tipo_DV', 'msg', 'largo', 'estacion', 'P1', 'P2',
'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'P10', 'P11', 'P12']
    dtype_dict = {
        'tipo_DV': str,
    }
    # leer todos los archivos de carpeta
    file_list = [f for f in os.listdir(directory_path) if f.startswith('S_')]

    # Initialize an empty DataFrame to store the combined data
    df = pd.DataFrame()

    # Loop through each file and concatenate to the combined DataFrame
    for file in file_list:
        file_path = os.path.join(directory_path, file)
        dfaux = pd.read_csv(file_path, header=None, delimiter=',', names=column_names,
dtype=dtype_dict, na_values=' ', skipinitialspace=True)
        # Fill missing values with 0
        df.fillna(0, inplace=True)
```

```

    df = pd.concat([df, dfaux], ignore_index=True)
# Unificar texto en tipo_DV
df['tipo_DV'] = df['tipo_DV'].str.strip()
# Calcular PBT
df['PBT'] = df[['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'P10', 'P11', 'P12']].sum(axis=1)

# Calcular Faja
df['Faja'] = (df['PBT'] / df['largo']).round(3)

# Calcular Numero de Ejes cargados
NoEjes = df[['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'P10', 'P11', 'P12']] != 0
df['NoEjes'] = NoEjes.sum(axis=1)
df['NoEjes'] = df['NoEjes'].astype(str)

# Formato de fecha y hora
df['fecha'] = pd.to_datetime(df['fecha'], format='mixed')
df['hora'] = pd.to_datetime(df['hora'], format='%H:%M')

return df

```

- **Función func trafico**

```
import pandas as pd
```

```
def ADTT(df, threshold = 0):
```

```
    # given a dataframe df y el valor minimo para considerar un dia con datos representativos
```

```
    # Average Daily Truck Traffic
```

```
    daily_counts = df.groupby(df['fecha'].dt.date).size()
```

```
    DiasTotales = len(daily_counts)
```

```
    # Step 1: Filter out values below the threshold
```

```
    filtered_daily_counts = daily_counts[daily_counts > threshold]
```

```
    DiasConDatos = len(filtered_daily_counts)
```

```
    # Step 2: Calculate the average of the remaining values
```

```
    average_daily_truck_traffic = round(filtered_daily_counts.mean(),1)
```

```
# resultados
return average_daily_truck_traffic, DiasConDatos, DiasTotales

def PBT_statistics(df):
    # Compute statistics for 'PBT' column
    pbt_desc_stats = df['PBT'].describe()

    # Calculate modes
    pbt_mode = df['PBT'].mode()[0]

    # Calculate percentiles
    pbt_percentiles = df['PBT'].quantile([0.05, 0.25, 0.5, 0.75, 0.95])

    # numero con sobrecarga
    pbt_gt_45_count = (df['PBT'] > 45).sum()
    prob_gt_45 = round(pbt_gt_45_count/df.shape[0]*100,3) #por ciento

    # summary
    ave = round(pbt_desc_stats['mean'], 3)
    median = round(pbt_percentiles[0.5], 3)
    mode = round(pbt_mode, 3)
    std = round(pbt_desc_stats['std'], 3)
    p5 = round(pbt_percentiles[0.05], 3)
    p25 = round(pbt_percentiles[0.25], 3)
    p75 = round(pbt_percentiles[0.75], 3)
    p95 = round(pbt_percentiles[0.95], 3)
    max = round(pbt_desc_stats['max'], 3)

    return ave,median,mode,std,p5,p25,p75,p95,max,prob_gt_45

def common_categories(dataframe):
    common = ['NE', 'NE', 'NE']
```

```
truck_type_counts = dataframe['tipo_DV'].value_counts()
for i in range(3):
    if i < len(truck_type_counts.index) and truck_type_counts.index[i]:
        common[i] = truck_type_counts.index[i]
return common

def FAJA_statistics(df):
    #filtrar solo vehiculos de mas de 8 m y menos de 30 m.
    df_filtrado = df[(df['Lar'] > 8) & (df['Lar'] < 30)]
    # Compute statistics for 'PBT' column
    faja_desc_stats = df_filtrado['Faja'].describe()

    # Calculate modes
    faja_mode = df_filtrado['Faja'].mode()[0]

    # Calculate percentiles
    faja_percentiles = df_filtrado['Faja'].quantile([0.05, 0.25, 0.5, 0.75, 0.95])

    # vehiculos por sobre 0.952 ton/m
    faja_gt_0952_count = (df_filtrado['Faja'] > 0.952).sum()
    prob_gt_0952 = round(faja_gt_0952_count/df.shape[0]*100,3) #por ciento

    # summary
    ave = round(faja_desc_stats['mean'], 3)
    median = round(faja_percentiles[0.5], 3)
    mode = round(faja_mode, 3)
    std = round(faja_desc_stats['std'], 3)
    p5 = round(faja_percentiles[0.05], 3)
    p25 = round(faja_percentiles[0.25], 3)
    p75 = round(faja_percentiles[0.75], 3)
    p95 = round(faja_percentiles[0.95], 3)
    max = round(faja_desc_stats['max'], 3)
```

return ave,median,mode,std,p5,p25,p75,p95,max,prob_gt_0952

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA
RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

Departamento : Departamento de Ingeniería Civil
Carrera : Ingeniería Civil
Nombre del memorista : Javiera Paz Ortiz De la Maza
Título de la memoria : Análisis de las cargas vivas en puentes carreteros chilenos desagregados según macro
Fecha de la presentación oral :

Profesor(es) Guía : Víctor Aguilar Vidal
Profesor(es) Revisor(es) : Juan Antonio Carrasco M. y Tomás Echaveguren N.
Concepto :
Calificación :

Resumen (máximo 200 palabras)

Los puentes son cruciales para el desarrollo territorial, y su vida útil depende de las cargas de tráfico que soportan. En Chile, los puentes se diseñan siguiendo el Manual de Carreteras, basado en especificaciones de diseño de Estados Unidos de 1944, actualizadas en 1993. Sin embargo, estos patrones no reflejan necesariamente las cargas vehiculares actuales en Chile. La Dirección de Vialidad registra rutinariamente el peso de los camiones en varias estaciones fijas. Este estudio analiza las cargas vivas en puentes carreteros chilenos utilizando datos de pesaje de ocho estaciones fijas en diferentes macrozonas del país. Se consideran variables como el peso bruto total, el peso por eje, la frecuencia de tránsito y la tipología vehicular. Los resultados, presentados en mapas y gráficos, destacan la necesidad de actualizar las normas de diseño para reflejar mejor las condiciones actuales del tráfico vehicular en Chile, garantizando así la seguridad y capacidad de servicio de los puentes.