



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



**ESTUDIO DE CARGAS VIVAS EXTREMAS EN PUENTES DEBIDO A
SUPERCAMIONES**

POR

Álvaro Vives Cárcamo

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

Profesor Guía
Dr. Víctor Hugo Aguilar Vidal

Mayo 2026
Concepción (Chile)

© 2026 Álvaro Vives Cárcamo

© 2026 Álvaro Vives Cárcamo

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

RESUMEN

El aumento del transporte terrestre de carga y la circulación de camiones especiales en la red vial han generado nuevas exigencias sobre los puentes, las cuales pueden diferir de las consideradas en los modelos de carga normativos de diseño. En particular, la presencia de supercamiones, caracterizados por configuraciones vehiculares atípicas y valores extremos de peso bruto total (PBT), puede inducir solicitaciones estructurales superiores a las esperadas. En este contexto, resulta necesario evaluar los efectos reales de estos vehículos sobre los puentes.

En este trabajo se analizan las solicitaciones estructurales generadas por supercamiones en puentes simplemente apoyados, considerando longitudes de vano entre 10 y 45 m. Para ello, se utilizan registros de pesaje provenientes de estaciones ubicadas en distintas zonas geográficas del país. A partir de estos datos, se identifican configuraciones vehiculares predominantes en cada zona, definiendo supercamiones representativos. Las solicitaciones inducidas por estos vehículos se comparan con los modelos de carga normativos utilizados en Chile.

Los resultados evidencian diferencias relevantes entre zonas geográficas: predominancia de configuraciones de seis ejes en la zona norte, mayor diversidad en la zona centro, y configuraciones más largas con mayores valores de PBT en la zona sur. La comparación con los modelos HL-93 y HS20-44+20% muestra que los supercamiones generan mayores solicitaciones, especialmente en el estado límite de servicio I. Sin embargo, en la mayoría de los casos las demandas se mantienen bajo el estado límite de resistencia I, siendo superado solo en situaciones puntuales.

Estos resultados sugieren la necesidad de considerar escenarios asociados a vehículos especiales definidos por el mandante en el diseño y evaluación de puentes, particularmente en el marco del estado límite de resistencia II. Este enfoque, basado en mediciones reales de carga, contribuye a una evaluación más representativa del comportamiento estructural frente a solicitaciones inducidas por supercamiones.

ABSTRACT

The increase in road freight transport and the circulation of special trucks on the road network have generated new demands on bridges, which may differ from those considered in standard design load models. In particular, the presence of super trucks, characterized by atypical vehicle configurations and extreme gross vehicle weight (GVW) values, can induce structural demands greater than expected. In this context, it is necessary to evaluate the real effects of these vehicles on bridges.

This study analyzes the structural demands generated by super trucks on simply supported bridges, considering span lengths between 10 and 45 m. For this purpose, weighing records from stations located in different geographic zones of the country are used. Based on these data, predominant vehicle configurations in each zone are identified, defining representative super trucks. The demands induced by these vehicles are compared with the standard load models used for bridge design in Chile.

The results show significant differences between geographic zones: a predominance of six-axle configurations in the northern zone, greater diversity in the central zone, and longer configurations with higher GVW values in the southern zone. The comparison with HL-93 and HS20-44+20% models indicates that super trucks generate higher demands, particularly with respect to Service Limit State I. However, in most cases, the demand remains below Strength Limit State I, which is exceeded only in specific cases.

These results suggest the need to consider scenarios associated with special vehicles defined by the client in the design and evaluation of bridges, particularly within the framework of Strength Limit State II. This approach, based on real load measurements, contributes to a more representative assessment of structural behavior under demands induced by super trucks.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre y hermanos, Selena, Laura y Santiago, por su apoyo incondicional en cada paso que doy.

A mis abuelos, por su cariño y preocupación constante, que siempre me ha impulsado a seguir adelante. Promesa cumplida.

A Gabriela, por su amor y compañía, que día a día me ayudan a crecer y creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) por el financiamiento otorgado a través del proyecto “Fondecyt de Iniciación N° 11230092”.

Agradezco al profesor Víctor Aguilar Vidal por su constante apoyo, paciencia y compromiso durante el desarrollo de esta memoria de título. Su guía y conocimientos fueron fundamentales para la culminación de mi formación profesional.

Finalmente, agradezco al profesor Patricio Cendoya Hernández, integrante de la comisión, por su disposición y el tiempo dedicado a la revisión y mejora de este trabajo.

Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivo general	2
1.3 Objetivos específicos.....	2
1.4 Alcance.....	2
1.5 Plan de trabajo	2
1.6 Principales resultados y Conclusiones	3
1.7 Organización del documento.....	4
CAPÍTULO 2: CARGAS ESPECIALES Y SUPERCAMIONES.....	5
2.1 Introducción	5
2.2 Marco conceptual	5
2.2.1 Cargas vivas	5
2.2.2 Patrón de carga.....	5
2.2.3 Transporte especial	7
2.2.4 Peso bruto total	7
2.2.5 Peso por eje y espaciamientos entre ejes	8
2.2.6 Pesaje en movimiento / Weigh-In-Motion.....	8
2.2.7 Supercamión	8
2.3 Normativa vigente	9
2.3.1 AASHTO STANDARD Specifications (2002) y LRFD (2012)	9
2.3.2 Autorizaciones para Transportes Especiales.....	10
2.3.2.1 Decreto Supremo M.O.P. N° 158 de 1980.....	10
2.3.2.1.1 Pesos por Eje.....	11

2.3.2.1.2 Peso Bruto Total	11
2.4 Estado del arte	12
2.5 Conclusión.....	15
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	17
3.1 Introducción	17
3.2 Metodología	17
3.3 Recolección, procesamiento y análisis de datos.....	17
3.4 Caracterización y elaboración de supercamiones representativos por estación.....	20
3.5 Efectos inducidos por supercamiones representativos y comparación con patrones de carga normativos	20
3.5.1 Código Python para cálculo de patrón de carga HL-93 (AASHTO LRFD 2012)	21
3.5.2 Código Python para cálculo de patrón de carga HS20-44+20% (Manual de Carreteras Vol. 3 MOP).....	22
3.5.3 Código Python para cálculo de camiones representativos	22
3.6 Conclusiones	22
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	24
4.1 Introducción	24
4.2 Análisis de datos.....	24
4.3 Análisis de frecuencia de camiones para momento flector según zona geográfica	25
4.4 Análisis de frecuencia de camiones para fuerza cortante según zona geográfica	27
4.5 Distribución de peso bruto total (PBT)	29
4.6 Caracterización y elaboración de supercamiones representativos	31
4.6.1 Supercamiones representativos de una estación en ambas direcciones	32
4.6.2 Supercamiones representativos de estaciones ubicadas en la ruta 5 en una dirección de tránsito	34
4.7 Efectos inducidos por supercamiones versus patrones de carga normativos	37

4.7.1	Comparación entre momento y corte de una estación.....	37
4.7.2	Comparación entre ambas direcciones de una estación	41
4.7.3	Comparación entre estaciones de pesaje ubicadas en la ruta 5	42
4.8	Evaluación de supercamiones en combinaciones de carga	44
4.9	Conclusiones	45
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES		47
GLOSARIO		49
REFERENCIAS		50
ANEXO 1.1 Contribución a los objetivos de desarrollo sostenible		53
ANEXO 4.1 Análisis de frecuencia de supercamiones según zona geográfica		54
ANEXO 4.2 Supercamiones representativos para momento flector de cada estación de pesaje		58
ANEXO 4.3 Supercamiones representativos para fuerza cortante de cada estación de pesaje.....		65
ANEXO 4.4 Comparación entre patrones de carga normativos y camiones representativos para momento flector de cada estación de pesaje		72
ANEXO 4.5 Comparación entre patrones de carga normativos y camiones representativos para fuerza cortante de cada estación de pesaje		84
ANEXO 4.6 Análisis de registros de camiones para cada estación de pesaje.....		96

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Límite de Pesos Máximos para Ejes	11
Tabla 2.2 Límite de Pesos Máximos para Camiones	12
Tabla 2.3 Momento equivalente y consumo incremental en función de las características vehiculares	15
Tabla 3.1 Ejemplo de registro de datos de pesaje	18
Tabla 4.1 Distribución de PBT en toneladas según zona	31

Índice de Figuras

Figura 2.1 Patrón de Carga HS20-44 + 20% (Manual de Carreteras, 2023).....	6
Figura 2.2 Patrón de Carga HL-93	7
Figura 2.3 Comparación de momento flector entre los camiones más pesados y HS20-44	13
Figura 2.4 Comparación de fuerza cortante entre camiones más pesados y HS20-44.....	13
Figura 4.1 Cantidad de registros de supercamiones por estación de pesaje y dirección de tránsito	25
Figura 4.2 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona norte dirección 1-2.....	26
Figura 4.3 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona centro dirección 1-2.....	26
Figura 4.4 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona sur dirección 1-2.....	26
Figura 4.5 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona norte dirección 1-2.....	28
Figura 4.6 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona centro dirección 1-2.....	28
Figura 4.7 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona sur dirección 1-2.....	28
Figura 4.8 Distribución de PBT para zona norte.....	30
Figura 4.9 Distribución de PBT para zona centro	30
Figura 4.10 Distribución de PBT para zona sur	30
Figura 4.11 Formato de identificación de supercamiones representativos	32
Figura 4.12 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-12-5E-80) en dirección 1-2.....	32
Figura 4.13 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-12-6E-91) en dirección 1-2.....	33
Figura 4.14 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-12-6E-89) en dirección 1-2.....	33

Figura 4.15 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-34-6E-102) en dirección 3-4...	33
Figura 4.16 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-34-6E-104) en dirección 3-4...	33
Figura 4.17 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-34-6E-103) en dirección 3-4...	33
Figura 4.18 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-6E-83) en dirección 1-2.....	34
Figura 4.19 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-6E-82) en dirección 1-2.....	34
Figura 4.20 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-7E-106) en dirección 1-2....	35
Figura 4.21 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-12-7E-124) en dirección 1-2.....	35
Figura 4.22 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-12-7E-121) en dirección 1-2.....	35
Figura 4.23 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-12-7E-122) en dirección 1-2.....	35
Figura 4.24 Supercamión representativo de estación “Los Ángeles” (An-12-6E-95) en dirección 1-2	35
Figura 4.25 Supercamión representativo de estación “Los Ángeles” (An-12-8E-122) en dirección 1-2.....	36
Figura 4.26 Supercamión representativo de estación “Los Ángeles” (An-12-8E-123) en dirección 1-2.....	36
Figura 4.27 Momentos flectores de supercamiones representativos de Curacaví y patrones de carga normativos.....	38
Figura 4.28 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de Curacaví y patrones de carga normativos.....	38
Figura 4.29 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de Curacaví y HL-93	39
Figura 4.30 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de Curacaví y HS20-44+20%.....	39

Figura 4.31 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de Curacaví y HL-93	40
Figura 4.32 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de Curacaví y HS20-44+20%	40
Figura 4.33 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “El Monte” y HL-93	41
Figura 4.34 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “El Monte” y HS20-44+20%	41
Figura 4.35 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de La Negra y HL-93	42
Figura 4.36 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de Lampa y HL-93	43
Figura 4.37 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de Los Ángeles y HL-93	43
Figura 4.38 Evaluación de momento de diseño según combinaciones de carga.....	44

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

La infraestructura vial es fundamental para la conectividad y el desarrollo económico de un territorio. El transporte carretero corresponde al principal medio de transporte para la movilización de cargas a lo largo del territorio nacional, movilizando un 95% de la carga total del país (Rodríguez, 2025). Esto ha generado un aumento continuo del tránsito de vehículos de carga en frecuencia y peso (Marchini, 2024). Solo en el primer trimestre del 2025, más de 282.000 camiones cruzaron los pasos fronterizos del país, movilizando alrededor de 4 millones de toneladas de carga, con un alza cercana al 17 % respecto al año anterior (Pino, 2025). En Chile, existen aproximadamente 12.000 obras viales, incluyendo puentes, pasos a desnivel y pasarelas, de las cuales cerca de 7.500 corresponden a puentes viales (Dirección General de Obras Públicas, 2020).

En casos específicos, existen camiones denominados “especiales” que superan los límites normativos permitidos en carga y/o dimensiones, los cuales son diferentes a los estandarizados para el diseño de puentes, generando solicitudes estructurales superiores a las previstas en el diseño. Entre 2018 y 2022, se recibieron más de 62.000 solicitudes para tránsito de vehículos con sobrepeso (Chávez, 2025). Una de las principales causas de falla en puentes se debe a sobrecarga, siendo la tercera falla más común, por detrás de fallas hidráulicas y colisiones (Cook et al., 2014). El puente Caipulli en Ancud es un ejemplo, donde una de las causas de su colapso fue el tránsito de camiones con sobretonelaje sobre una estructura diseñada para cargas menores (Undurraga y Peña, 2019).

Resulta entonces relevante analizar el impacto que generan los denominados “supercamiones” sobre puentes, entendidos como vehículos que producen solicitudes extremas, en comparación con los camiones estándar que circulan en el país. Este estudio tiene como objetivo caracterizar este tipo de vehículos y las solicitudes que imponen sobre puentes en Chile. Para ello, se busca identificar patrones de carga representativos, analizar estadísticamente sus parámetros y generar información que permita comprender de mejor manera el comportamiento real de las cargas sobre puentes.

El Anexo 1.1 muestra la contribución de la Memoria de Título a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1.2 Objetivo general

Caracterizar y evaluar las demandas estructurales debido a supercamiones que transitan por los puentes de Chile en base a registros de pesaje distribuidos a lo largo del país.

1.3 Objetivos específicos

- Caracterizar los supercamiones en función del número de ejes, el peso bruto total (PBT), momento flector y fuerza cortante inducidos en puentes según ubicación geográfica.
- Proponer supercamiones representativos a partir de la información entregada por estaciones de pesaje disponibles.
- Cuantificar y comparar los momentos flectores y fuerzas cortantes máximos producidos por los supercamiones representativos en distintas longitudes de vano.

1.4 Alcance

Se evaluaron las cargas producidas por supercamiones en puentes simplemente apoyados, considerando una vía cargada, con longitudes de vano entre 10 y 45 m. No se incluye el efecto de factor de impacto en las demandas debido a supercamiones, sin embargo, si se usó el factor de impacto definido en las normativas con las cuales se comparan las demandas calculadas.

La información utilizada corresponde a registros de mediciones de camiones obtenidas en cinco estaciones de pesaje distribuidas en las zonas norte, centro y sur de Chile, en los años 2016-2019 y 2022.

1.5 Plan de trabajo

Se estudian datos correspondientes a los años entre 2016-2019 y 2022 de cinco estaciones de pesaje. Estos se analizan a partir de códigos de programación Python, obteniendo una cantidad de camiones correspondiente a la última desviación estándar de la base de datos de cada estación de pesaje, los cuales se considerarán como “supercamiones”. Se obtienen datos estadísticos respecto a los pesos por eje, configuración de ejes y peso bruto total (PBT), comparando camiones con misma cantidad de

ejes. Se calcula momento flector y fuerza cortante inducidos por los supercamiones representativos obtenidos para cada estación según la longitud del vano analizado, para comparar con los patrones normativos para diseño de puentes utilizados en Chile, y así obtener patrones de carga acordes a las solicitudes obtenidas a partir de estos supercamiones.

1.6 Principales resultados y Conclusiones

El análisis de la información de pesaje correspondiente a estaciones ubicadas en las zonas norte, centro y sur del país permitió caracterizar el tránsito de supercamiones y evaluar sus solicitudes estructurales en puentes. Los resultados muestran que las configuraciones vehiculares varían respecto a la macrozona, identificando diferencias entre zonas geográficas. La zona norte presenta un tránsito relativamente homogéneo, con configuraciones de 6 ejes. La zona centro evidencia una mayor diversidad de configuraciones vehiculares y dispersión de cargas, mientras que la zona sur concentra los mayores valores de PBT, asociados principalmente a camiones de mayor número de ejes.

A partir de esta caracterización se definieron supercamiones representativos, contruidos respecto a la información de las estaciones de pesaje sobre cargas por eje y configuraciones de espaciamiento entre ejes de los camiones más frecuentados. Estos modelos permitieron evaluar las solicitudes máximas de momento flector y fuerza cortante inducidas en puentes para longitudes de vano entre 10 y 45 metros, para comparar respecto a los estados límites establecidos en las normativas utilizadas para el diseño de puentes.

La comparación entre las solicitudes producidas por los supercamiones representativos y los patrones normativos HL-93 y HS20-44+20% evidencia que, para todas las longitudes de vano analizadas, las demandas generadas por los supercamiones representativos de cada macrozona superan los patrones de carga normativos, especialmente al estado límite de servicio I. Estos supercamiones tienden a no superar el estado límite de resistencia I, pero existen casos puntuales donde lo hacen.

Los resultados evidencian que el tránsito de supercamiones puede generar solicitudes más exigentes que las consideradas en los modelos normativos tradicionales, destacando la importancia de estudios relacionados a este tipo de camiones para la evaluación y diseño de puentes, incorporando el estado límite de resistencia II, el cual apunta a camiones especiales.

1.7 Organización del documento

El documento se organiza en cinco capítulos. El Capítulo 1 presenta la introducción, incluyendo el contexto, la motivación y el problema de estudio, junto con los objetivos general y específicos, el alcance y el plan de trabajo. El Capítulo 2 desarrolla el marco teórico, abarcando los aspectos conceptuales, normativos y el estado del arte relacionados con vehículos sobrecargados en puentes, considerando tanto estudios como normativas nacionales e internacionales. El Capítulo 3 describe la metodología adoptada, incluyendo la recolección, procesamiento y análisis de los datos, así como la caracterización y definición de supercamiones representativos. Además, se presenta el procedimiento para la evaluación de las solicitaciones estructurales, considerando momento flector y fuerza cortante, y su comparación con los modelos de carga normativos. El Capítulo 4 expone los resultados obtenidos en función de los objetivos a partir de la metodología planteada. Finalmente, el Capítulo 5 presenta las conclusiones del estudio, destacando los principales hallazgos, las limitaciones del trabajo y recomendaciones para futuras investigaciones.

CAPÍTULO 2: CARGAS ESPECIALES Y SUPERCAMIONES

2.1 Introducción

En este capítulo se definen los conceptos más importantes utilizados en la memoria. Se revisa la normativa vigente aplicable a vehículos especiales, abarcando tanto la regulación nacional (Chile) como estándares internacionales. Se presentan antecedentes generales y estudios previos relacionados con el análisis de cargas vivas especiales en puentes.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Cargas vivas

Se entiende por carga viva toda fuerza gravitacional asociada a elementos móviles que actúan sobre una estructura. Su principal característica es la variabilidad tanto en magnitud como en posición, diferenciándose de las cargas muertas. En el caso del diseño de puentes, se asocian principalmente al tránsito vehicular y peatonal. En esta memoria, el análisis se centra en las cargas vivas correspondientes al flujo vehicular pesado. Para efectos de diseño, dichas cargas se modelan mediante los esquemas definidos en la normativa vigente.

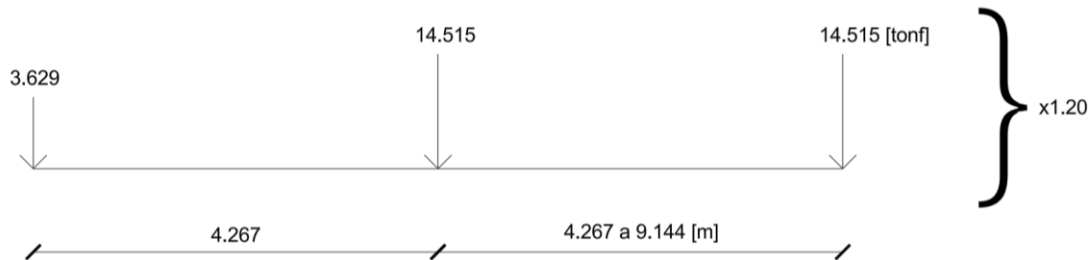
2.2.2 Patrón de carga

Un patrón de carga es un modelo teórico definido para representar las cargas vivas vehiculares que actúan sobre la estructura. Estos modelos agrupan diversos casos de carga para cubrir las situaciones más desfavorables. Los principales utilizados en el territorio nacional corresponden a los conocidos como HS20-44 y HL-93 definidos a continuación.

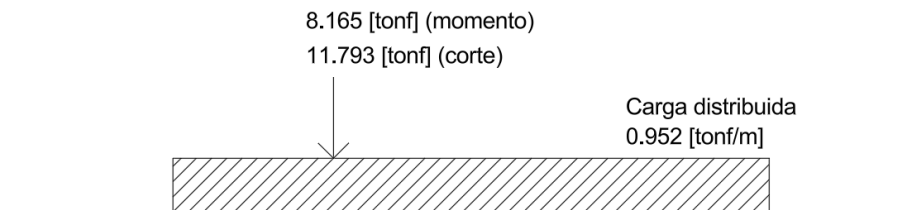
El HS20-44 (ver Figura 2.1), definido en la norma *American Association of State Highway and Transportation Officials* (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transporte; AASHTO según sus iniciales en inglés) Standard (1944), utilizado hasta la versión 2002 de dicho código, y recomendado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) a través del Manual de Carreteras para proyectos desarrollados bajo la supervisión de la Dirección de Vialidad (Manual de Carreteras,

2023). Este considera la evaluación independiente de tres configuraciones de carga: (a) un camión estándar HS20 (MOP recomienda incrementar sus cargas en un 20%), (b) una carga distribuida de faja, y (c) una carga tándem. Las cargas vivas de diseño corresponderán al máximo de estos tres casos (momento flector y fuerza cortante).

a) Camión HS20 Standard + 20%



b) Carga de faja



c) Tándem / Carga militar

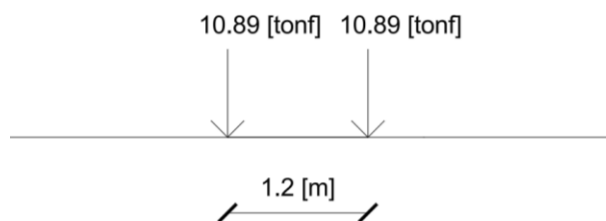
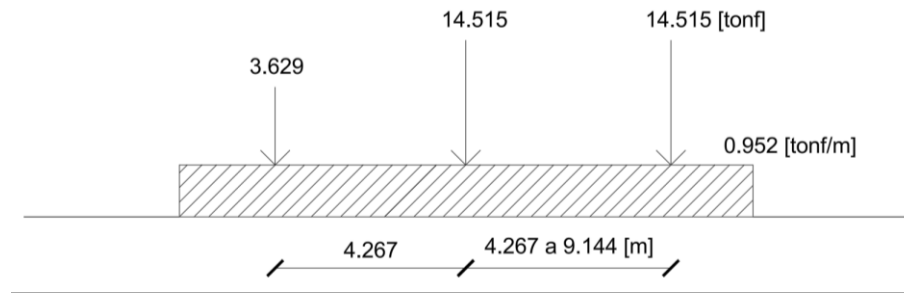


Figura 2.1 Patrón de Carga HS20-44 + 20% (Manual de Carreteras, 2023)

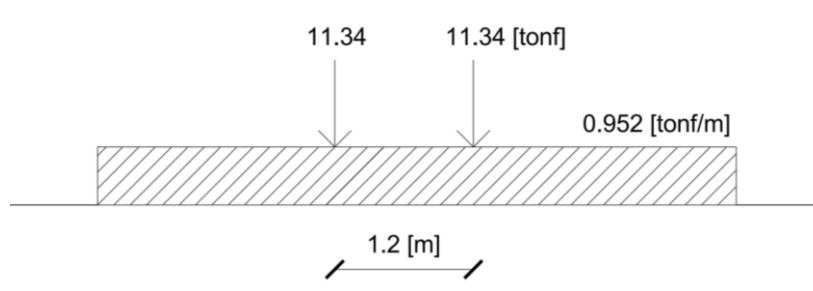
Fuente: Adaptado de AASHTO (2002)

Por su parte, HL-93 (ver Figura 2.2), propuesto por AASHTO (1993) y adoptado por la norma AASHTO LRFD (1994), considera dos configuraciones: (a) un caso utiliza el mismo camión estándar HS20 junto a una carga de faja uniforme, y (b) la carga tándem combinada con la carga de faja. Al igual que el patrón de carga anterior, el diseño adopta la configuración que genera las máximas solicitaciones estructurales.

a) Camión HS20 + Carga de faja



b) Tándem + Carga de faja

**Figura 2.2 Patrón de Carga HL-93**

Fuente: Adaptado de AASHTO (2012)

2.2.3 Transporte especial

Vehículos o transporte de cargas indivisibles cuyas dimensiones y/o pesos exceden los límites máximos establecidos en la legislación vigente (Ministerio de Obras Públicas, 2023). En este trabajo, son de interés los transportes especiales debido a sobrepeso.

2.2.4 Peso bruto total

El peso bruto total (PBT) corresponde al peso combinado del vehículo y la carga. En Chile el límite es de 45 ton según el DS N°158/80 del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

2.2.5 Peso por eje y espaciamientos entre ejes

El peso por eje corresponde a la carga vertical transmitida al puente por cada eje del vehículo. En camiones especiales, estas cargas suelen ser significativamente superiores a las de camiones estándar. El espaciamiento entre ejes se define como la distancia longitudinal entre ejes consecutivos del vehículo. Esta variable determina cómo las cargas interactúan entre sí al actuar simultáneamente sobre un mismo tramo del puente.

Estos conceptos en conjunto permiten determinar los efectos máximos de momento flector y fuerza cortante producidos sobre puentes. El peso por eje define la magnitud de las cargas aplicadas, mientras que el espaciamiento entre ejes determina su ubicación sobre el vano y la superposición de efectos.

2.2.6 Pesaje en movimiento / Weigh-In-Motion

El pesaje en movimiento (o Weigh-in-Motion (WIM), por sus siglas en inglés) es una tecnología que permite medir las características de peso y configuración de los vehículos mientras circulan (Stawska et al., 2021). Existen sistemas de velocidad baja, media y alta. Estos últimos permiten monitorear los vehículos sin interrumpir el tránsito. En Chile estos sistemas se encuentran instalados en plazas de pesaje fijas, donde operan a baja y media velocidad mediante sensores ubicados en una calzada especialmente destinada para ello (Cisternas, 2025). Por lo tanto, el tránsito debe ser desviado para ser pesado.

Los sistemas de pesaje en Chile registran información relevante para análisis, incluyendo peso por eje, PBT y velocidad, lo que permite contar con datos representativos del tránsito pesado real. Una información relevante que este sistema no recopila son los espaciamientos entre ejes (Ortiz, 2024).

2.2.7 Supercamión

No existe una definición estándar para el término “supercamión”. Estos pueden corresponder a un vehículo de transporte de carga que, ya sea por su alto PBT o por su configuración y distribución de ejes, es capaz de generar solicitaciones estructurales extraordinarias en puentes. Este concepto no se restringe únicamente a vehículos que superan límites normativos de peso, sino que también incluye

aquellos con PBT moderado pero que inducen altas demandas de momento y/o corte, así como vehículos de carga especial, vehículos sobrecargados ilegalmente y configuraciones como camiones de alto tonelaje (CAT) y vehículos de alta productividad (VAP) (Fuentes, 2025), y se define en función de su impacto estructural más que solo por su peso total.

En esta investigación, se denominará “supercamión” a aquellos vehículos capaces de generar fuerzas cortantes y/o momento flector de magnitud extraordinaria. La definición precisa se presenta en la subsección 3.3. Si bien es probable que estos incluyan los vehículos previamente descritos, la información disponible no permite establecer una identificación concluyente.

2.3 Normativa vigente

2.3.1 AASHTO STANDARD Specifications (2002) y LRFD (2012)

Las normativas de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), *AASHTO Standard Specifications* y *AASHTO Load and Resistance Factor Design* (LRFD) establecen criterios para el diseño de puentes.

En cada norma, se definen combinaciones de carga correspondientes para servicio y resistencia. En la memoria de título, se utiliza servicio I, referido a la operación normal del puente con un viento de 90 km/h, tomando todas las cargas a sus valores nominales, como también resistencia I, que corresponde a la combinación de cargas básica que representa el uso vehicular normal del puente sin viento.

Las combinaciones de carga utilizadas se presentan a continuación:

Para AASHTO Standard (2002):

SERVICIO I: $1.0 D + 1.0 (LL + IM)_n$

RESISTENCIA I: $1.3 [D + 1.67 (LL + IM)_n]$

RESISTENCIA IB: $1.3 [\beta_D D + (LL + IM)_p]$

Para AASHTO LRFD (2012):

$$\text{SERVICIO I: } 1.0 \text{ DC} + 1.0 \text{ DW} + 1.0 (\text{LL} + \text{IM})$$

$$\text{RESISTENCIA I: } 1.25 \text{ DC} + 1.5 \text{ DW} + 1.75 (\text{LL} + \text{IM})$$

$$\text{RESISTENCIA II: } 1.25 \text{ DC} + 1.5 \text{ DW} + 1.35 (\text{LL} + \text{IM})$$

Donde:

β_D : Factor que modifica la carga muerta según el tipo de material y el caso que analiza.

D: Carga muerta de elementos estructurales y no estructurales;

DC: Carga muerta de elementos estructurales;

DW: Carga muerta de pavimento;

LL: Carga viva vehicular;

IM: Incremento por Carga Dinámica;

n: Para cargas de carretera AASHTO tipo H o HS.

p: Para criterios de sobrecarga de la agencia de operación;

Su evaluación debe vincularse directamente a los factores de carga viva de los estados límite de resistencia I, que rige el uso vehicular normal del puente. Aun así, la presente memoria de título se enfoca en los factores de carga viva del estado límite de resistencia II (o IB), específico para el tránsito de vehículos especialmente definidos por el mandante. Estos pueden incluir vehículos con permisos especiales de sobrepeso, sobredimensionamiento o ambos.

2.3.2 Autorizaciones para Transportes Especiales

El Manual de Autorizaciones para Transportes Especiales (Ministerio de Obras Públicas, 2023) establece los procedimientos y requisitos para la circulación de vehículos con sobrecarga, definiendo las condiciones bajo las cuales se otorgan permisos especiales.

2.3.2.1 Decreto Supremo M.O.P. N° 158 de 1980

Limita pesos, por eje y totales, con los cuales pueden circular los vehículos de cualquier tipo, por caminos públicos, exceptuando vehículos de emergencia de la Dirección de Vialidad. Además,

establece que cuando se requiera transportar un objeto que por su peso exceda los límites permitidos, la persona a cargo debe solicitar una autorización a la Dirección de Vialidad para realizar el traslado, indicando origen y destino, peso de la mercadería, distribución de pesos por eje y fecha de traslado.

2.3.2.1.1 Pesos por Eje

La Tabla 2.1 entrega los límites de pesos máximos permitidos para ejes de un vehículo se establecen respecto al tipo de eje y de rodado, según lo entregado.

Tabla 2.1 Límite de Pesos Máximos para Ejes

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 (8 ruedas)	14

Fuente: D.S MOP N° 158/80

2.3.2.1.2 Peso Bruto Total

La Tabla 2.2 entrega límites máximos de peso bruto total en función de la configuración del vehículo y la distancia entre ejes extremos, permitiendo mayores PBT cuando existe una mejor distribución de cargas, y exigiendo permisos especiales cuando dichos límites son superados.

Tabla 2.2 Límite de Pesos Máximos para Camiones

Tipo	Descripción	Límite máximo [ton]
Semirremolque	Menor de 13 metros, entre ejes extremos	39
	De 13 a 15 metros, entre ejes extremos	42
	Más de 15 metros, entre ejes extremos	45
	Camión con semirremolque, con eje posterior triple, cualquiera sea la distancia entre ejes extremos	45
Remolque	Camión con remolque, cualquier distancia entre ejes extremos	45

Fuente: D.S. MOP N 158/80

2.4 Estado del arte

Wang y Liu (2000) analizan la influencia del tráfico real de camiones pesados sobre puentes carreteros a partir de datos recopilados por el Florida Department of Transportation (FDOT) mediante sistemas WIM. Los datos fueron clasificados según tipo de camión y condición de carga (vacío y cargado), utilizando valores medios de peso por eje y espaciamiento entre ejes para representar sus efectos promedio sobre las estructuras. El estudio desarrolla modelos de camiones representativos y modelos estructurales de puentes de vigas, tanto de acero como de hormigón pretensado, con luces comprendidas entre 9.14 m y 42.67 m. Los resultados muestran que los pesos tándem de los camiones pesados pueden superar los del camión de diseño HS20-44, aun cuando los pesos por eje individuales no lo hagan. Asimismo, se observan sobrecargas estáticas de hasta un 42% respecto del camión normativo, evidenciando que el efecto estructural depende fuertemente de la configuración de ejes, y no solo del peso bruto vehicular. Wang y Liu (2000) concluyen que los factores de impacto obtenidos para camiones pesados cargados presentan valores promedio cercanos al 10%, mientras que los camiones livianos generan amplificaciones dinámicas mayores. El estudio demuestra que la utilización de datos WIM permite una evaluación más realista de las cargas vivas extremas en puentes, mostrando que los modelos normativos pueden no representar adecuadamente los efectos inducidos por el tráfico pesado real y por configuraciones especiales de camiones (ver Figuras 2.3 y 2.4).

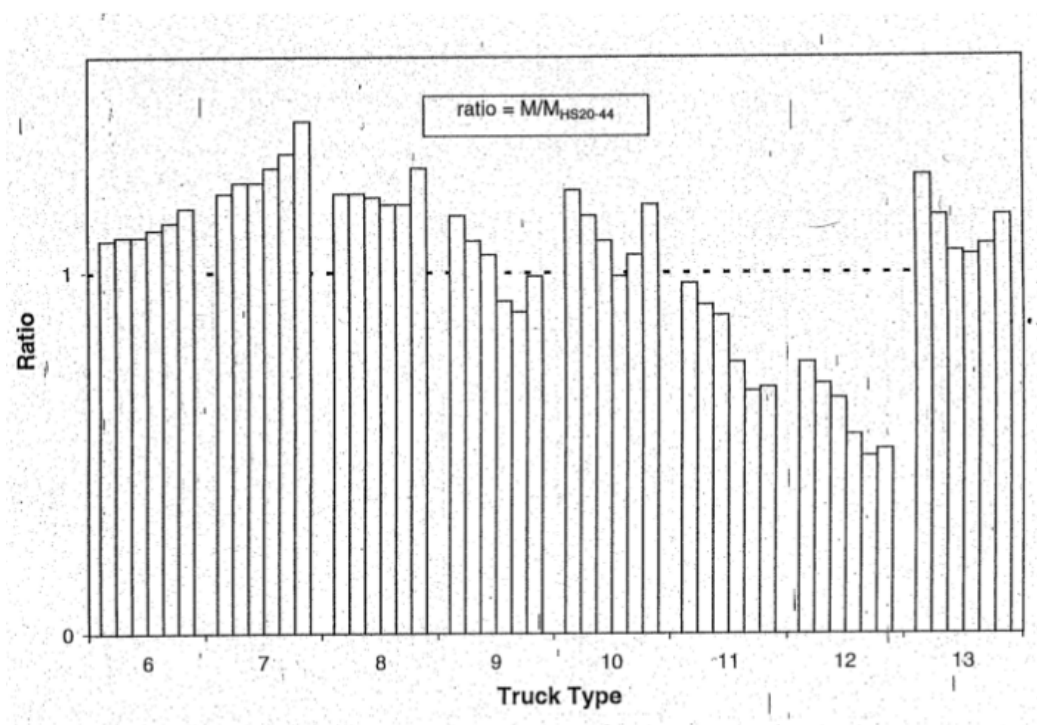


Figura 2.3 Comparación de momento flector entre los camiones más pesados y HS20-44
Fuente: Wang y Liu (2000)

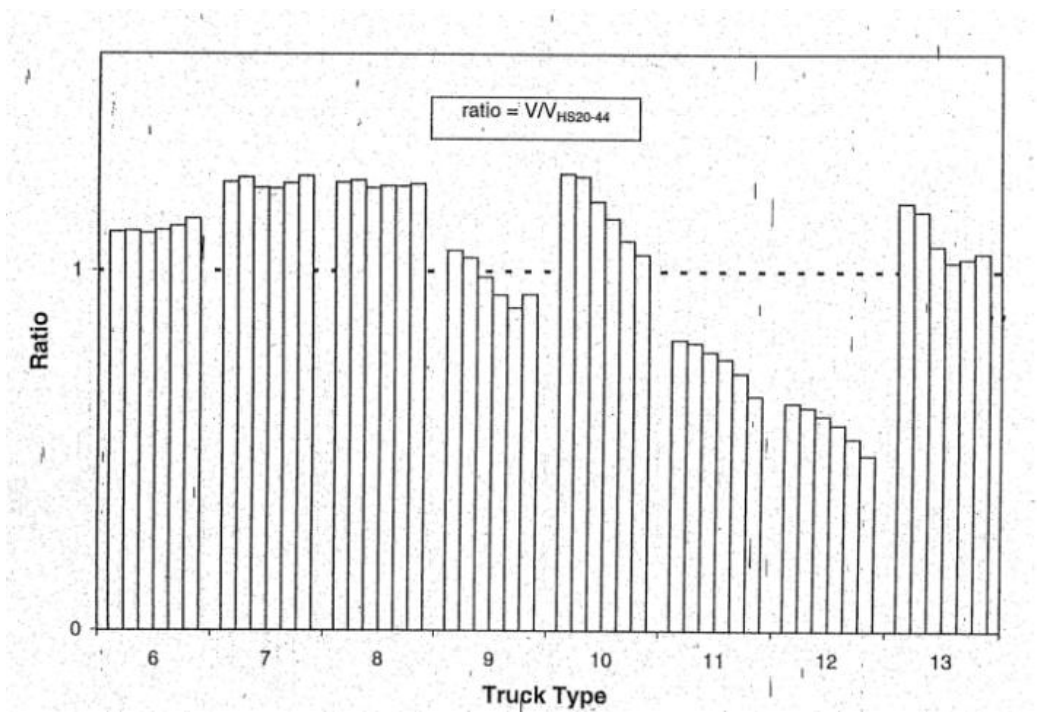


Figura 2.4 Comparación de fuerza cortante entre camiones más pesados y HS20-44
Fuente: Wang y Liu (2000)

El tránsito de vehículos sobrecargados sobre un puente puede afectar no solo el comportamiento estructural a corto plazo, sino también el desempeño a largo plazo y el costo del ciclo de vida de la infraestructura. Chávez (2025) estudia los permisos de transporte especial en Chile emitidos por sobrepeso y propone 44 patrones de carga que identifica como frecuentes. Fuentes (2025) analiza el potencial efecto en puentes del tránsito de vehículo de alta productividad, también hoy consideradas cargas especiales. Por su parte, León (2025) investiga el potencial efecto en puentes del tránsito de convoyes de camiones, una tendencia de tecnología de transporte en desarrollo. Bae y Oliva (2012) estudiaron el uso de vehículos especiales que exceden los límites legales de peso y dimensiones en Wisconsin, los cuales han aumentado significativamente debido al crecimiento industrial y a la necesidad de trasladar cargas de gran tamaño por la red vial. El estudio de Bae y Oliva (2012) señala que las sobrecargas pueden producir fisuraciones leves o deterioro progresivo en componentes del puente que pueden causar mayores necesidades de mantenimiento, rehabilitación o reducción de la vida útil. En este contexto, se plantea que los solicitantes de permisos para vehículos especiales asuman los costos asociados a la disminución de la vida útil del puente. La metodología se basa en la aplicación de la regla de acumulación de daño de Miner y en el análisis del costo del ciclo de vida de los puentes, permitiendo estimar el daño estructural asociado a cada cruce de vehículo sobrecargado. En Chile, Cisternas (2025) y Villanueva (2025) usan un método similar para estudiar daño acumulado en función de datos WIM.

Stawska et al. (2021) menciona que, para garantizar la seguridad estructural de los puentes frente al tránsito vehicular, los propietarios deben verificar la adecuación de la capacidad portante bajo cargas vivas. Los puentes se evalúan considerando cargas de diseño, cargas legales y cargas asociadas a permisos especiales, utilizando camiones normativos AASHTO. Sin embargo, en varios estados se permite la circulación de vehículos sobrecargados, para los cuales no existen disposiciones específicas en los procedimientos de evaluación, similar al caso chileno. Stawska et al. (2021) estudia si los factores de carga viva utilizados hasta este momento en el estado de Montana proporcionan los niveles de seguridad adecuados para este tipo de vehículos. Se muestra que los enfoques normativos tradicionales podrían no ser suficientes para representar adecuadamente este tipo de cargas vivas extremas. Además, Stawska et al. (2022) demuestra que el aumento del peso excesivo y del número de vehículos especiales con permiso puede provocar un daño acelerado en los puentes, lo que genera la necesidad de mayor control sobre la operación de este tipo de transporte. Se puede afirmar que cada cruce que soporta un vehículo genera múltiples ciclos de carga, los cuales disminuyen la vida útil,

mediante la acumulación del daño por fatiga del puente. Stawska et al. (2022) genera una ecuación de consumo incremental, donde se mide el daño estructural ocasionado por el peso que supera el legalmente reconocido. Este daño estructural es transformado en daño económico, incorporando parámetros como el costo de la construcción del puente, el volumen de tráfico, características estructurales, entre otros (ejemplo en Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Momento equivalente y consumo incremental en función de las características vehiculares

No.	GVW (tonnes)	Total Length (m)	Number of axles	Equivalent moment (kNm)	Consumption ratio	Incremental consumption (\$/kilometer)
1	39.9	17.7	5	1779	4.3	0.04
2	54.8	30.5	6	1994	6.4	0.09
3	58.9	22.9	7	1900	5.4	0.07
4	59.8	28.9	7	1886	5.3	0.06
5	63.5	22.9	8	2245	9.7	0.16
6	75.5	22.9	8	3372	40.5	0.86
7	84.8	29.4	9	2682	18.1	0.36
8	105	24.7	13	4020	74.9	1.65
9	109	36	12	2988	26.5	0.55
10	1143	37.8	12	3041	28.2	0.59

Fuente: Stawska et al. (2022)

2.5 Conclusión

El capítulo establece el marco teórico relacionado con el análisis de cargas especiales en puentes, definiendo los conceptos asociados a las cargas vehiculares y configuraciones de los camiones, resaltando la importancia del peso por eje y del espaciamiento entre ejes en la obtención de las solicitaciones estructurales máximas, así como su comparación con los patrones de carga normativos utilizados en el diseño de puentes.

Las normativas nacionales, tales como el Manual de Autorizaciones para Transportes Especiales y el Manual de Carreteras Vol. 3 (2023), en conjunto con la normativa internacional AASHTO ASD (2002) y AASHTO LRFD (2012), conforman un marco regulador integral para el diseño de puentes. Estas establecen límites para PBT, la configuración de ejes y las verificaciones de servicio y resistencia, con el objetivo de garantizar la seguridad y durabilidad estructural de las obras frente a condiciones especiales de tránsito.

El estado del arte evidencia los efectos extremos que este tipo de cargas especiales puede inducir en términos de momentos flectores y fuerzas cortantes. Diversos estudios indican que estas solicitaciones

aceleran los procesos de daño por fatiga y deterioro estructural. En este contexto, se refuerza la necesidad de complementar los modelos de carga normativos tradicionales con información respectiva para vehículos sobrecargados y/o sobredimensionados, incorporando patrones de carga representativos de supercamiones basados en información real de tránsito, permitiendo abordar de manera más adecuada las demandas reales del transporte tanto a nivel nacional como internacional.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Introducción

El presente capítulo describe la metodología empleada para analizar el efecto de supercamiones sobre puentes. El enfoque metodológico combina el procesamiento de datos vehiculares, obtenidos en estaciones de pesaje a lo largo del país, con un análisis estructural que permite evaluar las solicitudes generadas por estos camiones pesados.

3.2 Metodología

La metodología empleada en esta memoria de título se estructura en tres etapas, enfocadas en el cumplimiento de los objetivos propuestos:

- Recolección, procesamiento y análisis de datos.
- Caracterización y elaboración de supercamiones representativos.
- Cálculo de los efectos inducidos por supercamiones representativos y comparación con patrones de carga normativos

3.3 Recolección, procesamiento y análisis de datos

Se utilizaron datos provenientes de cinco estaciones de pesaje ubicadas en distintas zonas del país: “La Negra” (norte), “Curacaví”, “Lampa”, “El Monte” (centro) y “Los Ángeles” (sur), correspondientes a los años 2016-2019 y 2022. Los archivos originales, entregados en formato de texto, ya se encontraban corregidos, con los registros erróneos ya eliminados (Ortiz, 2024; Villanueva, 2025). Estos datos corresponden a registros de camiones, con información como: ID, Fecha, Hora, Velocidad, Dirección y Pesos por Eje. Estos fueron posteriormente exportados a formato Excel mediante un script elaborado en Python, con el objetivo de facilitar su manejo e incorporar nuevos datos relevantes como: Número de ejes, Espaciamiento entre ejes y PBT.

Generalmente, en cada plaza de pesaje existen dos estaciones, una a cada lado de la carretera, una estación llamada 1-2 y otra estación llamada 3-4. Las estaciones 1-2 corresponden a las estaciones ubicadas en la pista cuya dirección se aleja de Santiago y las estaciones 3-4 corresponden a las pistas cuya dirección se acerca a Santiago (Ortiz, 2024). Se separa la información según la dirección de tránsito correspondiente.

Los registros finales se entregan de la siguiente manera en el formato Excel:

Tabla 3.1 Ejemplo de registro de datos de pesaje

ID	Tipo	Tipo_raw	N_ejes	Mmax_ton	Vmax_ton	Espaciamientos_usados	Mmax_orientación	Vmax_orientación	Eje_1_ton	...	Eje_9_ton	Esp_1	...	Esp_9	PBT
----	------	----------	--------	----------	----------	-----------------------	------------------	------------------	-----------	-----	-----------	-------	-----	-------	-----

Los registros del paso de camiones en las estaciones de pesaje de cada camión miden peso por eje y distancia entre ejes, guardando únicamente los pesos individuales de cada eje, limitando la usabilidad de estos datos (Ortiz, 2024). La información faltante de distancia entre ejes se define a partir de levantamientos y análisis estadísticos realizados en las diferentes zonas de Chile para distintos tipos de vehículos pesados del MOP. Los momentos flectores y cortantes máximos se obtuvieron mediante un análisis de cargas móviles en Python, suponiendo la acción de cargas puntuales que representan cada eje cargado de cada registro, ubicando cada vehículo en múltiples posiciones hasta encontrar la más desfavorable.

En una primera etapa, los registros fueron agrupados por estación de pesaje, sin distinción por año, y obteniendo las principales variables relevantes para el análisis:

- Número de ejes
- Pesos por ejes
- Peso Bruto Total (PBT)
- Espaciamento entre ejes

De cada base de datos, se calculan el momento flector máximo y la fuerza cortante máxima generados por cada camión sobre diferentes longitudes de vano, analizando vanos desde 10 hasta 45 m, considerando una viga simplemente apoyada. Esto genera hojas de cálculo independientes para cada base de las respectivas estaciones de pesaje respecto a la longitud de vano y la solicitación calculada.

El análisis se enfoca en estudiar los valores extremos de la cola superior de la distribución probabilística, correspondientes a los vehículos que generan las solicitaciones más exigentes y tienen menor probabilidad de ocurrencia. Estos registros corresponderán a los denominados “supercamiones” y se obtienen a partir del ordenamiento descendente de los datos respecto a sus solicitaciones, extrayendo cierta cantidad de datos correspondiente a la última desviación estándar de cada estación de pesaje. Por ejemplo, la estación de Curacaví tiene un total de 3.365.188 registros en la dirección 1-2 (5 años), donde, en este caso, los 400 registros con mayor demanda corresponden a la cola superior.

Los registros por estación de pesaje se analizan en función de la frecuencia de camiones según la cantidad de ejes que posean. Este análisis corresponde, de manera independiente, para cada estación de pesaje, utilizando los datos de la estación de “La Negra” para zona norte, “Curacaví”, “Lampa” y “El Monte” para la zona centro y “Los Ángeles” para la zona sur, en ambas direcciones de tránsito (1-2 y 3-4). Esta es una herramienta para caracterizar estadísticamente cuáles son las configuraciones vehiculares que más frecuentan cada estación de pesaje.

Además, se subdividen las bases de datos respecto al número de ejes de los supercamiones, para construir tablas que contienen información respecto a las tres mayores frecuencias de supercamiones de cada estación, su frecuencia relativa (%), desviación estándar y media del PBT, momento o corte, obteniendo el coeficiente de variación (COV) de cada medida estadística. Se entrega la razón de demanda de momento o corte de la media de los supercamiones sobre las solicitaciones correspondientes a los camiones de diseño HL-93 y HS20-44+20%. El COV representa la relación porcentual entre la desviación estándar y la media de una muestra, midiendo la dispersión relativa de los datos dentro de cada categoría. Por su parte, la razón de demanda permite medir la exigencia del tránsito de estos supercamiones respecto a los escenarios de diseño propuestos por las normativas.

3.4 Caracterización y elaboración de supercamiones representativos por estación

A partir de la clasificación de las bases de datos de cada estación de pesaje respecto al número de ejes que posee cada supercamión, se calculan medidas estadísticas para los supercamiones con misma cantidad de ejes para definir los más representativos:

- Pesos por eje: Se obtienen a partir del Percentil 95, siendo esta una medida conservadora dentro de los camiones analizados.
- Espaciamientos entre ejes: Se obtienen a partir de la Moda, la cual representa la configuración más común en los camiones analizados.

Se elaboran 30 supercamiones representativos para cada estación de pesaje, considerando ambas direcciones de tránsito y todas las longitudes de vano de análisis, definidos de manera independiente para momento flector y fuerza cortante. Estos se organizan en hojas de cálculo Excel según longitud de vano y dirección de tránsito, definiendo cada configuración por su número de ejes, pesos por eje y espaciamientos entre ejes. Esto permite identificar las configuraciones de supercamiones más frecuentes en cada estación de pesaje, para cada dirección de tránsito, y asociarlas con las longitudes de vano analizadas.

Los supercamiones con nueve ejes no se consideran para este análisis ya que es posible que algunos registros tengan más de esta cantidad de ejes, donde las estaciones de pesaje solo registran hasta los nueve ejes como máximo, lo que entrega información incompleta para esta configuración vehicular.

3.5 Efectos inducidos por supercamiones representativos y comparación con patrones de carga normativos

Una vez caracterizados los supercamiones más representativos, se escogen tres para cada estación y para cada dirección de tránsito, los cuales corresponderán a los que producen las solicitaciones máximas entre las diversas longitudes de vano analizadas. Estas se comparan con los patrones de diseño HL-93 y HS20-44+20%.

Según los criterios establecidos en las normas AASHTO Standard (2002) y AASHTO LRFD (2012) para el análisis de carga viva, se evalúa la razón de demanda entre las solicitaciones estructurales generadas por los supercamiones representativos y las demandas impuestas por los patrones de carga de diseño respectivos de cada normativa. Estas se comparan con los factores de carga viva de las combinaciones de carga de los estados límite de servicio I y resistencia I.

Respecto a la norma AASHTO LRFD, para mantener la verificación de resistencia I, la razón no debe superar el factor de carga viva correspondiente a 1.75. Para AASHTO Standard y los criterios del MOP, no se debe superar el factor de carga viva igual a 2.20. Respecto a servicio I, ambas normativas buscan que la razón no supere la unidad. Este criterio se emplea como indicador comparativo de la severidad de la carga viva real respecto de los modelos normativos de diseño. En este contexto, también se comparan los resultados obtenidos a partir de las combinaciones de carga definidas en cada normativa, aplicando el estado límite de resistencia II (AASHTO LRFD) y resistencia IB (AASHTO Standard), empleando los supercamiones representativos como patrones de carga viva. El objetivo es evaluar si dicha combinación resulta determinante (controla) para el diseño de puentes.

Se utilizan tres códigos Python para la obtención de las solicitaciones, los cuales son desarrollados y adaptados por el equipo del proyecto “FONDECYT Iniciación 11230092”. Estos simulan el paso de un camión de múltiples ejes sobre un puente simplemente apoyado, posicionándolo en diferentes puntos de un vano con el fin de determinar los máximos de momento y corte que producen en la estructura.

3.5.1 Código Python para cálculo de patrón de carga HL-93 (AASHTO LRFD 2012)

El código entrega los momentos flectores y fuerzas cortantes de diseño (HL-93) para un puente de diferentes longitudes simplemente apoyado, tanto sin impacto como con impacto, expresados en toneladas y metros. Calcula las solicitaciones considerando dos escenarios, controlando el caso de mayor magnitud.

3.5.2 Código Python para cálculo de patrón de carga HS20-44+20% (Manual de Carreteras Vol. 3 MOP)

El código entrega los momentos flectores y fuerzas cortantes de diseño (HS20-44+20%) para un puente de diferentes longitudes simplemente apoyado, tanto sin impacto como con impacto según las especificaciones del Manual de Carreteras, expresados en toneladas y metros. Incorpora el camión de diseño HS20-44, incrementando sus pesos por eje en un 20%. Calcula las solicitaciones considerando tres escenarios, controlando el caso de mayor magnitud.

3.5.3 Código Python para cálculo de camiones representativos

El código, desarrollado y adaptado por el equipo del proyecto FONDECYT, simula el paso de un camión de múltiples ejes sobre un puente simplemente apoyado, con el fin de determinar los máximos de momento y corte que este produce en la estructura.

El programa representa al camión como un conjunto de cargas concentradas (una por cada eje), separadas por las distancias reales entre ejes, y lo hace avanzar progresivamente a lo largo del vano del puente. En cada posición, se calcula los diagramas de fuerza cortante y momento flector mediante equilibrio estático, sumando los efectos individuales de cada eje para obtener el resultado total.

La simulación recorre todas las posiciones posibles del camión, desde que comienza a ingresar al puente hasta que sale completamente, registrando en cada paso los valores de las solicitaciones. De esta forma, el código identifica el momento flector y el esfuerzo cortante máximos generados por el vehículo a lo largo del tablero.

3.6 Conclusiones

La metodología empleada permite abordar el análisis de los efectos producidos por supercamiones sobre puentes, combinando el uso de registros reales de estaciones de pesaje con herramientas computacionales de simulación estructural. A través de la caracterización estadística de los vehículos y la elaboración de trenes de carga representativos, fue posible evaluar su influencia en términos de

momento flector y fuerza cortante, identificando aquellos supercamiones que generan las mayores sollicitaciones en distintas longitudes de vano.

El uso de bases de datos reales otorgó una representación real de la actualidad del transporte pesado en Chile, permitiendo identificar diferencias entre estaciones de pesaje y zonas del país, lo que evidencia variaciones en la magnitud y frecuencia de sobrecargas en el territorio nacional.

La implementación de los códigos en Python permitió automatizar el cálculo de las sollicitaciones y facilitar la comparación entre los supercamiones y los camiones de diseño normativos HL-93 y HS20-44+20%, considerando tanto el diseño por servicio como el de resistencia.

La metodología propuesta demuestra la utilidad del procesamiento masivo de datos vehiculares y la modelación simplificada para evaluar el impacto del transporte real sobre las estructuras de puente, aportando una base sólida para la toma de decisiones en los criterios de diseño estructural de puentes en Chile.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 Introducción

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de la metodología propuesta. Se incluye el análisis de frecuencia de camiones según la cantidad de ejes, respectivo de cada macrozona, por dirección de tránsito, longitud de vano y sollicitación correspondiente, como también la distribución de PBT.

Los datos se presentan a partir de tablas según cantidad de ejes, que resumen cada estación de pesaje con sus tres configuraciones más frecuentes, con su frecuencia relativa, estadísticas de PBT, momento flector y fuerza cortante, incluyendo la relación de demanda entre las sollicitaciones medias de los camiones analizados y las correspondientes a los patrones de carga normativos.

Finalmente, se presenta la comparación entre las sollicitaciones inducidas por los camiones representativos obtenidos y los patrones de carga normativos HL-93 y HS20-44+20%, comparando el nivel de exigencia con el que el tránsito real supera a los modelos de diseño. Se compara la combinación de carga de resistencia II en el formato LRFD y las disposiciones para vehículos sobrecargados del formato Standard con los supercamiones representativos obtenidos.

4.2 Análisis de datos

La Figura 4.1 presenta la cantidad de registros de supercamiones de cada estación disponible en ambas direcciones de tránsito.

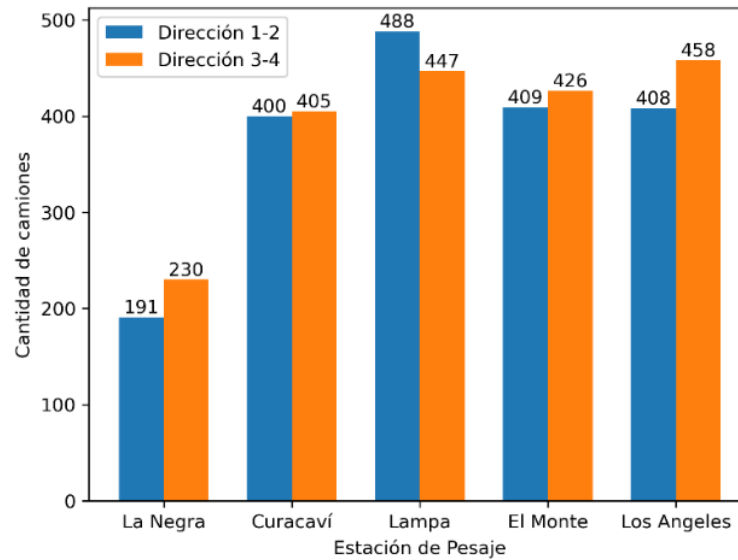


Figura 4.1 Cantidad de registros de supercamiones por estación de pesaje y dirección de tránsito

La estación “La Negra” corresponde a la zona norte, mientras que las estaciones de “Curacaví”, “Lampa” y “El Monte” se agrupan como zona centro, y la estación de “Los Ángeles” representa a la zona sur.

La cantidad de supercamiones extraídos de la base de datos es de aproximadamente 400 vehículos por dirección, excepto en “La Negra”, donde se extrajeron alrededor de 200 supercamiones en cada dirección. Existe una cantidad similar de datos en ambas direcciones de tránsito en cada estación de pesaje, lo que permite un análisis equilibrado.

Para efecto de ciertos análisis se agruparon las tres estaciones del centro, donde los resultados corresponderán a la caracterización de alrededor de 1200 supercamiones por dirección.

4.3 Análisis de frecuencia de camiones para momento flector según zona geográfica

Las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4 muestran la distribución de frecuencias de supercamiones, según número de ejes, para el análisis de momento flector en la zona norte, centro y sur, para la dirección 1-2, considerando todos los resultados obtenidos de las longitudes de vano analizadas.

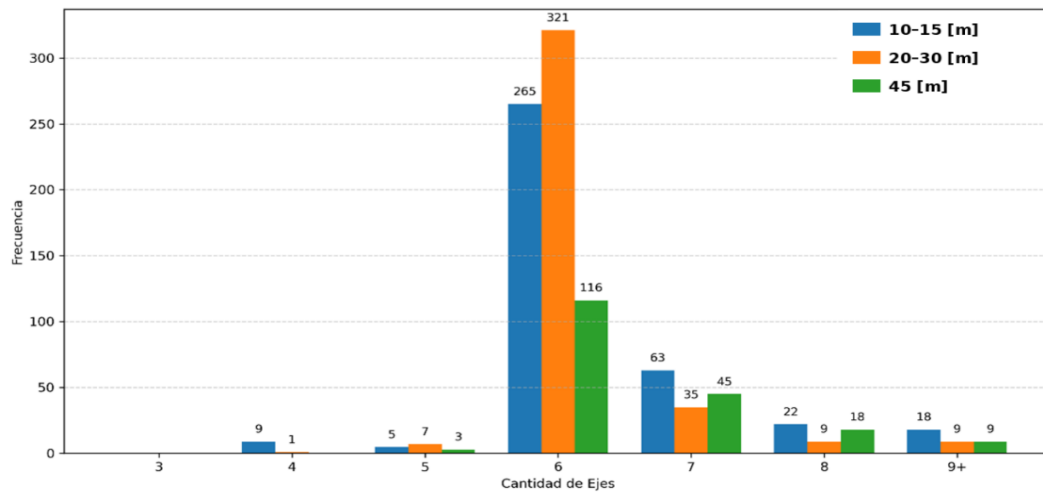


Figura 4.2 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona norte dirección 1-2

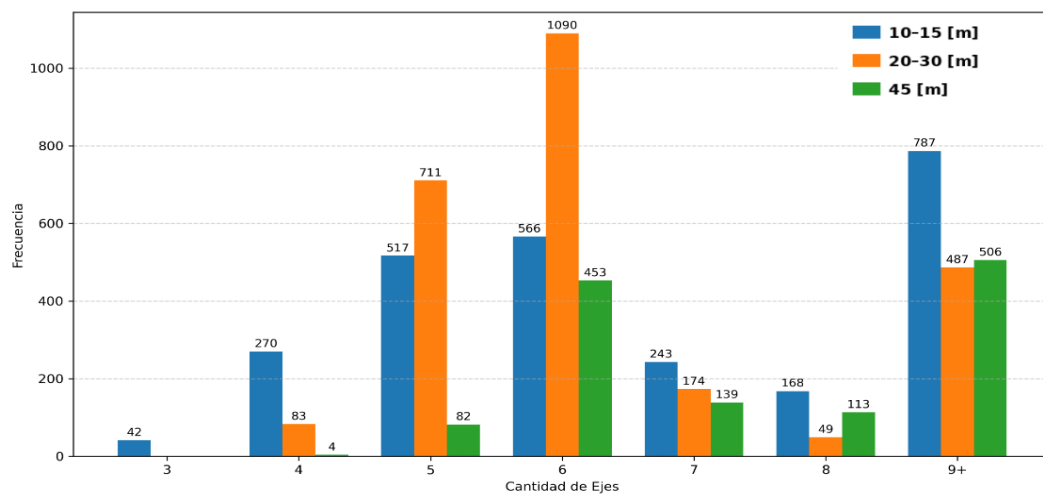


Figura 4.3 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona centro dirección 1-2

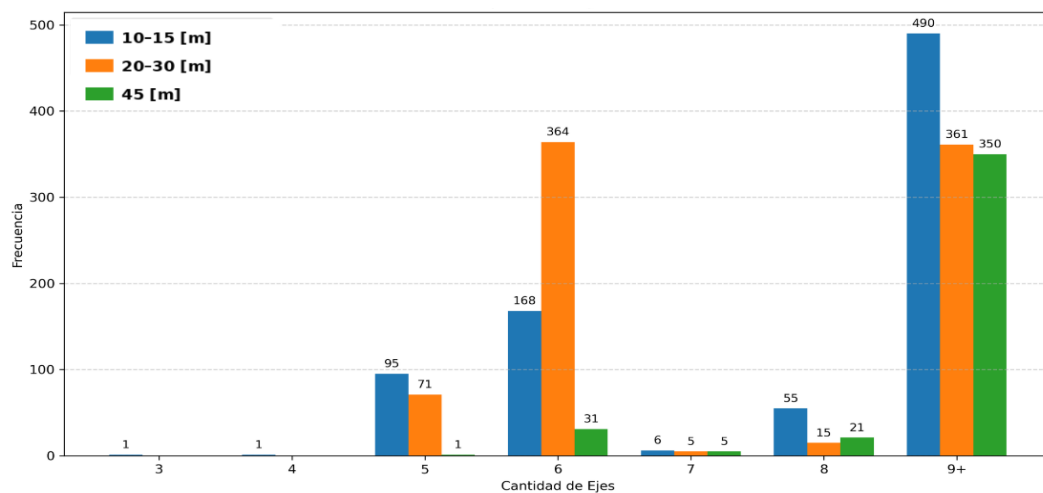


Figura 4.4 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona sur dirección 1-2

Se evidencia diferencias en la distribución de frecuencias de supercamiones según la zona geográfica. En la zona norte, predomina la configuración de 6 ejes. La zona centro presenta una mayor heterogeneidad de configuraciones. En la zona sur, la mayor parte de los camiones se concentra en configuraciones de 9 o más ejes, evidenciando un tránsito de camiones largos. Dada la limitación de los datos disponibles, este grupo de vehículos no se caracteriza.

En el Anexo 4.1, se presentan las mismas figuras respecto a la dirección 3-4. Se evidencian patrones de distribución de frecuencia similares a los observados en la dirección 1-2, con leves diferencias en las frecuencias, pero manteniendo las tendencias observadas.

En el Anexo 4.6 se presentan tablas con los resultados estadísticos detallados de caracterización para cada configuración de ejes, incluyendo frecuencias, valores medios de PBT y momentos flectores obtenidos para cada longitud de vano.

4.4 Análisis de frecuencia de camiones para fuerza cortante según zona geográfica

Las Figuras 4.5, 4.6 y 4.7 muestran la distribución de frecuencias de camiones para el análisis de fuerza cortante en la zona norte, centro y sur, para la dirección 1-2, considerando todos los resultados obtenidos de las longitudes de vano analizadas.

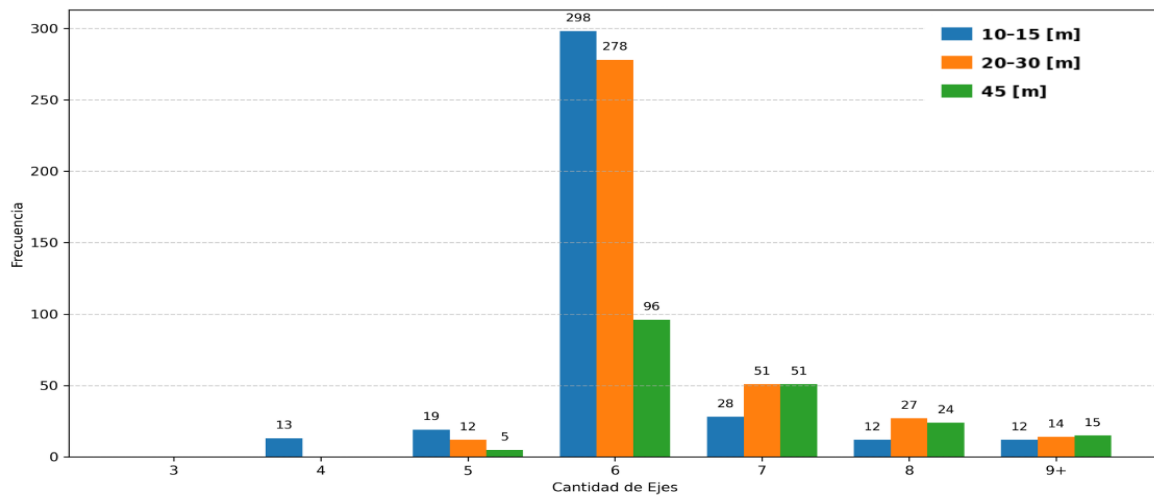


Figura 4.5 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona norte dirección 1-2

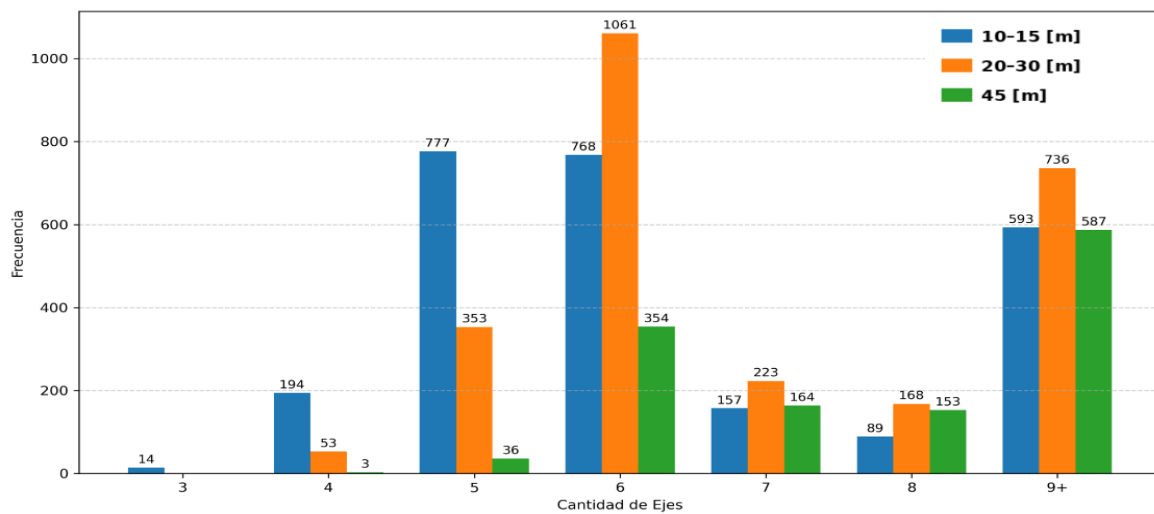


Figura 4.6 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona centro dirección 1-2

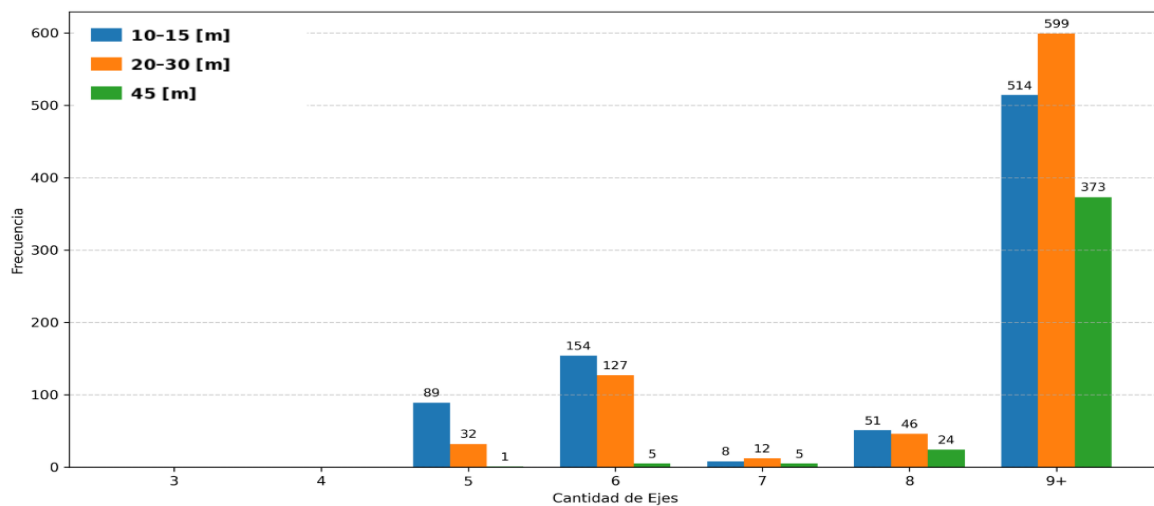


Figura 4.7 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes – Zona sur dirección 1-2

Para fuerza cortante se evidencian las mismas tendencias respecto a las obtenidas para los supercamiones registrados para momento flector.

En el Anexo 4.1 se presentan las mismas figuras respecto a la dirección 3-4, donde los patrones se repiten de manera similar que la otra dirección de tránsito, variando levemente las frecuencias, pero manteniendo las tendencias presentadas.

En el Anexo 4.6 se presentan tablas con los resultados estadísticos detallados de caracterización para cada configuración de ejes, incluyendo frecuencia, valores medios de PBT y fuerzas cortantes obtenidas para cada longitud de vano.

4.5 Distribución de peso bruto total (PBT)

Las Figuras 4.8, 4.9 y 4.10 entregan las distribuciones de PBT de los supercamiones registrados en cada macrozona, diferenciando los casos respecto de momento flector y fuerza cortante. Los registros de cada estación de pesaje se agrupan según su ubicación geográfica, igual que los puntos anteriores. Se evidencia que la distribución de PBT para momento y corte son similares en todas las estaciones. Se observa que la distribución de PBT es distinta según la ubicación, siendo similares la zona norte y la zona centro, pero distinta a la obtenida en la zona sur.

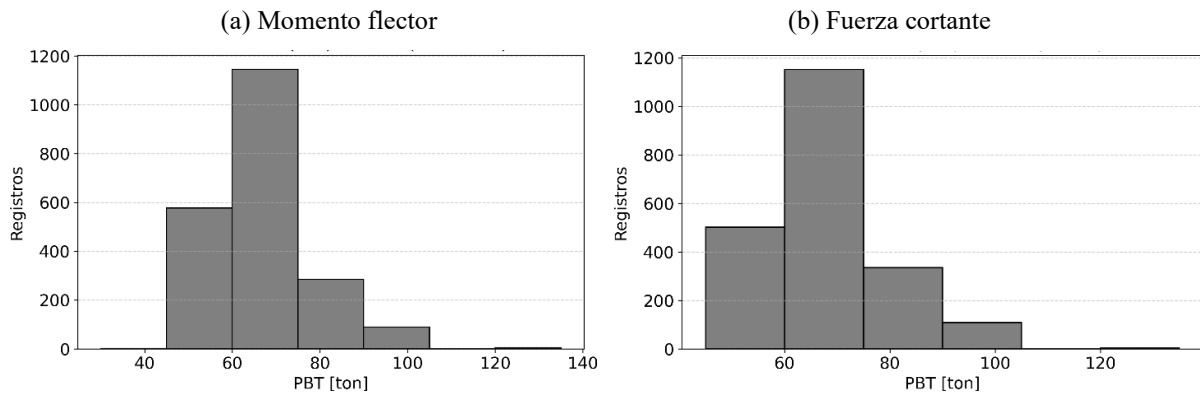


Figura 4.8 Distribución de PBT para zona norte

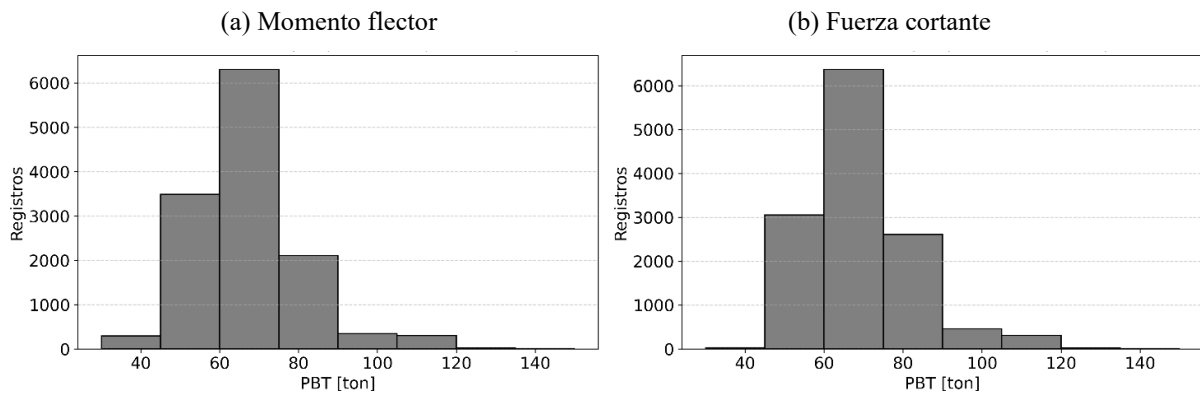


Figura 4.9 Distribución de PBT para zona centro

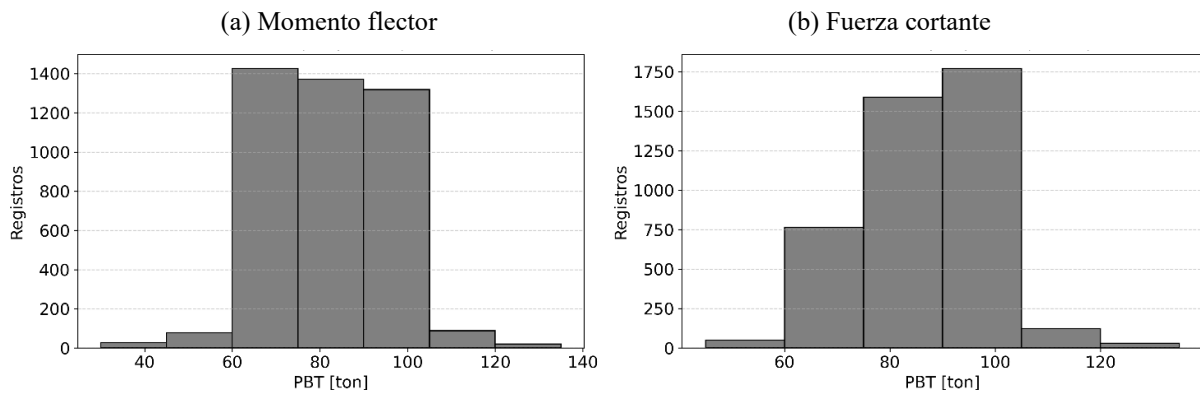


Figura 4.10 Distribución de PBT para zona sur

La Tabla 4.1 entrega la información detallada de las estadísticas de los registros de supercamiones por zona:

Tabla 4.1 Distribución de PBT en toneladas según zona

ZONA	NORTE		CENTRO		SUR	
Solicitud (*)	<i>M</i>	<i>V</i>	<i>M</i>	<i>V</i>	<i>M</i>	<i>V</i>
Registros	2105		12875		4330	
Mínimo	44.0	45.4	32.3	37.4	38.8	57.0
Máximo	126.0	126.0	148.9	148.9	124.2	124.2
Media	66.9	68.1	67.3	69.2	82.0	86.4
Desv. est	10.7	11.1	13.5	13.5	13.3	11.9
COV (%)	16	16	20	20	16	14

**M* corresponde a momento flector y *V* a fuerza cortante.

Los valores máximos de PBT se registran en la zona centro. Las medias de la zona norte y centro presentan comportamientos similares, mientras que la zona sur evidencia las superiores. Por su parte, el COV se sitúa entre un 14% y un 20%, alcanzando el máximo en la zona centro.

Los resultados indican que las diferencias en el PBT se asocian a la zona geográfica y no al tipo de solicitud.

4.6 Caracterización y elaboración de supercamiones representativos

Se generan hojas de cálculo Excel organizadas por longitud de vano y sentido de circulación, en las que se entregan los supercamiones representativos definidos para cada estación de pesaje. En ellas, cada configuración se describe mediante su número de ejes, pesos por eje y espaciamientos entre ejes. Esto permite visualizar y comparar las configuraciones predominantes de cada estación de pesaje. También permite identificar aquellas configuraciones que son más frecuentes respecto a la longitud de vano de interés. De esta forma, las planillas constituyen una herramienta práctica para la definición de vehículos especiales a considerar en la combinación de carga de resistencia II. Esta información es útil para el diseño y evaluación de puentes específicos, al permitir emplear supercamiones representativos basados en datos reales de tránsito. Esta información se puede solicitar al autor.

Cada esquema presenta las configuraciones de los camiones, entregando pesos por ejes y espaciamientos entre ellos.

La Figura 4.11 entrega la codificación correspondiente de cada camión.

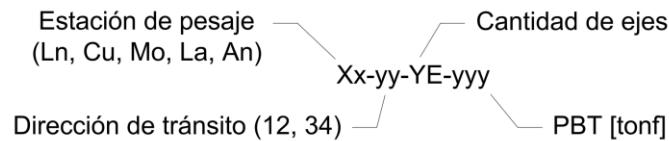


Figura 4.11 Formato de identificación de supercamiones representativos

Para ejemplificar las características de los supercamiones representativos obtenidos se realizan dos tipos de comparaciones: (a) Comparación de supercamiones representativos de una estación en ambas direcciones, y (b) Comparación entre supercamiones representativos de estaciones ubicadas en la Ruta 5 en una dirección de tránsito.

4.6.1 Supercamiones representativos de una estación en ambas direcciones

Para ejemplificar, se presentan los supercamiones representativos para momento flector correspondientes a la estación de pesaje de “El Monte” en ambas direcciones de tránsito para evaluar si las características de los supercamiones varían según la dirección de tránsito en una misma estación de pesaje.

Las Figuras 4.12, 4.13 y 4.14 presentan los supercamiones representativos para la dirección de tránsito 1-2.

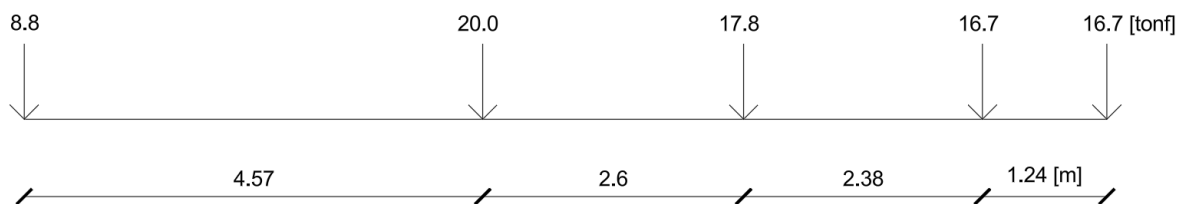


Figura 4.12 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-12-5E-80) en dirección 1-2

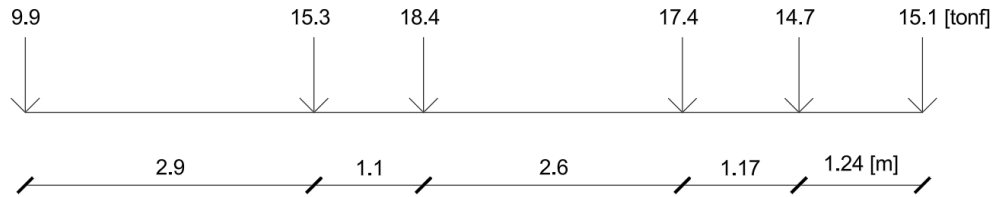


Figura 4.13 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-12-6E-91) en dirección 1-2

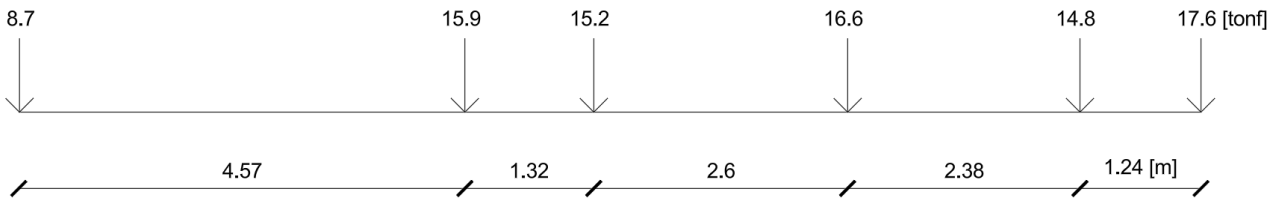


Figura 4.14 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-12-6E-89) en dirección 1-2

Las Figuras 4.15, 4.16 y 4.17 presentan los supercamiones representativos para la dirección de tránsito 3-4.

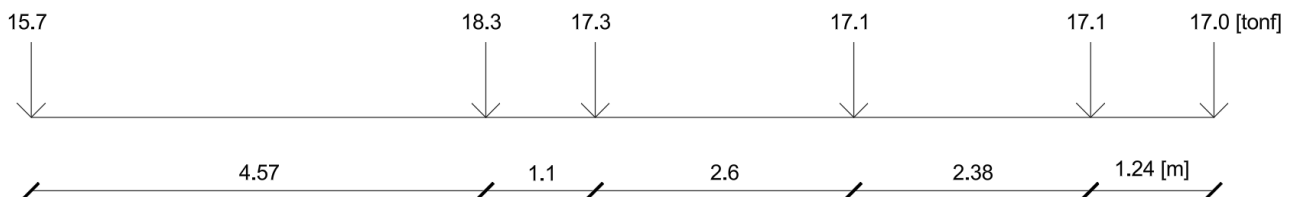


Figura 4.15 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-34-6E-102) en dirección 3-4



Figura 4.16 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-34-6E-104) en dirección 3-4

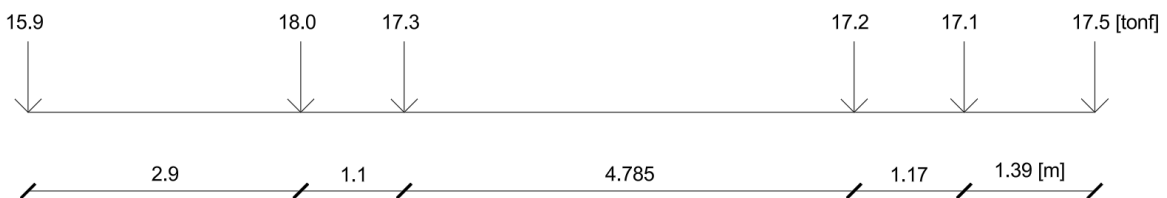


Figura 4.17 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-34-6E-103) en dirección 3-4

En la dirección 1-2 se observan configuraciones de 5 y 6 ejes, cuyos PBT alcanzan un máximo de 91 toneladas. En la dirección 3-4, la configuración crítica también corresponde a 6 ejes, sin embargo, presenta PBT mayores, superando las 100 toneladas. También se identifican diferencias en los espaciamientos entre ejes para mismas configuraciones. Esta diferencia se presenta tanto para los supercamiones representativos de momento como para los de cortante.

Esta tendencia se observa en todas las estaciones de pesaje, manteniendo configuraciones vehiculares similares en ambas direcciones, pero presentando diferencias en PBT, distribución de cargas y los espaciamientos entre ejes según la dirección de tránsito.

4.6.2 Supercamiones representativos de estaciones ubicadas en la ruta 5 en una dirección de tránsito

Se comparan los supercamiones representativos de las estaciones de pesaje correspondientes a las ubicadas en la ruta 5. Para la comparación se utilizan supercamiones representativos obtenidos del análisis para fuerza cortante en la dirección 1-2.

Las Figuras 4.18, 4.19 y 4.20 presentan los supercamiones representativos de la estación de La Negra en la dirección 1-2.

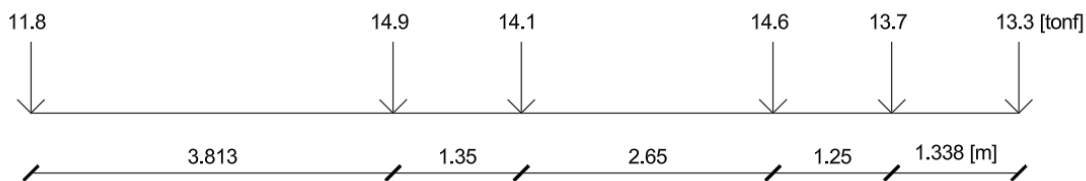


Figura 4.18 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-6E-83) en dirección 1-2

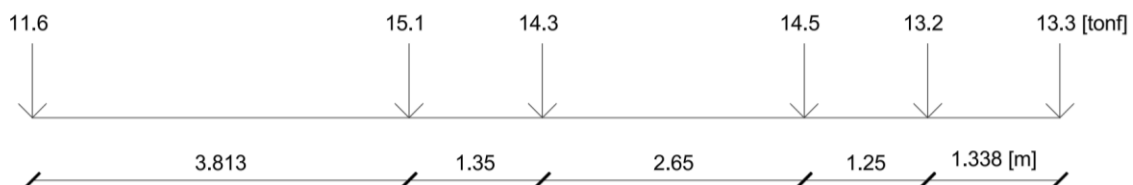


Figura 4.19 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-6E-82) en dirección 1-2

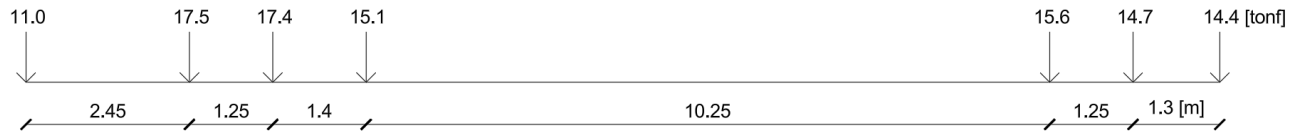


Figura 4.20 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-7E-106) en dirección 1-2

Las Figuras 4.21, 4.22 y 4.23 presentan los supercamiones representativos de la estación de Lampa en la dirección 1-2.

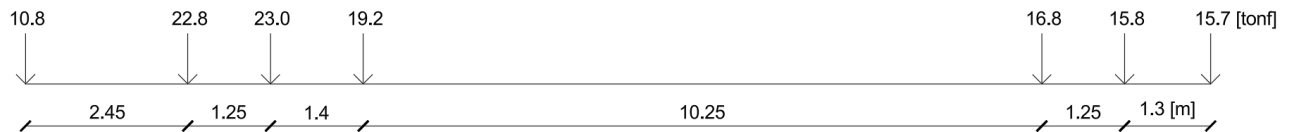


Figura 4.21 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-12-7E-124) en dirección 1-2

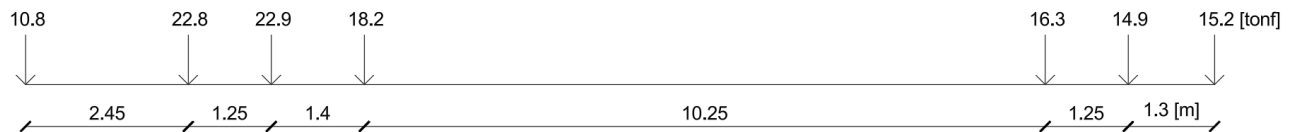


Figura 4.22 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-12-7E-121) en dirección 1-2

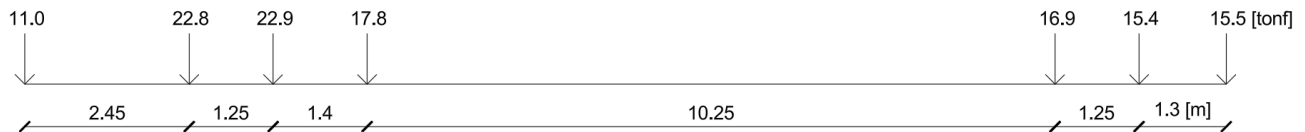


Figura 4.23 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-12-7E-122) en dirección 1-2

Las Figuras 4.24, 4.25 y 4.26 presentan los supercamiones representativos de la estación de Los Ángeles.

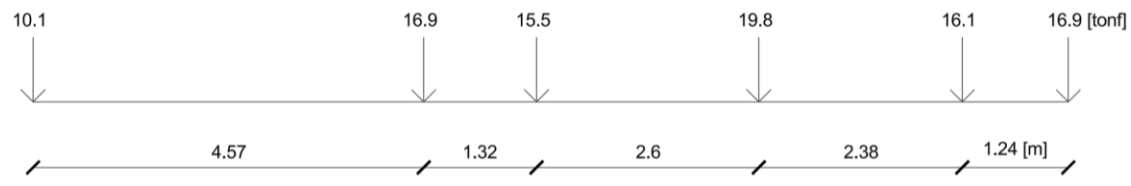


Figura 4.24 Supercamión representativo de estación “Los Ángeles” (An-12-6E-95) en dirección 1-2

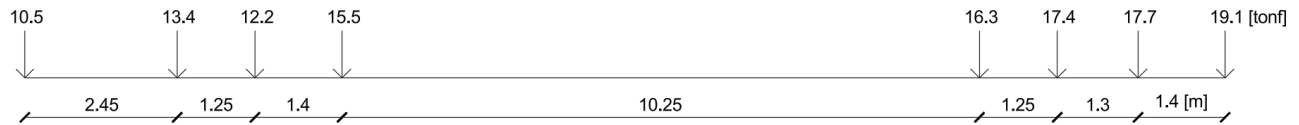


Figura 4.25 Supercamión representativo de estación “Los Ángeles” (An-12-8E-122) en dirección 1-2

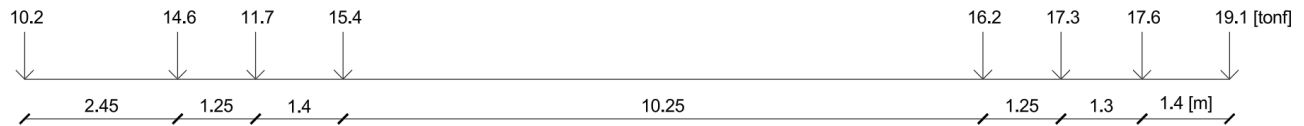


Figura 4.26 Supercamión representativo de estación “Los Ángeles” (An-12-8E-123) en dirección 1-2

La estación de pesaje “La Negra” presenta dos configuraciones representativas de 6 ejes y una de 7 ejes. Estos vehículos predominan en la zona norte. En la estación de “Lampa” se identifican tres supercamiones representativos prácticamente idénticos de 7 ejes, con PBT elevados que alcanzan un máximo de 124 toneladas. La estación de “Los Ángeles” presenta configuraciones de 6 y 8 ejes, lo que respalda la alta frecuencia de camiones de gran longitud en la zona sur, con PBT que alcanzan hasta 123 toneladas.

Se evidencian diferencias entre las tres macrozonas, principalmente en la magnitud de PBT. En “Lampa” y “Los Ángeles” se observan valores elevados y similares entre sí, mientras que “La Negra” presenta magnitudes menores. Las tres estaciones muestran configuraciones vehiculares distintas, asociado a las características de las actividades económicas y logísticas predominantes durante el período de registro de los datos.

Respecto a los supercamiones representativos para momento flector, la tendencia de los resultados se mantiene, tanto para ambas direcciones de tránsito como para todas las estaciones de pesaje. Este análisis evidencia que la presencia de ciertas configuraciones y las magnitudes que movilizan dependen de cada macrozona.

El Anexo 4.2 y 4.3 presentan las configuraciones de supercamiones representativos correspondientes a las demás estaciones de pesaje analizadas, para momento flector y fuerza cortante, respectivamente.

4.7 Efectos inducidos por supercamiones versus patrones de carga normativos

Se presentan los efectos de momento flector y fuerza cortante inducidos por los camiones representativos para cada estación de pesaje y se comparan con los patrones de carga normativos HL-93 y HS20-44+20% en distintas longitudes de vano, desde 10 hasta 45 m.

Se presentan gráficos de solicitaciones máximas en función de la luz de vano, comparando las magnitudes generadas por los supercamiones representativos con las obtenidas a partir de los patrones normativos. Se incluyen gráficos de razón de demanda, definida como el cociente entre la solicitación inducida por cada supercamión y la correspondiente a los patrones de carga HL-93 y HS20-44+20% (en ambos patrones se incluye factor de impacto correspondiente). Esto permite evaluar si dichas solicitaciones superan los estados límite normativos, mediante su comparación con los factores de carga viva de las combinaciones de carga para servicio I y resistencia I, establecidos en el Manual de Carreteras (2023) y AASHTO LRFD (2012).

Para ejemplificar las solicitaciones obtenidas por los supercamiones se realizan tres tipos de comparaciones: (a) Comparación entre momento y corte de una estación, (b) Comparación entre ambas direcciones de una estación, y (c) Comparación de una dirección de estaciones ubicadas en la Ruta 5.

4.7.1 Comparación entre momento y corte de una estación

Para ejemplificar, las Figuras 4.27 y 4.28 presentan los gráficos comparativos entre las solicitaciones de los supercamiones representativos para momento flector y fuerza cortante de la estación de pesaje de “Curacaví”, respectivamente, en su dirección 1-2, y las solicitaciones obtenidas a partir de los patrones de carga normativos.

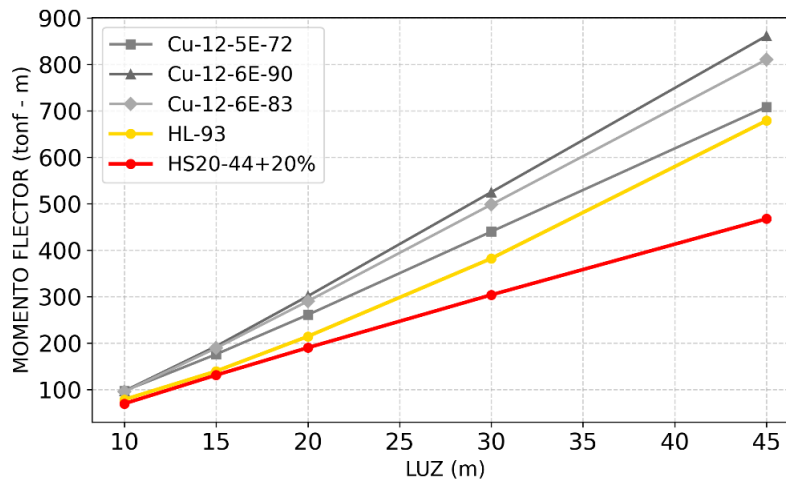


Figura 4.27 Momentos flectores de supercamiones representativos de Curacaví y patrones de carga normativos

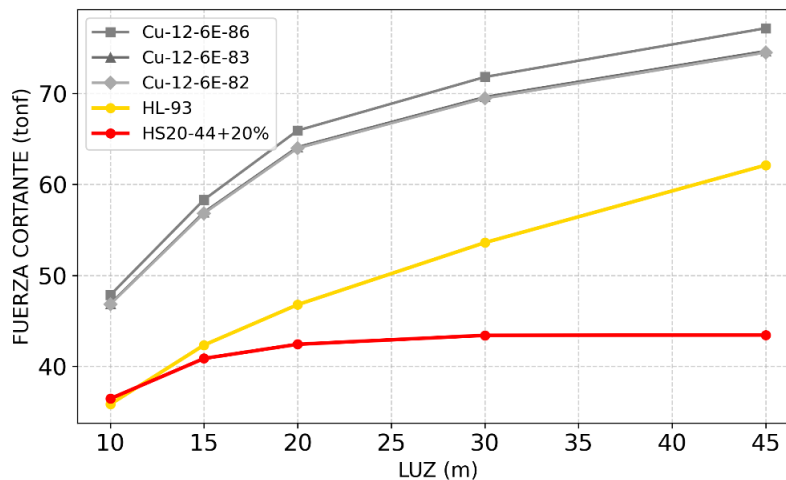


Figura 4.28 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de Curacaví y patrones de carga normativos

Las solicitaciones inducidas por los supercamiones representativos superan las establecidas por la normativa vigente, tanto para momento como en cortante. Esta estación en particular presenta mayor diferencia para el caso de la fuerza cortante. Los resultados indican que los supercamiones tienden a exceder las demandas consideradas por la normativa.

La Figura 4.29 hasta la Figura 4.32 presentan las razones de demanda obtenidas y su comparativa frente a los estados límites de servicio I y resistencia I.

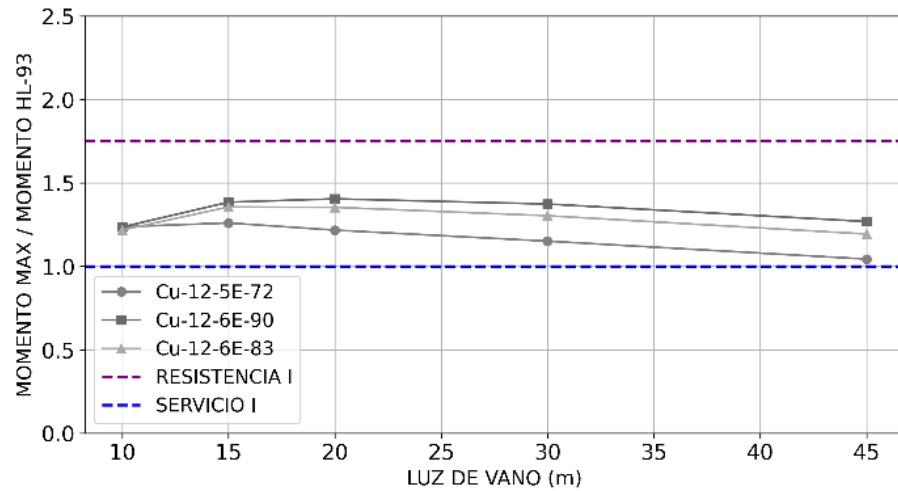


Figura 4.29 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de Curacaví y HL-93

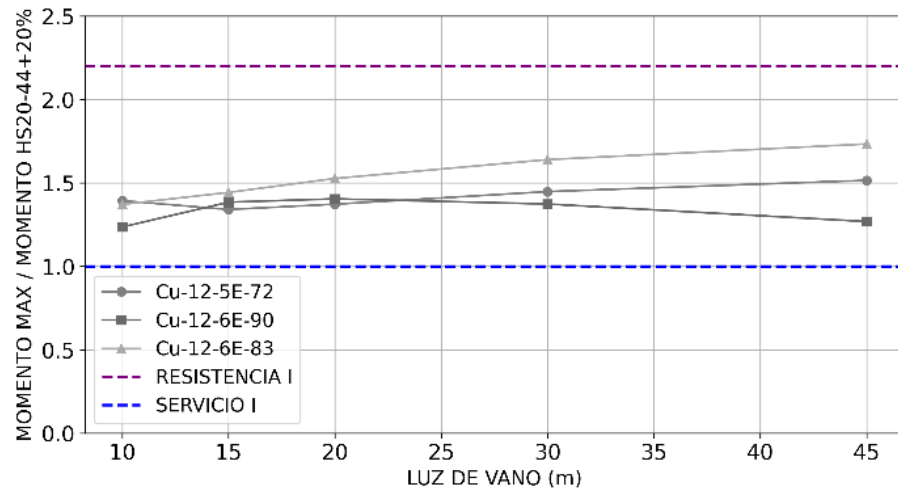


Figura 4.30 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de Curacaví y HS20-44+20%

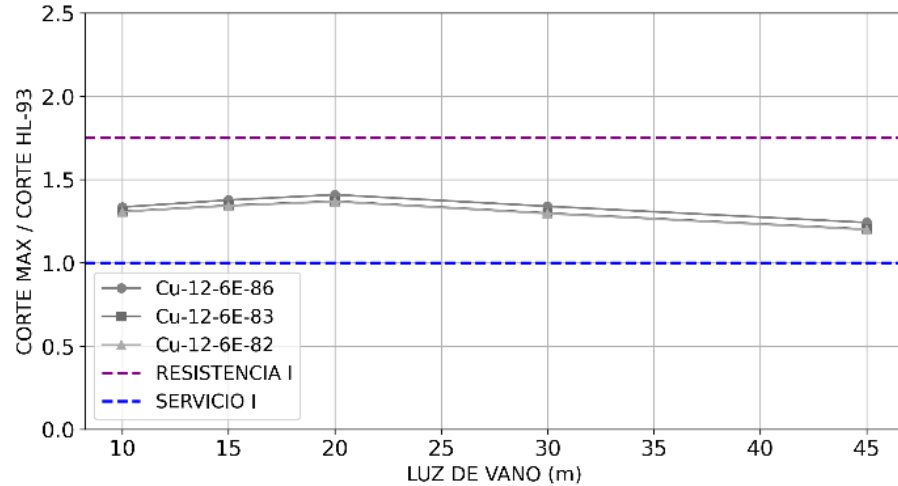


Figura 4.31 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de Curacaví y HL-93

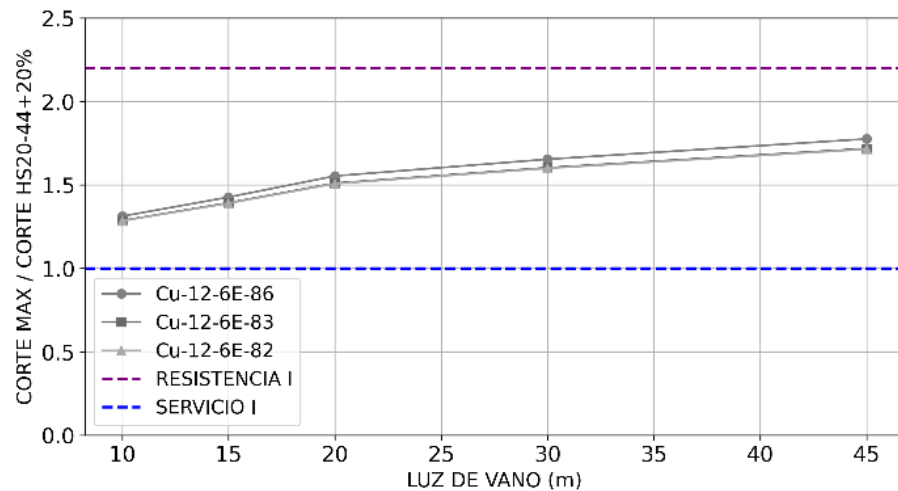


Figura 4.32 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de Curacaví y HS20-44+20%

El comportamiento observado ocurre para todas las estaciones de pesaje. Esta situación se refleja con mayor claridad en las razones de demanda, las cuales muestran que los supercamiones representativos superan el estado límite de servicio I, mientras que se mantienen por debajo o cercanos al estado límite de resistencia I.

Se identifican cuatro casos donde se supera el estado límite de resistencia I: para momento flector, Lampa (dirección 1-2) asociados a HL-93 en 10 m y HS20-44+20% en 45 m; y en corte, en Lampa, Los Ángeles (dirección 1-2) y La Negra (dirección 3-4), asociados a HS20-44+20% en vanos largos. Se observa que las mayores razones de demanda para HL-93 ocurren en vanos cortos, mientras que

para HS20-44+20% se presentan en vanos largos, evidenciando que la respuesta estructural depende tanto de la longitud de vano como del patrón de carga. La superación del estado límite de resistencia I implica que las solicitaciones exceden la capacidad resistente de diseño, aumentando la probabilidad de falla estructural en puentes.

4.7.2 Comparación entre ambas direcciones de una estación

Para ejemplificar, las Figuras 4.33 y 4.34 presentan las razones de demanda de corte de la estación de “El Monte” en ambas direcciones de tránsito, para analizar cómo se comportan las solicitaciones según el sentido en el que se dirige la carga transportada.

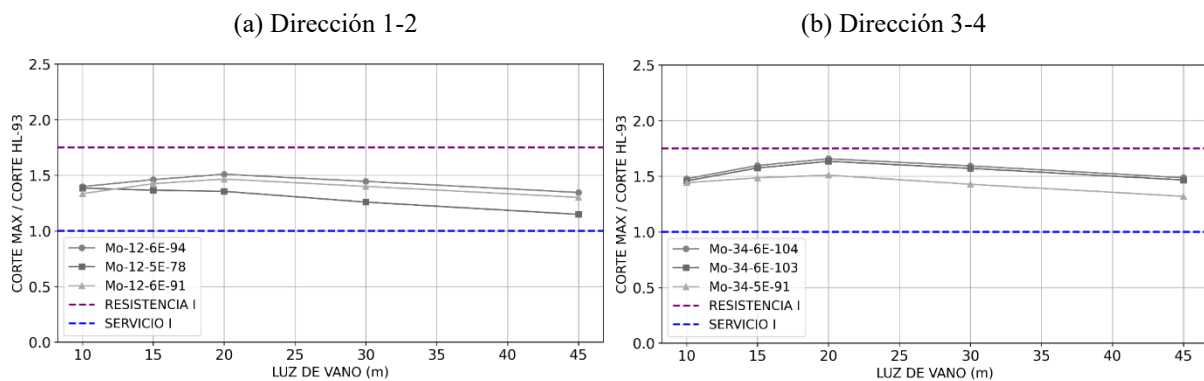


Figura 4.33 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “El Monte” y HL-93

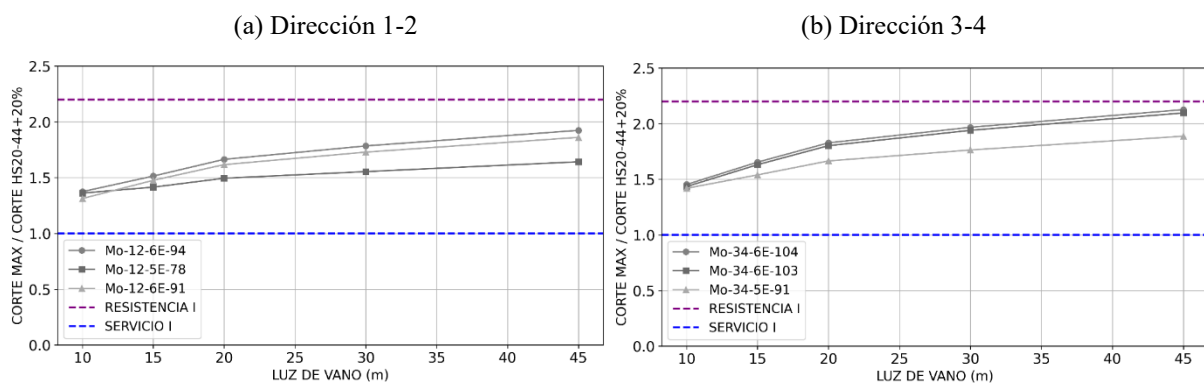


Figura 4.34 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “El Monte” y HS20-44+20%

En ambas direcciones de tránsito se identifican configuraciones de supercamiones de 5 y 6 ejes. La principal diferencia es el PBT, donde son mayores para la dirección 3-4. Esto indica que a pesar de

que las configuraciones sean iguales, el PBT varía según la dirección de tránsito, observándose la misma tendencia en todas las estaciones de pesaje.

Respecto a los patrones de carga de diseño, la estación de “La Negra” presenta una tendencia similar a “El Monte”, donde los patrones amortiguan mejor para camiones que se alejan de Santiago. Para las estaciones de “Curacaví”, “Lampa” y “Los Ángeles” los modelos normativos amortiguan más las solicitaciones cuando los camiones se dirigen hacia Santiago, evidenciando que la dirección más crítica en términos de solicitaciones depende de la macrozona analizada, donde cada estación posee una dirección predominante que controla las condiciones de diseño.

4.7.3 Comparación entre estaciones de pesaje ubicadas en la ruta 5

Se presentan los resultados obtenidos de las estaciones de pesaje que se encuentran ubicadas en la ruta 5. Para ejemplificar, la Figura 4.35 hasta la Figura 4.37 presentan las razones de demanda de momento flector de cada estación en la dirección 1-2, respecto al patrón de carga normativo HL-93. El patrón de carga HS20-44+20% sigue la misma tendencia.

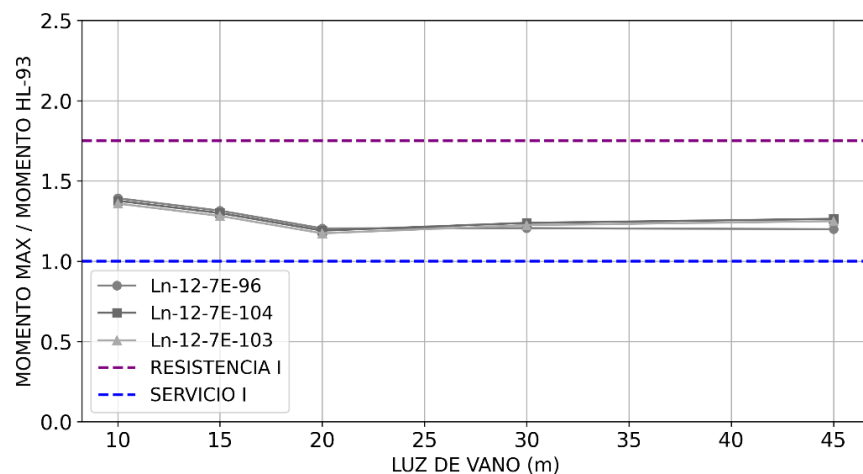


Figura 4.35 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de La Negra y HL-93

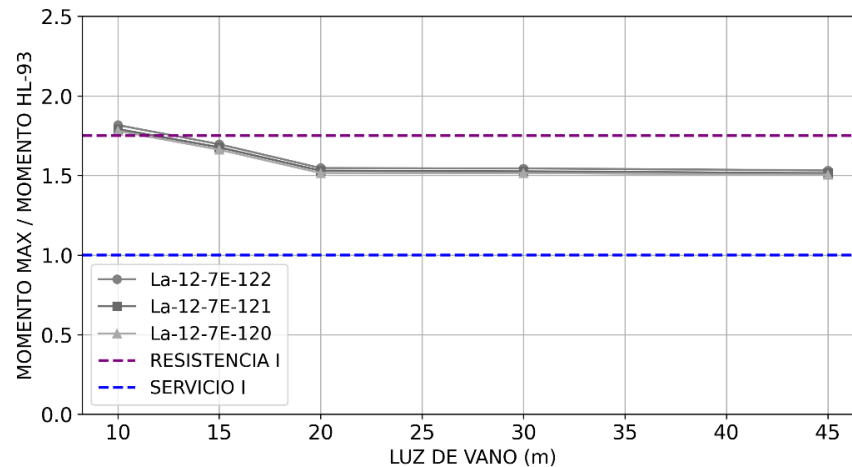


Figura 4.36 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de Lampa y HL-93

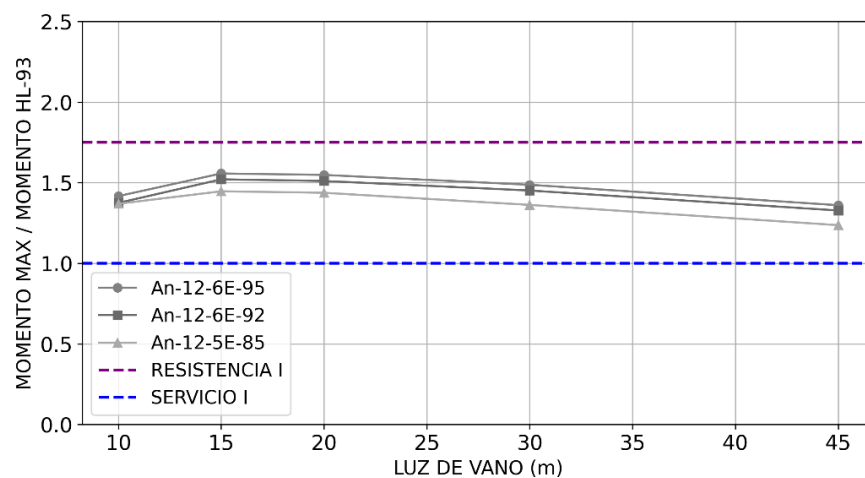


Figura 4.37 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de Los Ángeles y HL-93

La estación “La Negra” registra las menores razones de demanda, lo que indica una mayor capacidad de los patrones normativos para amortiguar las solicitudes. En “Los Ángeles” se observa un comportamiento intermedio, con valores superiores a los del norte, pero inferiores a los de la zona central. Por su parte, “Lampa” representa el escenario más crítico, con las mayores razones, evidenciando una menor capacidad de amortiguación, alcanzando valores que incluso superan el estado límite de resistencia I. Esta variación evidencia que la evaluación estructural de puentes no debe asumir un tráfico homogéneo a nivel nacional, sino que requiere considerar patrones de carga respectivos de cada macrozona.

Los Anexos 4.4 y 4.5 presentan los gráficos con los resultados obtenidos para las demás estaciones de pesaje, para momento flector y fuerza cortante, respectivamente.

4.8 Evaluación de supercamiones en combinaciones de carga

Considerando la combinación de carga de resistencia II en el formato LRFD y las disposiciones para vehículos sobrecargados del formato STD, la inclusión de los supercamiones en el diseño de puentes puede resultar en un diseño más exigente (puede controlar el diseño). En la Figura 4.38 se presenta un ejemplo considerando diseño a flexión para un puente de 15 m en base al supercamion de 8 ejes identificado en la estación de “El Monte” para dirección 3-4. En la Figura 4.38a se muestra el momento flector producto del patrón de carga HL-93, sin incluir impacto, amplificado por su factor de carga 1.75, comparado con el momento producto del supercamión amplificado por su factor de carga correspondiente 1.35. Se observa que el caso del supercamión amplificado supera la demanda amplificada de HL-93. En la Figura 4.38b se muestra el momento flector producto del patrón de carga HS20-44+20%, sin incluir impacto, amplificado por su factor de carga 1.3×1.67 , comparado con el momento producto del supercamión amplificado por su factor de carga correspondiente 1.30. Se observa que el caso del supercamión amplificado supera la demanda amplificada de HS20-44+20%.

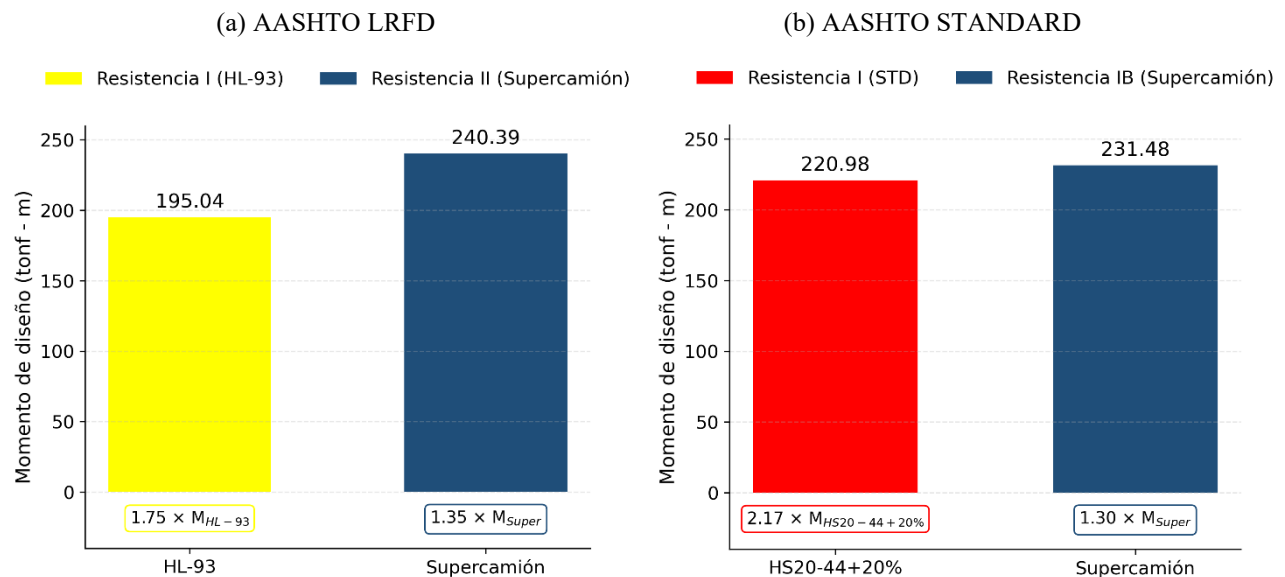


Figura 4.38 Evaluación de momento de diseño según combinaciones de carga

En ambas normativas la combinación de carga asociada al supercamión (resistencia II o IB, según corresponda) controla el diseño por sobre la combinación de resistencia I. Esto indica que los supercamiones pueden controlar el diseño de puentes. Se valida la necesidad de incorporar la verificación de resistencia II en el proceso de diseño.

4.9 Conclusiones

El análisis desarrollado en este capítulo permite caracterizar el tránsito de estos supercamiones, identificando las configuraciones vehiculares predominantes de cada macrozona y su influencia en las sollicitaciones estructurales de puentes. Los resultados evidencian diferencias relevantes entre las zonas geográficas analizadas, observando una predominancia de camiones de 6 ejes en la zona norte, una mayor diversidad de configuraciones en la zona centro, y una mayor presencia de camiones de 9 o más ejes en la zona sur.

Se observa que la zona norte presenta valores medios de PBT cercanos a 68 toneladas, similar a la zona centro, la cual muestra mayor dispersión, con máximos cercanos a 150 toneladas. La zona sur concentra los mayores valores de PBT, con medias de hasta 88 toneladas, lo que evidencia una frecuencia mayor de supercamiones con PBT altos a comparación de las demás zonas.

A partir de esta caracterización se definieron supercamiones representativos, los cuales permiten evaluar las sollicitaciones máximas de momento flector y fuerza cortante para diferentes longitudes de vano. Los resultados muestran que estos supercamiones generan sollicitaciones superiores a las consideradas en los modelos normativos respecto al estado límite de servicio I y existen casos donde superan el estado límite de resistencia I. Respecto a resistencia II y resistencia IB, se evidencia que los supercamiones controlan por sobre las combinaciones de carga estándar o referidas a tráfico normal. Esto valida la necesidad de incorporar la verificación de ambas combinaciones de carga en el proceso de diseño.

Se identifica que la dirección de tránsito como la macrozona influyen en los resultados obtenidos. A nivel local, cada estación presenta una dirección predominante que controla las sollicitaciones más

desfavorables, mientras que, a nivel global, las diferencias entre macrozonas reflejan la influencia de las actividades productivas y logísticas propias de cada territorio en los años de estudio.

Los resultados indican que los patrones de carga normativos utilizados no representan de manera uniforme las condiciones reales impuestas por supercamiones a nivel nacional. Se concluye que la variabilidad en configuraciones vehiculares, magnitudes de carga y efectos estructurales está fuertemente condicionada por la macrozona. En este contexto, se recomienda definir patrones de carga específicos por macrozona, o evaluar la implementación de un modelo representativo a nivel nacional, incorporando datos reales de tránsito para que sean representativos del tráfico chileno. Esto permite mejorar la precisión en la estimación de demandas y optimizar los criterios de diseño para puentes.

Se propone modificar el sistema de registro y almacenamiento de la medición de espaciamientos entre ejes de los camiones en las estaciones de pesaje, para utilizar registros reales y aumentar la representatividad de los datos.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo por objetivo analizar las solicitudes generadas por supercamiones en puentes para vanos entre 10 y 45 m, mediante la definición de vehículos representativos contruidos a partir de configuraciones de ejes y magnitudes de carga reales obtenidas de estaciones de pesaje en distintas zonas de Chile. Con ello se logró caracterizar y evaluar las demandas producidas por los supercamiones.

Los resultados indicaron diferencias significativas entre las zonas estudiadas, tanto en configuraciones vehiculares (número de ejes y espaciamentos) como en magnitudes de carga (por eje y total). En la estación de la zona norte predominó el tránsito de supercamiones de 6 ejes; en las estaciones de la zona centro predominó el tránsito de supercamiones de 5, 6 y 9 ejes, y en la estación de la zona sur predominaron los de 9 ejes o más. Con respecto al PBT, los máximos se detectaron en la zona centro, aproximadamente 150 ton, mientras en las zonas norte y sur, los máximos son similares alcanzando aproximadamente 125 ton. La media de PBT de los supercamiones fue mayor en la zona sur, aproximadamente 85 ton, mientras en las zonas norte y centro, las medias son similares de aproximadamente 68 ton. La dispersión del PBT de los supercamiones fue mayor en la zona centro, con coeficiente de variación (COV) del 20% y cercanas al 15% en las zonas norte y sur. La dirección de tránsito no influyó significativamente en las configuraciones predominantes de supercamiones (respecto a número de ejes). Se concluyó que las características de los supercamiones y los niveles de carga están fuertemente condicionadas por la ubicación geográfica.

Se lograron representar las configuraciones más frecuentes de cada estación, reduciendo a 300 supercamiones representativos los aproximadamente 4000 registros originales. Estos 300 supercamiones representativos son una herramienta para el diseño y evaluación de puentes. Diseñadores de puentes y autoridades técnicas competentes pueden utilizar la base de datos generada para seleccionar el supercamión apropiado para una condición de diseño dada (localización, solicitud, dirección de tránsito y longitud de vano).

Los resultados de momento flector y fuerza cortante obtenidos mostraron que la zona norte presenta las solicitudes menos exigentes, la zona centro las máximas y la zona sur presenta solicitudes

intermedias. Esto evidenció que las solicitudes no son homogéneas a nivel nacional, por lo que se recomienda que el análisis de puentes debe ser diferenciado para cada zona del país.

A partir de las solicitudes generadas por los supercamiones representativos envolventes, se realizó su comparación con los patrones de carga de diseño HL-93 y HS20-44+20%. Para todas las longitudes de vano analizadas, las solicitudes producidas por dichos supercamiones resultaron superiores a las normativas, excediendo el estado límite de servicio I, evidenciando potenciales efectos negativos en el nivel de servicio de los puentes. En cuanto al estado límite de resistencia I, la mayoría de las solicitudes se mantuvo por debajo, pero existen casos donde se superaron. En términos de momento flector, en la estación de “Lampa” (dirección 1-2), se superó el patrón HL-93 para un vano de 10 m, y para el patrón HS20-44+20% para un vano de 45 m. En cuanto a fuerza cortante, en las estaciones de “Lampa”, “Los Ángeles” (dirección 1-2) y “La Negra” (dirección 3-4), se observaron supercamiones que superan HS20-44+20% en vanos largos. Estos resultados evidencian la existencia de configuraciones vehiculares capaces de inducir condiciones cercanas al colapso estructural de puentes. Por su parte, se observó que las mayores razones de demanda respecto a HL-93 se presentaron en vanos cortos, mientras que para HS20-44+20% se concentraron en vanos largos.

Se recomienda considerar la presencia de supercamiones en la evaluación y diseño de puentes, particularmente en el marco del estado límite de resistencia II y resistencia IB, donde se evidenció que los supercamiones pueden controlar por sobre las combinaciones de carga básica o referidas a tráfico normal.

GLOSARIO

AASHTO	=	American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transporte, en español)
β_D	=	Factor que modifica la carga muerta según el tipo de material y el caso que analiza.
CAT	=	Camiones de alto tonelaje
COV	=	Coeficiente de variación, %
D	=	Carga muerta de elementos estructurales y no estructurales.
DC	=	Carga muerta de elementos estructurales.
DW	=	Carga muerta de pavimento.
IM	=	Incremento por carga dinámica.
LL	=	Carga viva.
MOP	=	Ministerio de Obras Públicas.
n	=	Correspondiente para cargas de carretera AASHTO tipo H o HS.
p	=	Correspondiente para criterios de sobrecarga de la agencia de operación;
PBT	=	Peso bruto total, tonf.
VAP	=	Vehículos de alta productividad.
WIM	=	Weigh in Motion (Pesaje en movimiento, en español).

REFERENCIAS

- AASHTO. (2002). *Standard Bridge Design Specifications* (17th ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2012). *LRFD Bridge Design Specifications* (6th ed.). American Association of State Highway Transportation Officials.
- Bae, H.-U., Oliva, M. G. (2012). *Bridge analysis and evaluation of effects under overload vehicles (Phase 2) (Report No. CFIRE 02-03)*. National Center for Freight & Infrastructure Research & Education.
- Chávez, S. (2025). *Efectos de vehículos con sobrecarga en puentes simplemente apoyados*. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción.
- Cisternas, N. (2025). *Efectos de tráfico pesado real en puente Juan Pablo II, Concepción*. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción.
- Cook, W., Barr, P., & Halling, M. (2014). *Bridge failure rate*. Journal of Performance of Constructed Facilities, 29(3), 04014080.
- Dirección General de Obras Públicas. (2020). *Puentes para Chile 2020*. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile.
- Fuentes, F. (2025). *Efectos de vehículos de alta productividad en puentes simplemente apoyados*. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción.
- León, F. (2025). *Efectos de convoyes de camiones en puentes simplemente apoyados*. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción.

- Marchini, L. (2024). *Análisis de cargas vivas en puentes de la ruta 68 y su evolución en el tiempo entre el periodo 2009-2023*. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción.
- Ministerio de Obras Públicas. (2023). *Manual de Carreteras Vol. 3. Instrucciones y Criterios de Diseño*. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile.
- Ministerio de Obras Públicas. (2023). *Manual de autorizaciones para transportes especiales (Versión 2023)*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección Nacional de Vialidad.
- Ortiz, J. (2024). *Análisis de las cargas vivas en puentes carreteros chilenos desagregados según macrozona*. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción.
- Pino, M. (2025). *Tráfico terrestre de carga evidenció un alza de 16.8% durante el primer trimestre del 2025*. Agenda Logística.
- Rodríguez, S. (2025). *El silencioso trabajo de los camioneros para abastecer Chile*. Bío Bío Chile.
- Stawska, S., Nowak, A., Chmielewski, J., Ramesh Babu, A. (2021). *Bridge rating for vehicles with grandfather provisions*. American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Stawska, S., Chmielewski, J., Nowak, A. S., & Stallings, M. (2022). *Bridge life consumption by permit vehicles*. Structure and Infrastructure Engineering.
- Undurraga, J., & Peña, J. (2019). *Puente se desploma en Ancud: Apuntan al paso de camiones con sobretonelaje y al "gusano de la broma"*. Emol.
- Villanueva, A. (2025). *Efectos del aumento del peso del eje frontal de buses interurbanos en puentes simplemente apoyados*. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción.

Wang, T.-L., Liu, C. (2000). *Influence of heavy trucks on highway bridges (Research Report No. FL/DOT/RMC/6672-379)*. Florida Department of Transportation.

ANEXO 1.1 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

Esta memoria de título contribuye al ODS 9 al analizar el impacto de los supercamiones sobre puentes, mediante su caracterización y el estudio de las diferencias entre macrozonas del país. Los resultados evidencian que estas configuraciones vehiculares superan las demandas consideradas en los modelos normativos, comprometiendo la seguridad y vida útil de la infraestructura. En particular, se observa que los patrones de carga HL-93 y HS20-44 + 20% son excedidos, tanto en momento flector como en fuerza cortante, por la mayoría de los supercamiones representativos. Este análisis permite orientar de mejor manera el monitoreo y la fiscalización del tránsito pesado, incorporando las particularidades de cada macrozona y evaluando su impacto en la infraestructura vial chilena.

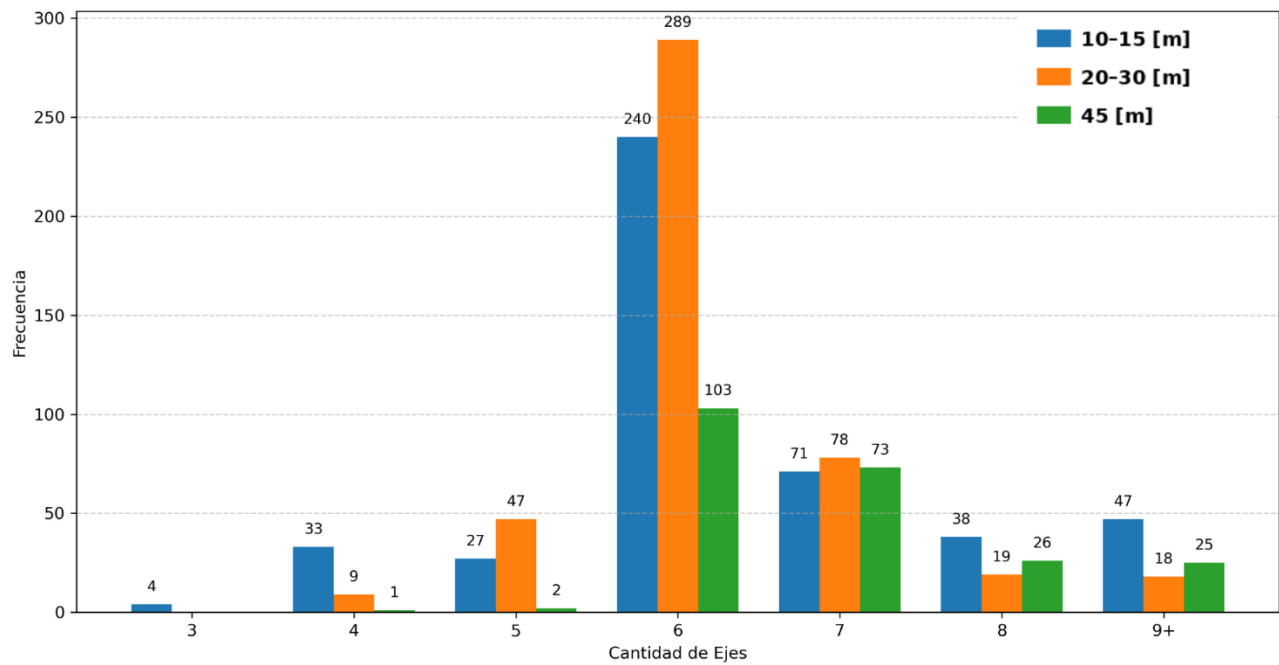
ANEXO 4.1 Análisis de frecuencia de supercamiones según zona geográfica**▪ Momento flector**

Figura 4.1.1 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes para momento flector – Zona norte dirección 3-4

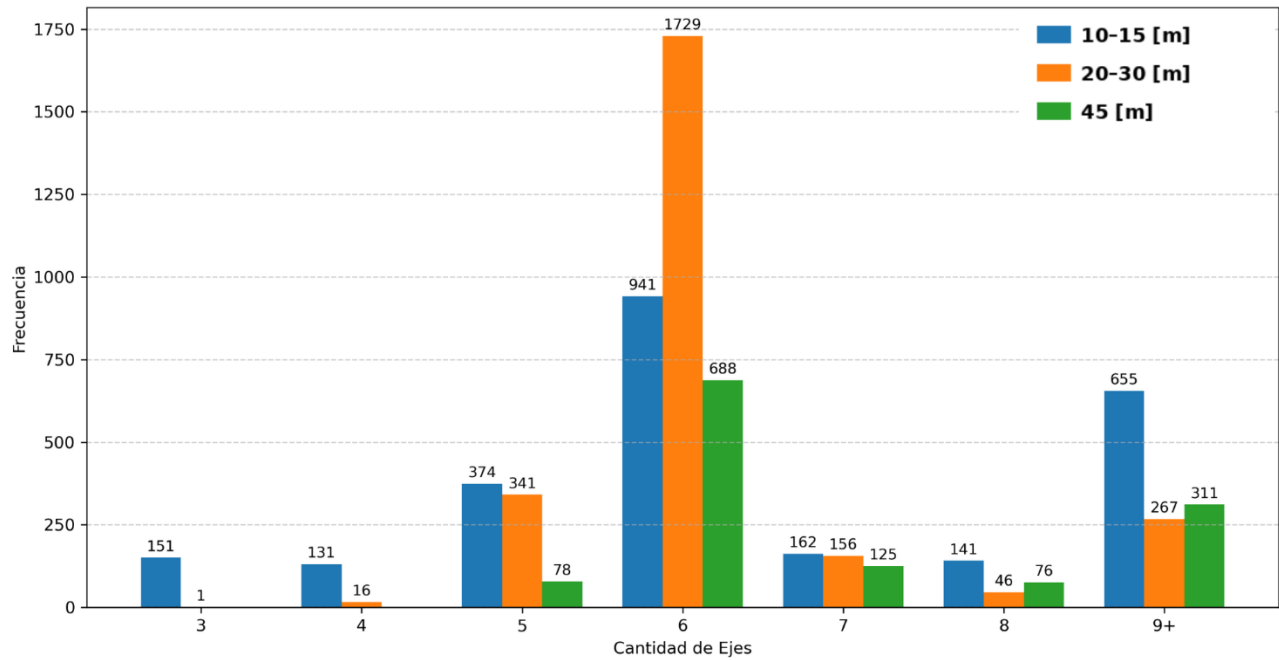


Figura 4.1.2 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes para momento flector – Zona centro dirección 3-4

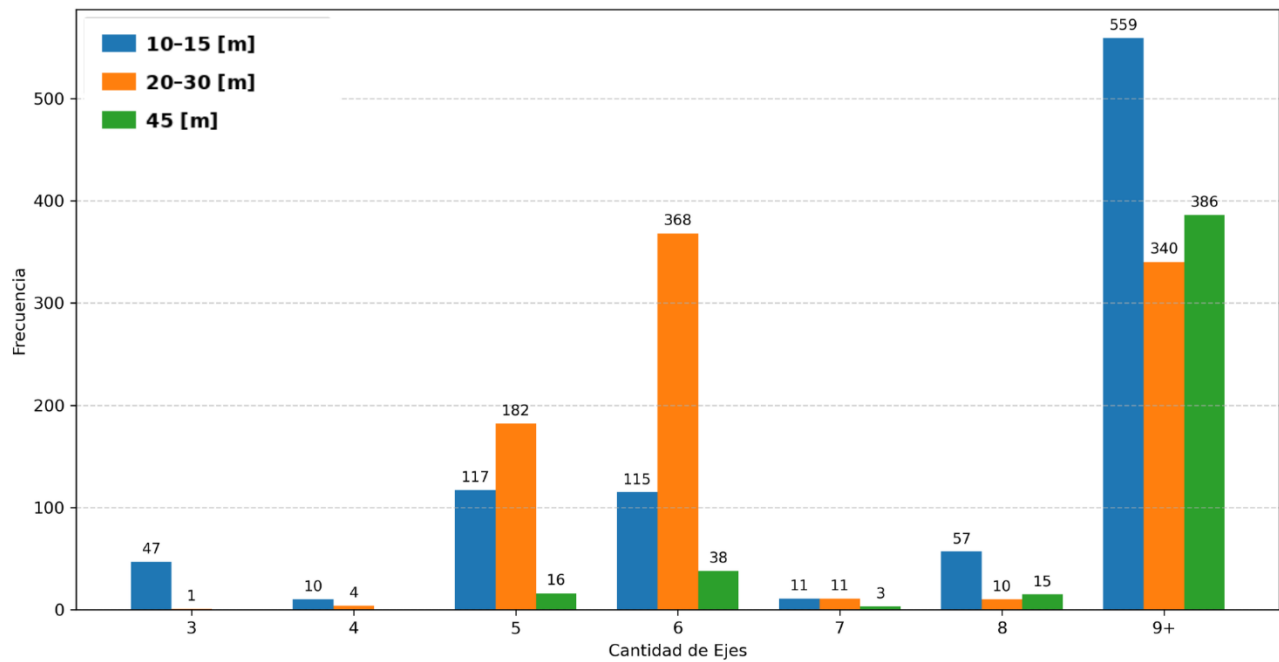


Figura 4.1.3 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes para momento flector – Zona sur dirección 3-4

▪ **Fuerza cortante**

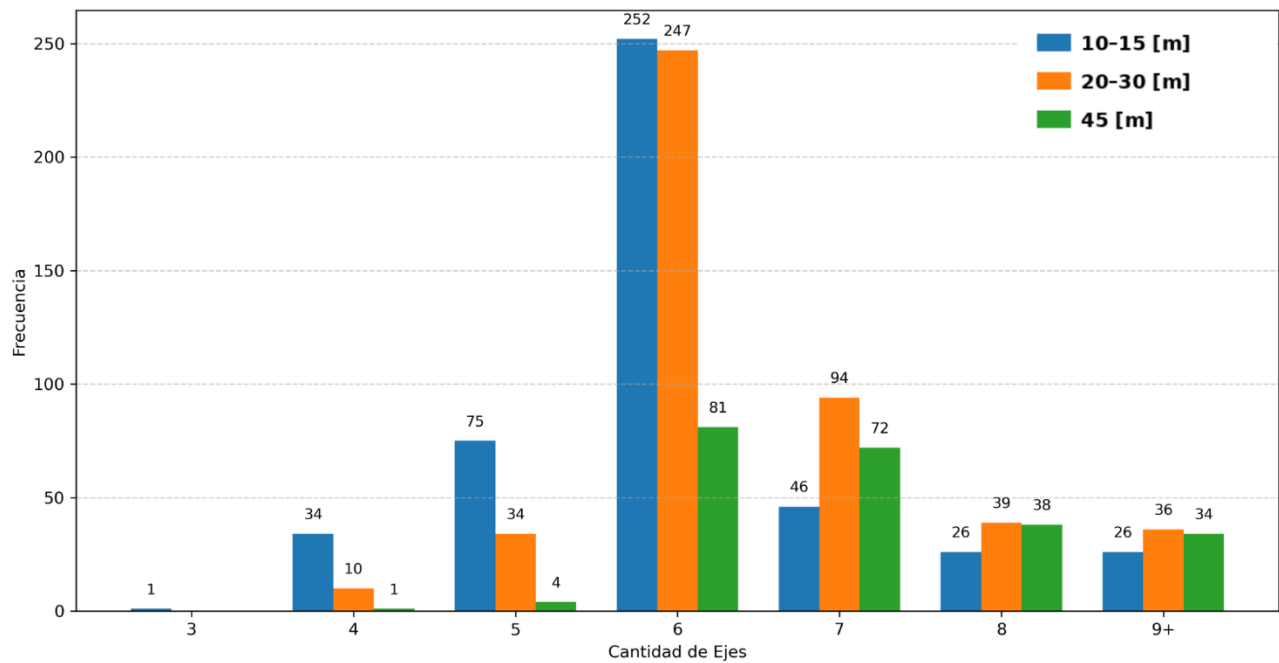


Figura 4.1.4 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes para fuerza cortante – Zona norte dirección 3-4

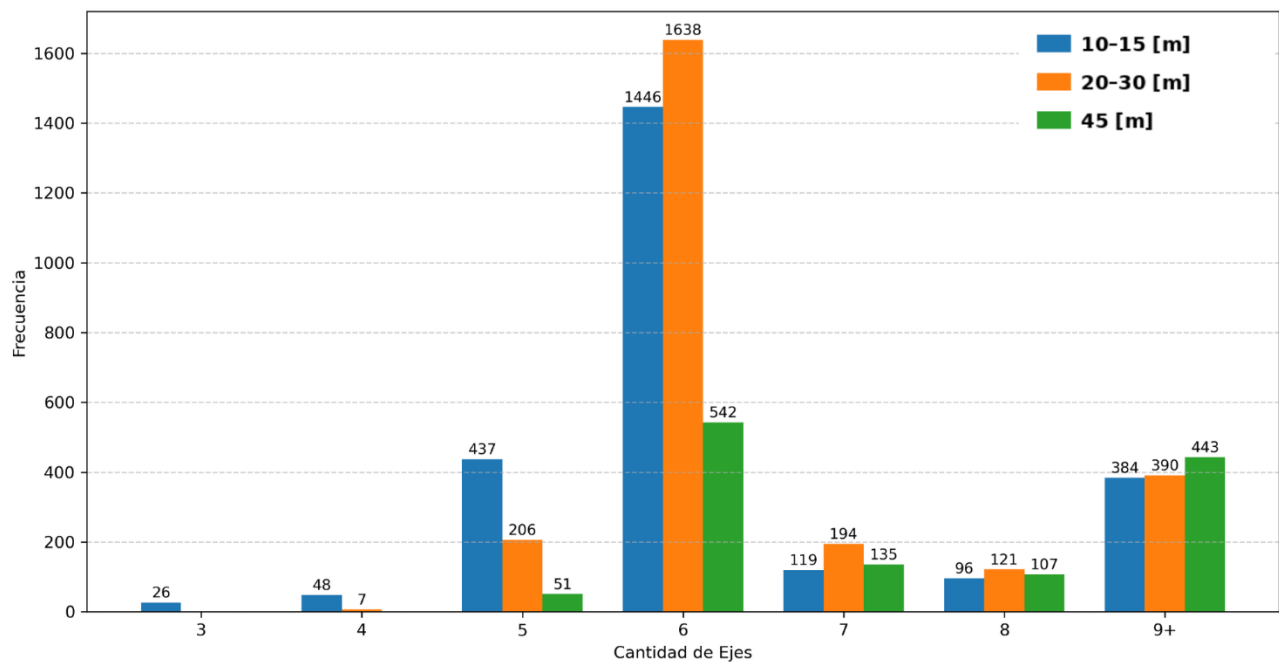


Figura 4.1.5 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes para fuerza cortante – Zona centro dirección 3-4

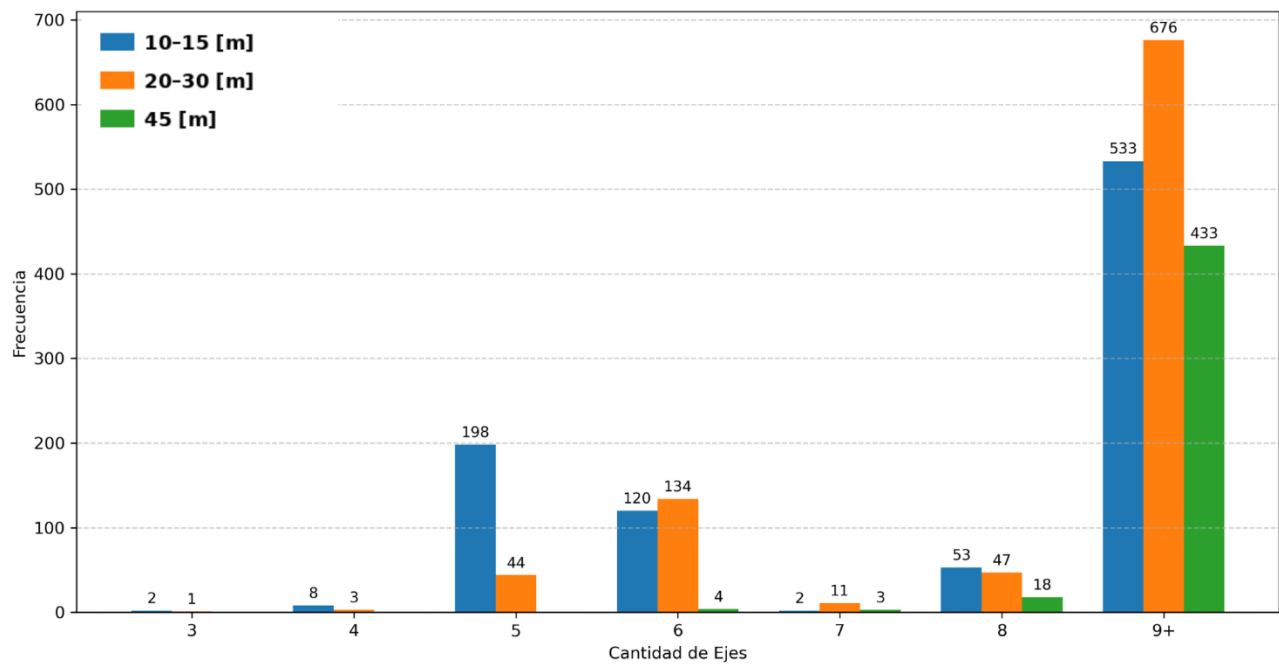


Figura 4.1.6 Distribución de frecuencias de supercamiones según su número de ejes para fuerza cortante – Zona sur dirección 3-4

ANEXO 4.2 Supercamiones representativos para momento flector de cada estación de pesaje

▪ Estación “La Negra” – Momento flector

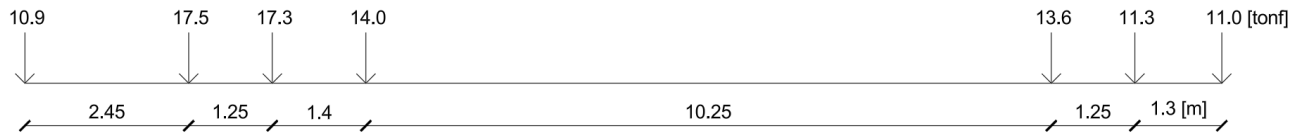


Figura A.4.2.1 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-7E-96) en dirección 1-2

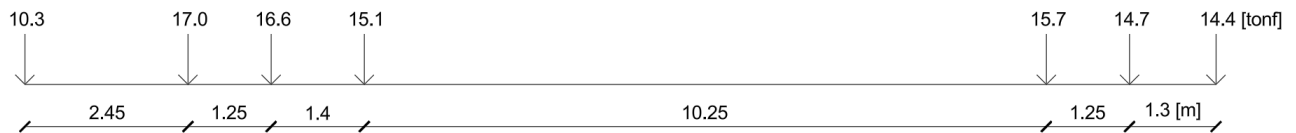


Figura A.4.2.2 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-7E-104) en dirección 1-2

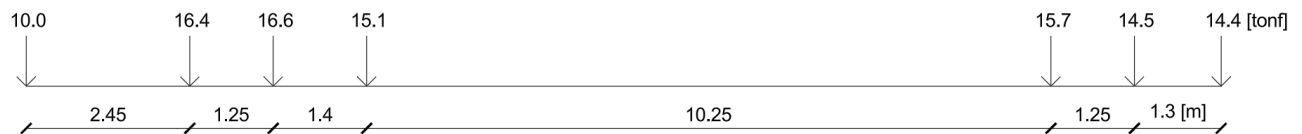


Figura A.4.2.3 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-7E-103) en dirección 1-2

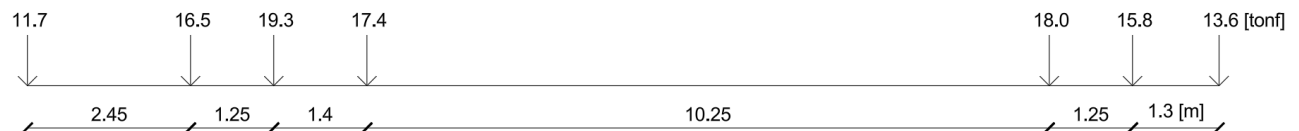


Figura A.4.2.4 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-34-7E-112) en dirección 3-4

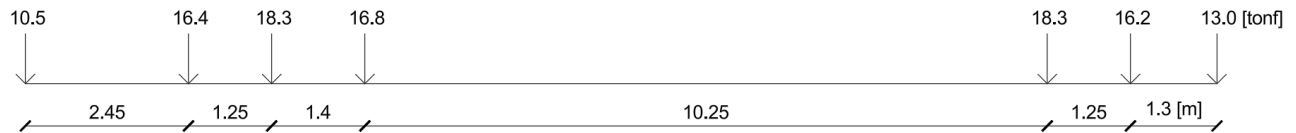


Figura A.4.2.5 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-34-7E-109) en dirección 3-4

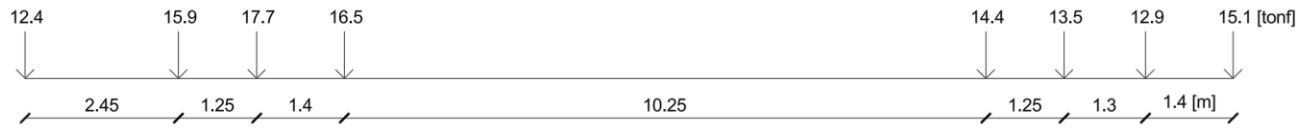


Figura A.4.2.6 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-34-8E-119) en dirección 3-4

▪ **Estación “Curacaví” – Momento flector**

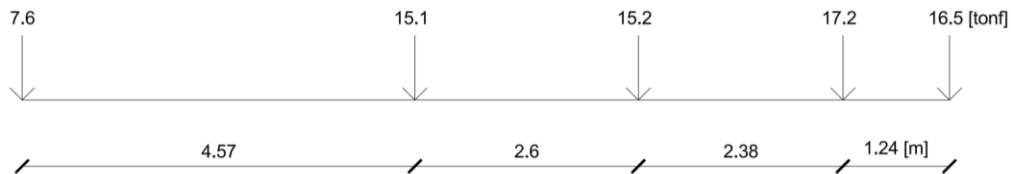


Figura A.4.2.7 Supercamión representativo de estación “Curacaví” (Cu-12-5E-72) en dirección 1-2



Figura A.4.2.8 Supercamión representativo de estación “Curacaví” (Cu-12-6E-90) en dirección 1-2

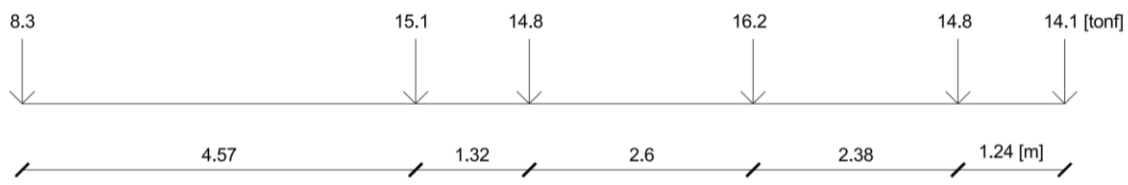


Figura A.4.2.9 Supercamión representativo de estación “Curacaví” (Cu-12-6E-83) en dirección 1-2

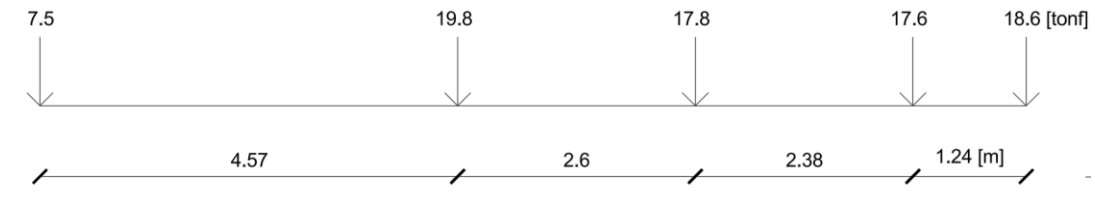


Figura A.4.2.10 Supercamión representativo de estación “Curacaví” (Cu-34-5E-82) en dirección 3-4

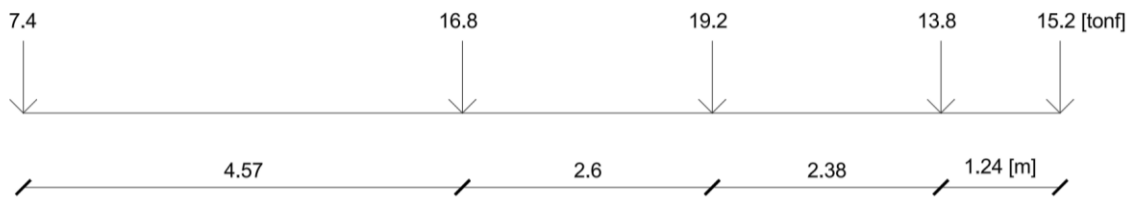


Figura A.4.2.11 Supercamión representativo de estación “Curacaví” (Cu-34-5E-73) en dirección 3-4

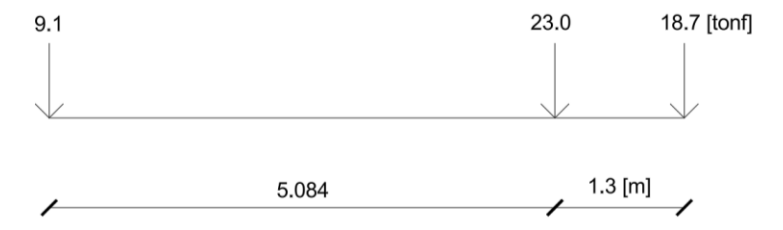


Figura A.4.2.12 Supercamión representativo de estación “Curacaví” (Cu-34-3E-51) en dirección 3-4

▪ Estación “El Monte” – Momento flector

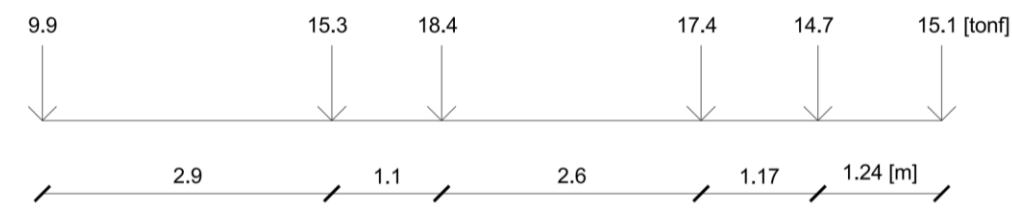


Figura A.4.2.13 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-12-6E-91) en dirección 1-2

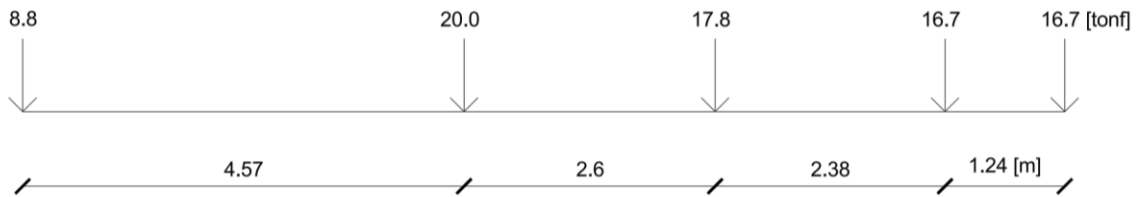


Figura A.4.2.14 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-12-5E-80) en dirección 1-2

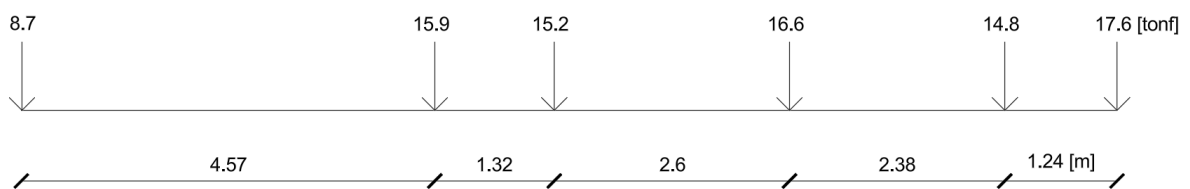


Figura A.4.2.15 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-12-6E-89) en dirección 1-2

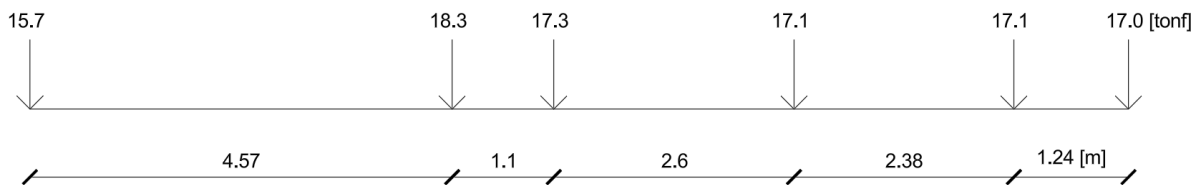


Figura A.4.2.16 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-34-6E-102) en dirección 3-4



Figura A.4.2.17 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-34-6E-104) en dirección 3-4

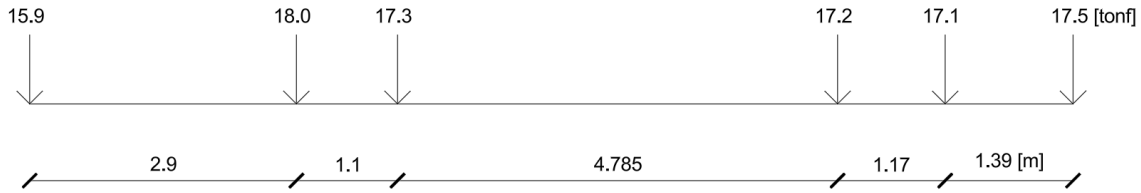


Figura A.4.2.18 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-34-6E-103) en dirección 3-4

▪ **Estación “Lampa” – Momento flector**

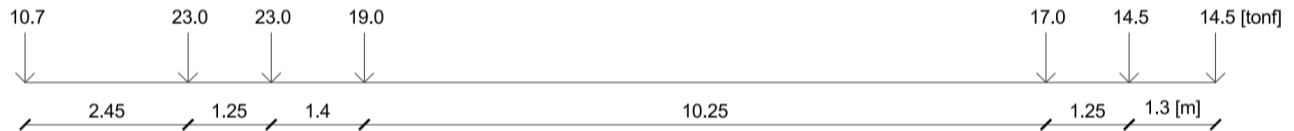


Figura A.4.2.19 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-12-7E-122) en dirección 1-2

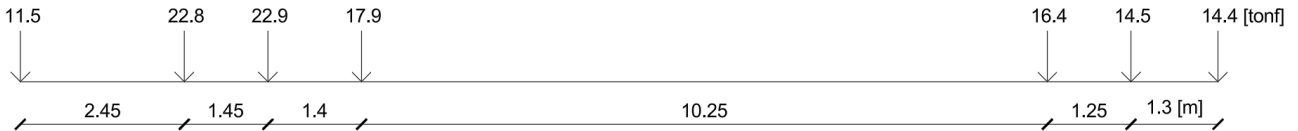


Figura A.4.2.20 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-12-7E-121) en dirección 1-2

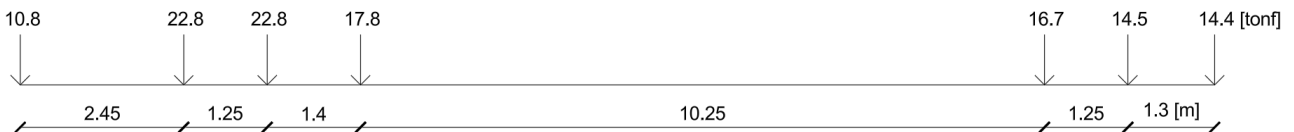


Figura A.4.2.21 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-12-7E-120) en dirección 1-2

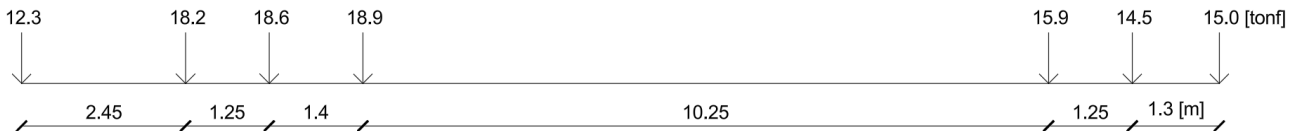


Figura A.4.2.22 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-34-7E-113) en dirección 3-4

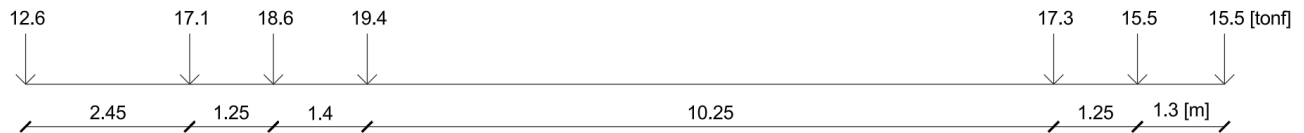


Figura A.4.2.23 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-34-7E-116) en dirección 3-4

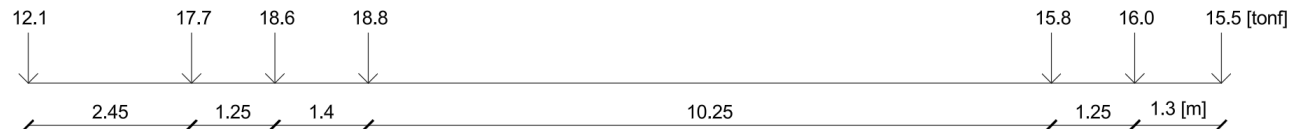


Figura A.4.2.24 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-34-7E-114) en dirección 3-4

▪ **Estación “Los Ángeles” – Momento flector**

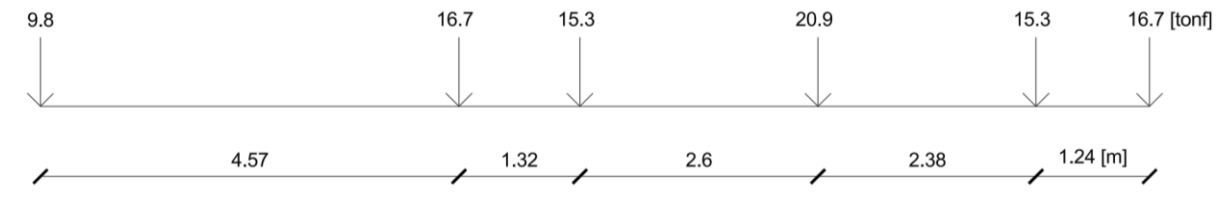


Figura A.4.2.25 Supercamión representativo de estación “Los Ángeles” (An-12-6E-95) en dirección 1-2

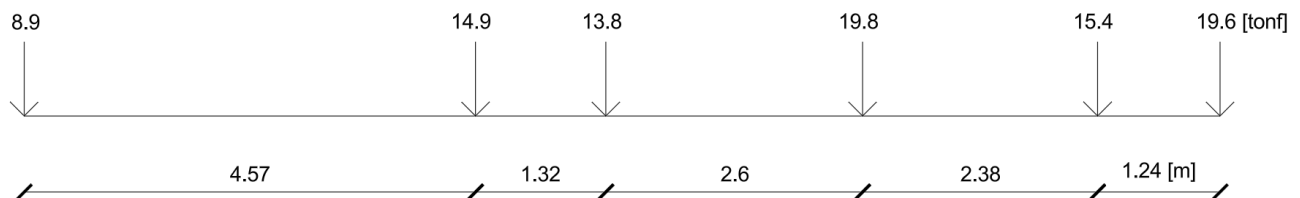


Figura A.4.2.26 Supercamión representativo de estación “Los Ángeles” (An-12-6E-92) en dirección 1-2

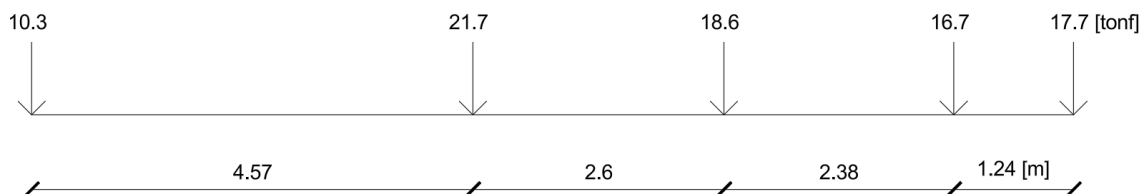


Figura A.4.2.27 Supercamión representativo de estación “Los Ángeles” (An-12-5E-85) en dirección 1-2

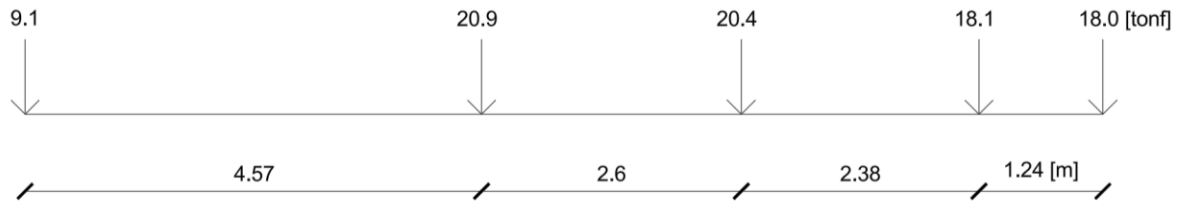


Figura A.4.2.28 Supercamión representativo de estación "Los Ángeles" (An-34-5E-86) en dirección 3-4

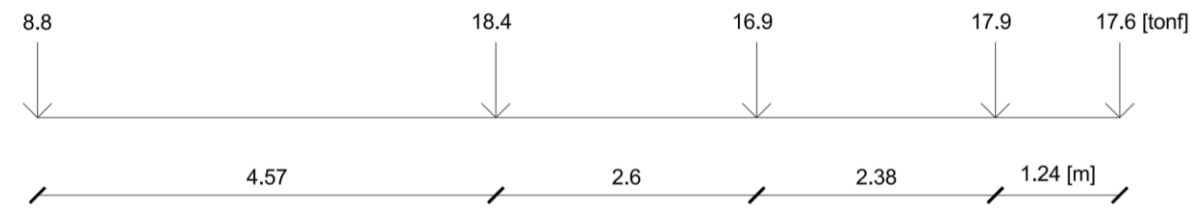


Figura A.4.2.29 Supercamión representativo de estación "Los Ángeles" (An-34-5E-80) en dirección 3-4

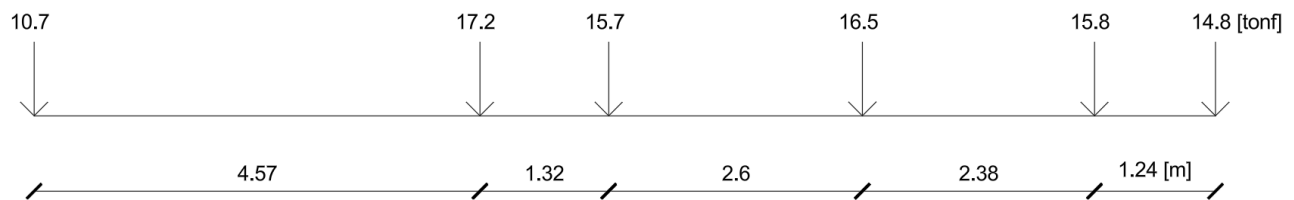


Figura A.4.2.30 Supercamión representativo de estación "Los Ángeles" (An-34-6E-91) en dirección 3-4

ANEXO 4.3 Supercamiones representativos para fuerza cortante de cada estación de pesaje

▪ Estación “La Negra” – Fuerza cortante

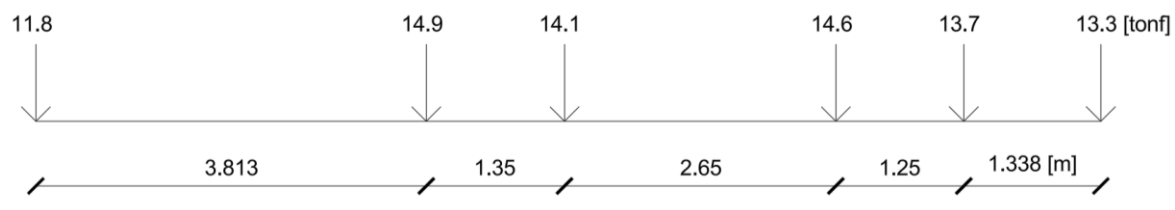


Figura A.4.3.1 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-6E-83) en dirección 1-2

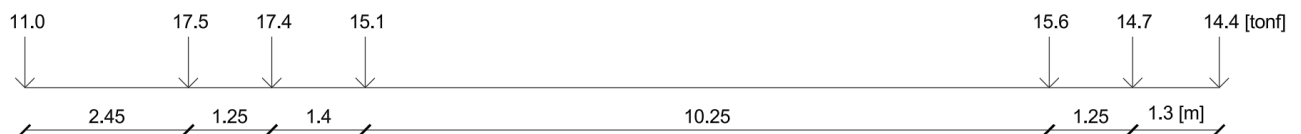


Figura A.4.3.2 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-7E-106) en dirección 1-2

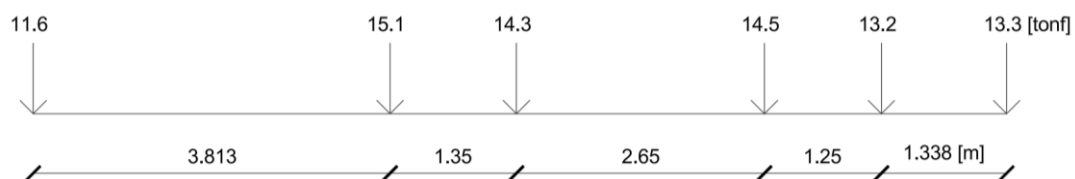


Figura A.4.3.3 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-12-6E-82) en dirección 1-2

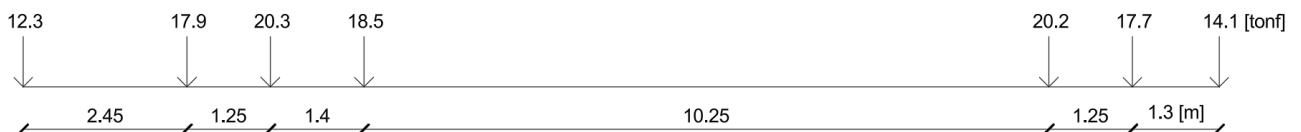


Figura A.4.3.4 Supercamión representativo de estación “La Negra” (Ln-34-7E-121) en dirección 3-4

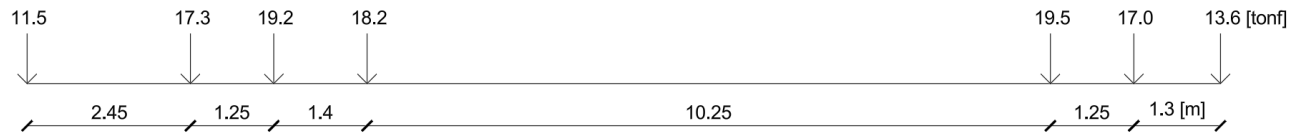


Figura A.4.3.5 Supercamión representativo de estación "La Negra" (Ln-34-7E-116) en dirección 3-4

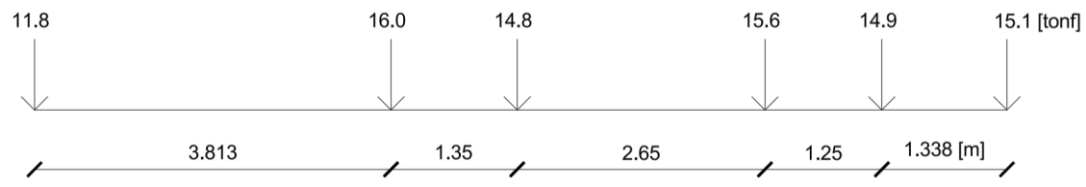


Figura A.4.3.6 Supercamión representativo de estación "La Negra" (Ln-34-6E-88) en dirección 3-4

▪ Estación "Curacaví" – Fuerza cortante

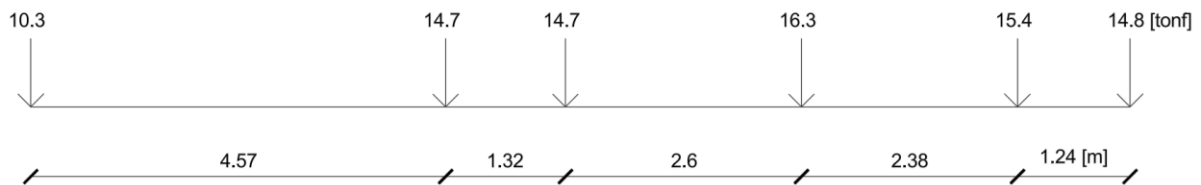


Figura A.4.3.7 Supercamión representativo de estación "Curacaví" (Cu-12-6E-86) en dirección 1-2

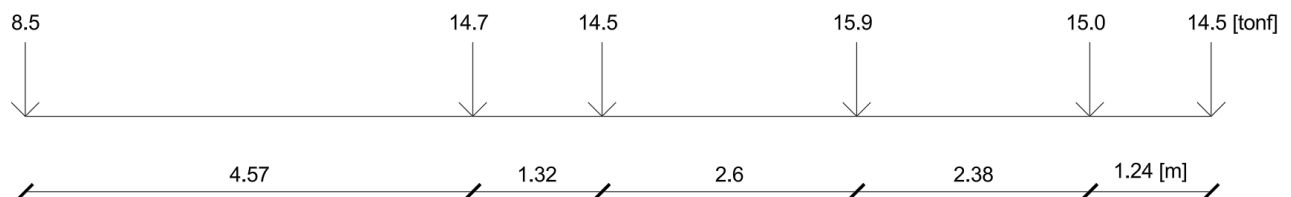


Figura A.4.3.8 Supercamión representativo de estación "Curacaví" (Cu-12-6E-83) en dirección 1-2

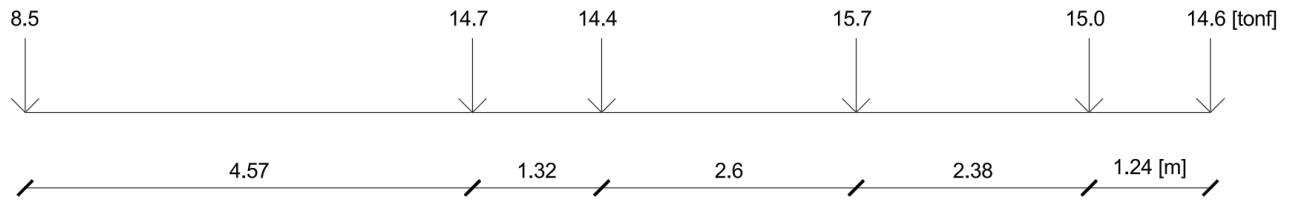


Figura A.4.3.9 Supercamión representativo de estación "Curacaví" (Cu-12-6E-82) en dirección 1-2

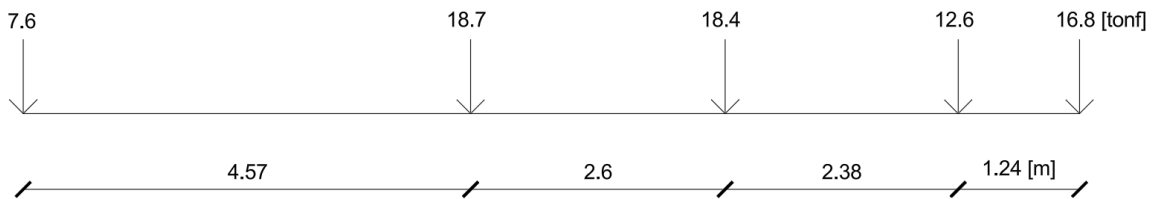


Figura A.4.3.10 Supercamión representativo de estación "Curacaví" (Cu-34-5E-74) en dirección 3-4

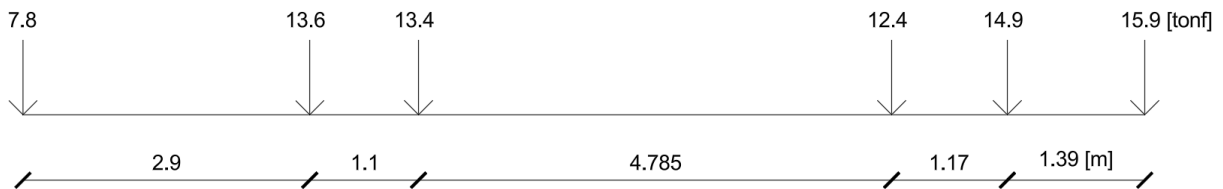


Figura A.4.3.11 Supercamión representativo de estación "Curacaví" (Cu-34-6E-78) en dirección 3-4

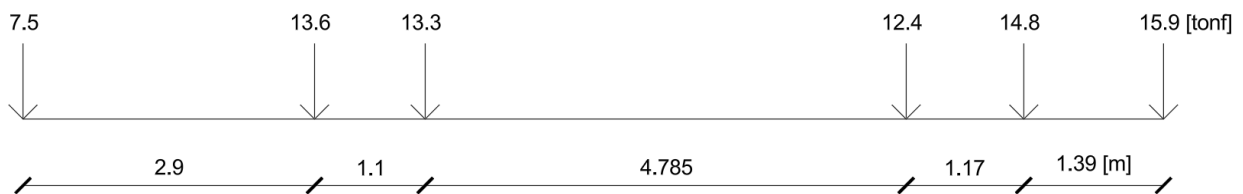


Figura A.4.3.12 Supercamión representativo de estación "Curacaví" (Cu-34-6E-77) en dirección 3-4

▪ Estación “El Monte” – Fuerza cortante

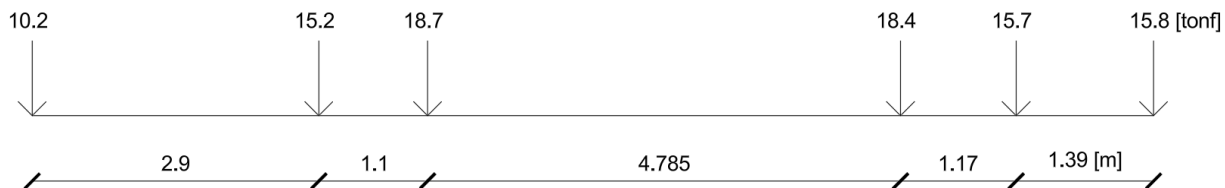


Figura A.4.3.13 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-12-6E-94) en dirección 1-2

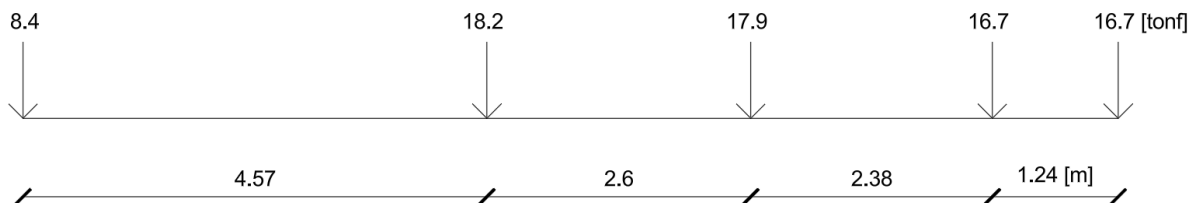


Figura A.4.3.14 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-12-5E-78) en dirección 1-2

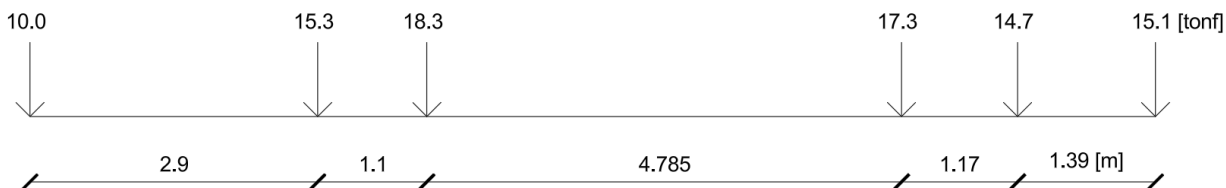


Figura A.4.3.15 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-12-6E-91) en dirección 1-2

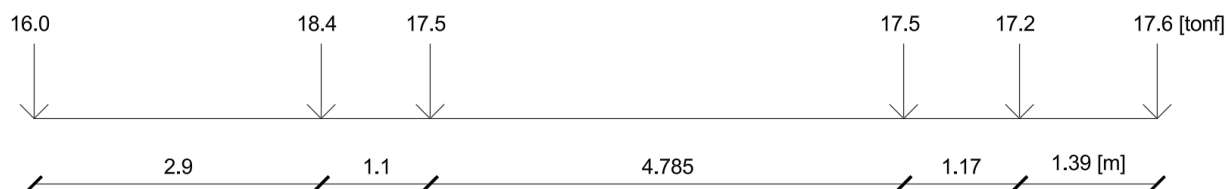


Figura A.4.3.16 Supercamión representativo de estación “El Monte” (Mo-34-6E-104) en dirección 3-4

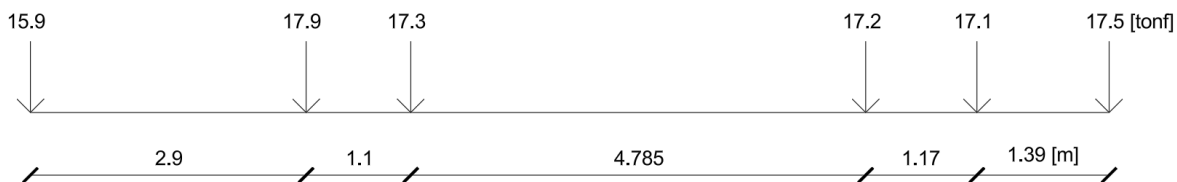


Figura A.4.3.17 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-34-6E-103) en dirección 3-4

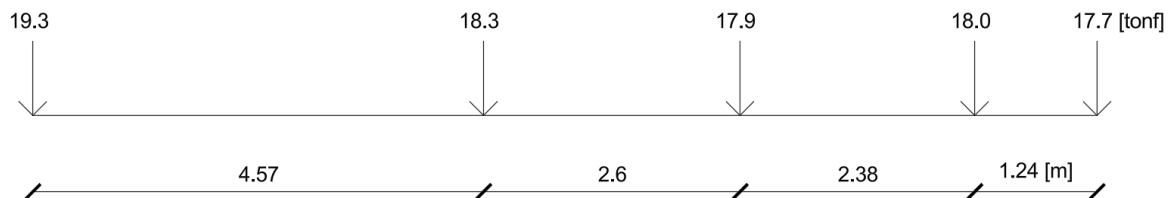


Figura A.4.3.18 Supercamión representativo de estación "El Monte" (Mo-34-5E-91) en dirección 3-4

▪ Estación "Lampa" – Fuerza cortante

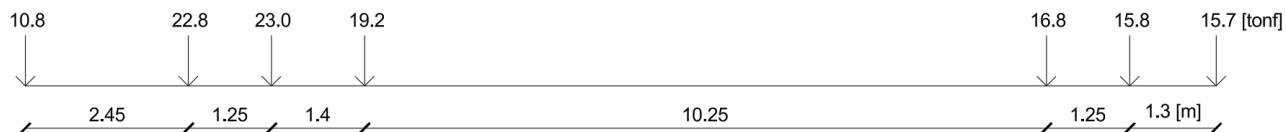


Figura A.4.3.19 Supercamión representativo de estación "Lampa" (La-12-7E-124) en dirección 1-2

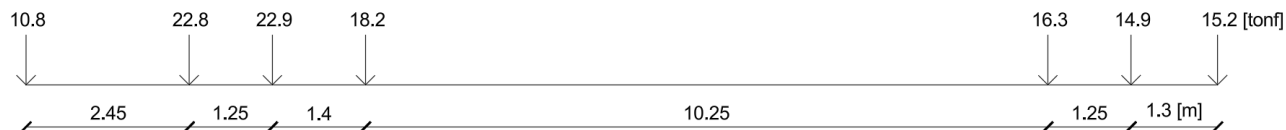


Figura A.4.3.20 Supercamión representativo de estación "Lampa" (La-12-7E-121) en dirección 1-2

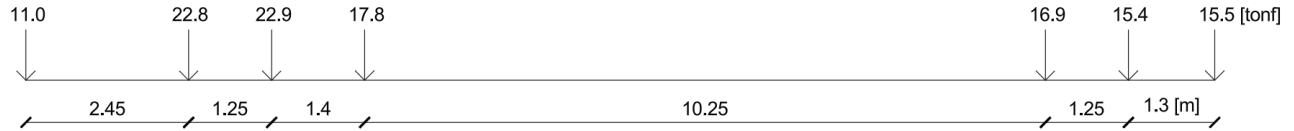


Figura A.4.3.21 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-12-7E-122) en dirección 1-2

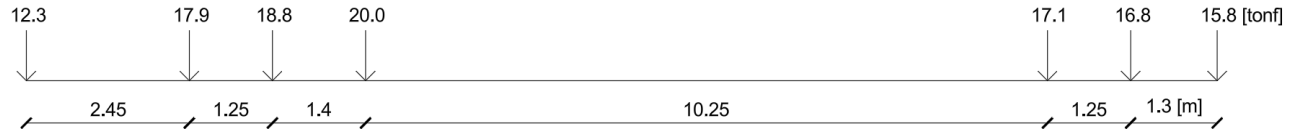


Figura A.4.3.22 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-34-7E-118) en dirección 3-4

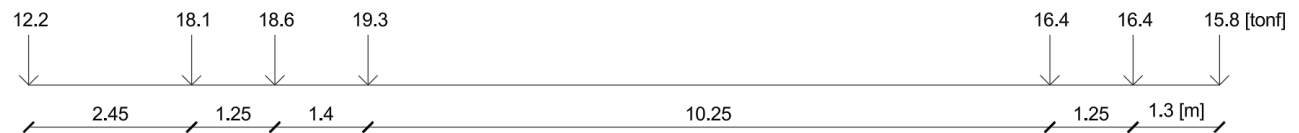


Figura A.4.3.23 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-34-7E-117) en dirección 3-4

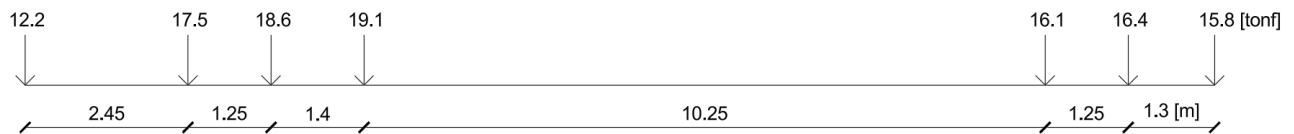


Figura A.4.3.24 Supercamión representativo de estación “Lampa” (La-34-7E-116) en dirección 3-4

▪ **Estación “Los Ángeles” – Fuerza cortante**

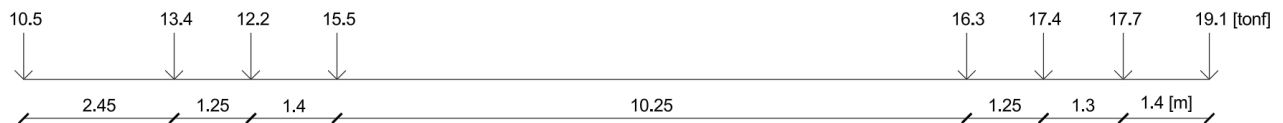


Figura A.4.3.25 Supercamión representativo de estación “Los Ángeles” (An-12-8E-122) en dirección 1-2

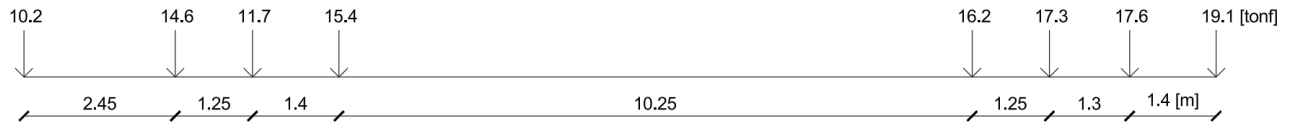


Figura A.4.3.26 Supercamión representativo de estación "Los Ángeles" (An-12-8E-123) en dirección 1-2

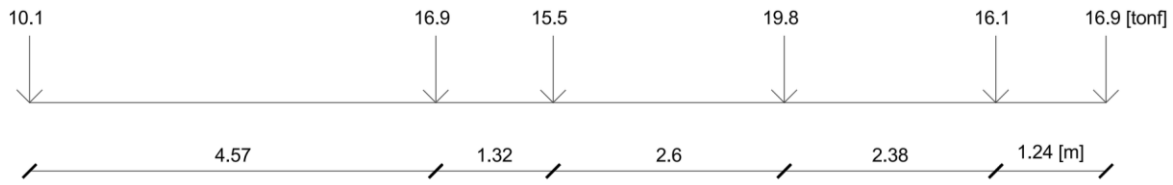


Figura A.4.3.27 Supercamión representativo de estación "Los Ángeles" (An-12-6E-95) en dirección 1-2

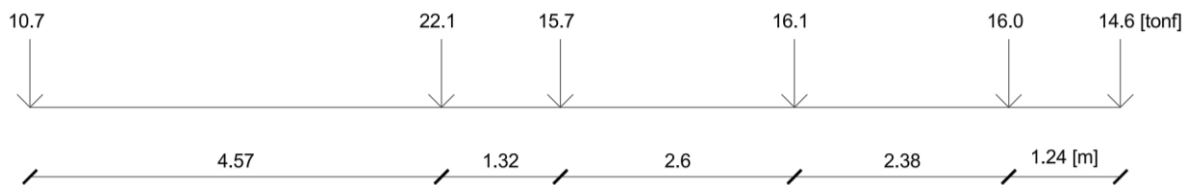


Figura A.4.3.28 Supercamión representativo de estación "Los Ángeles" (An-34-6E-95) en dirección 3-4

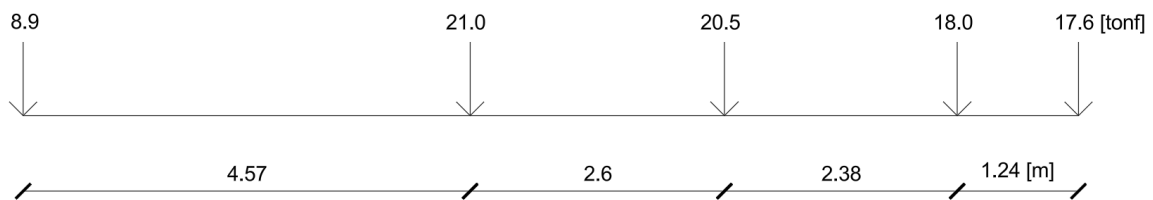


Figura A.4.3.29 Supercamión representativo de estación "Los Ángeles" (An-34-5E-86) en dirección 3-4

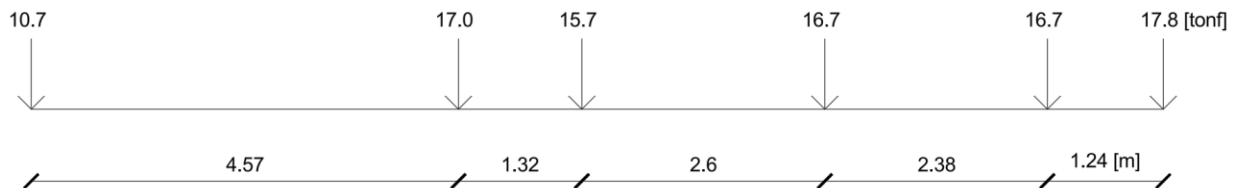


Figura A.4.3.30 Supercamión representativo de estación "Los Ángeles" (An-34-6E-94) en dirección 3-4

ANEXO 4.4 Comparación entre patrones de carga normativos y camiones representativos para momento flector de cada estación de pesaje

▪ Estación “La Negra” – Momento flector

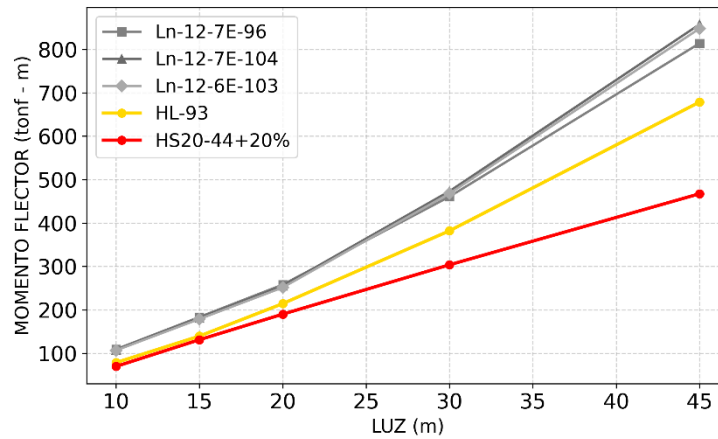


Figura A.4.4.1 Momentos flectores de supercamiones representativos de “La Negra” y patrones de carga normativos – Dirección 1-2

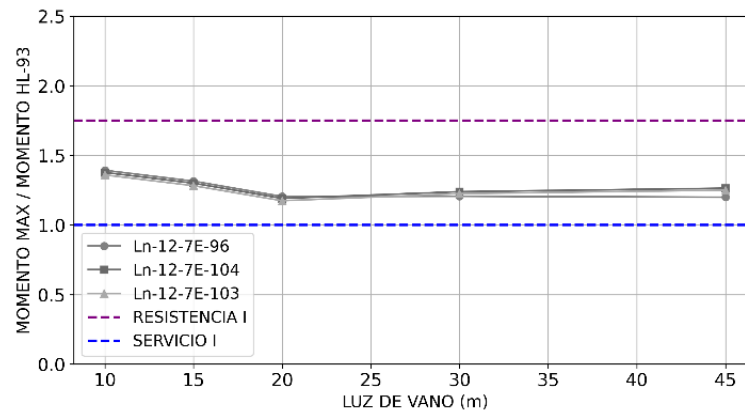


Figura A.4.4.2 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “La Negra” y HL-93 – Dirección 1-2

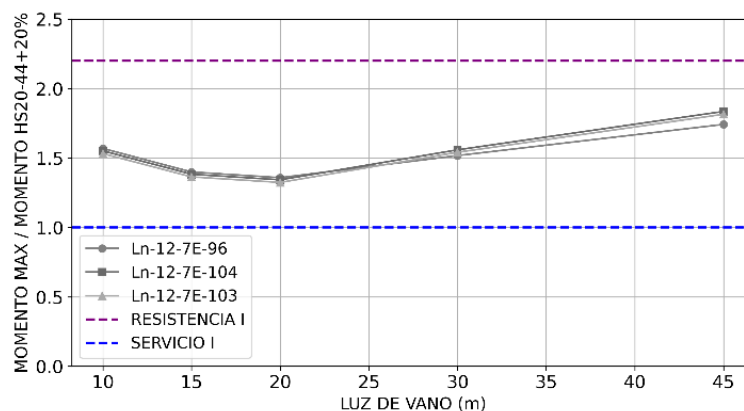


Figura A.4.4.3 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “La Negra” y HS20-44+20% – Dirección 1-2

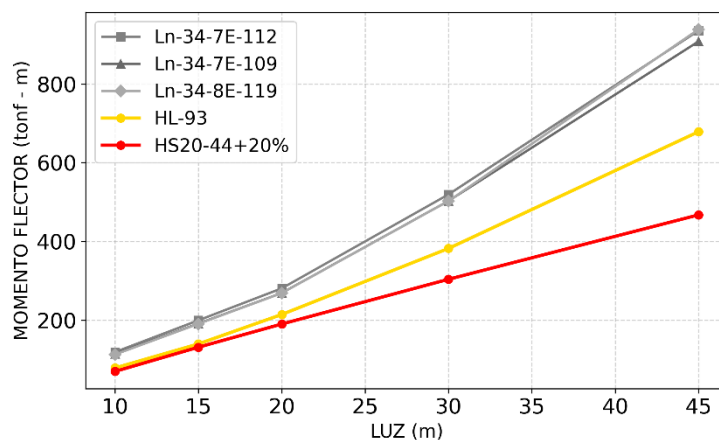


Figura A.4.4.4 Momentos flectores de supercamiones representativos de “La Negra” y patrones de carga normativos – Dirección 3-4

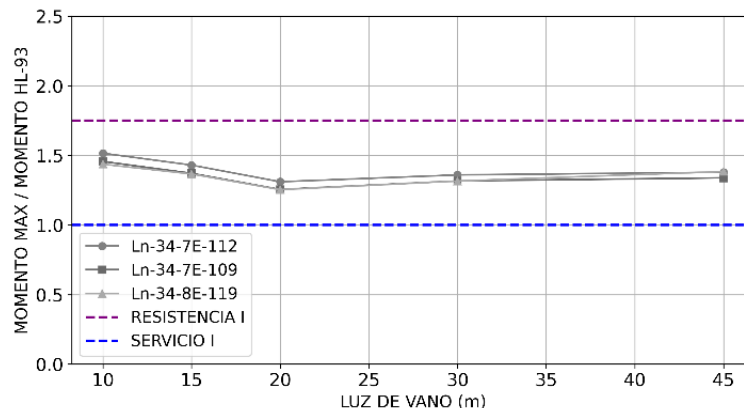


Figura A.4.4.5 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “La Negra” y HL-93 – Dirección 3-4

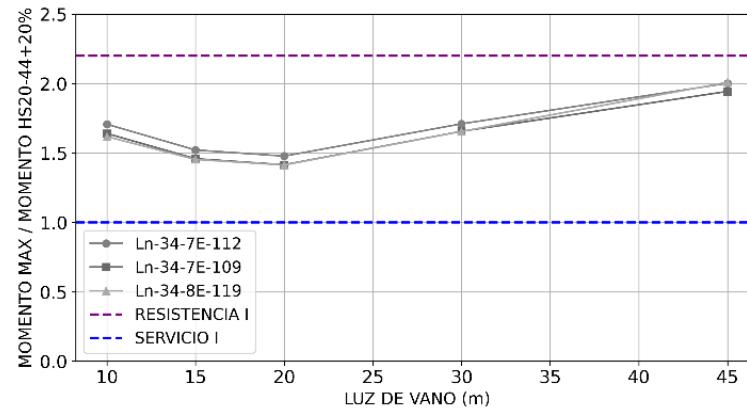


Figura A.4.4.6 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “La Negra” y HS20-44+20% – Dirección 3-4

▪ **Estación “Curacaví” – Momento flector**

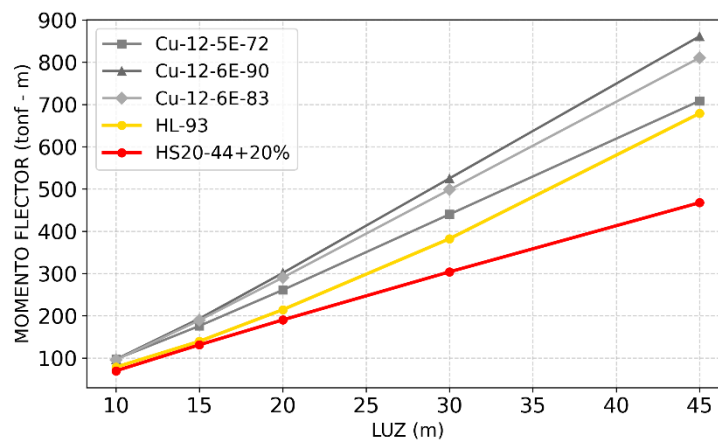


Figura A.4.4.7 Momentos flectores de supercamiones representativos de “Curacaví” y patrones de carga normativos – Dirección 1-2

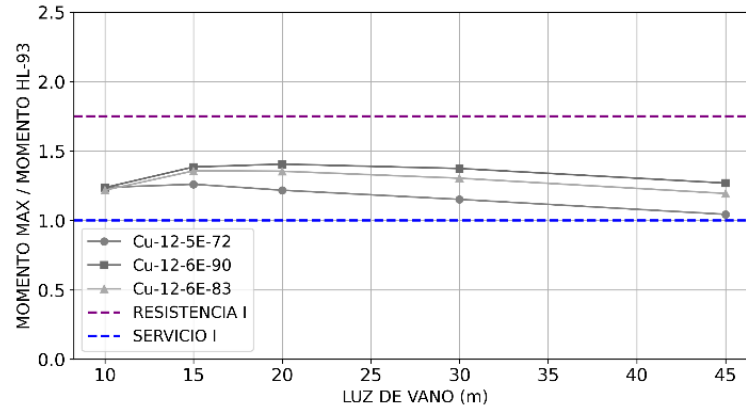


Figura A.4.4.8 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Curacaví” y HL-93 – Dirección 1-2

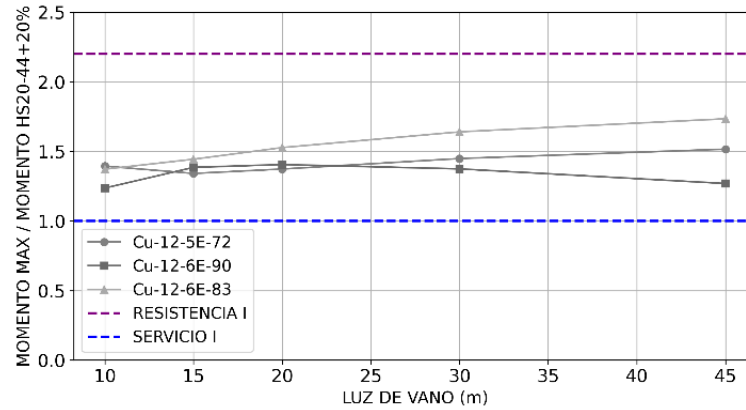


Figura A.4.4.9 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Curacaví” y HS20-44+20% – Dirección 1-2

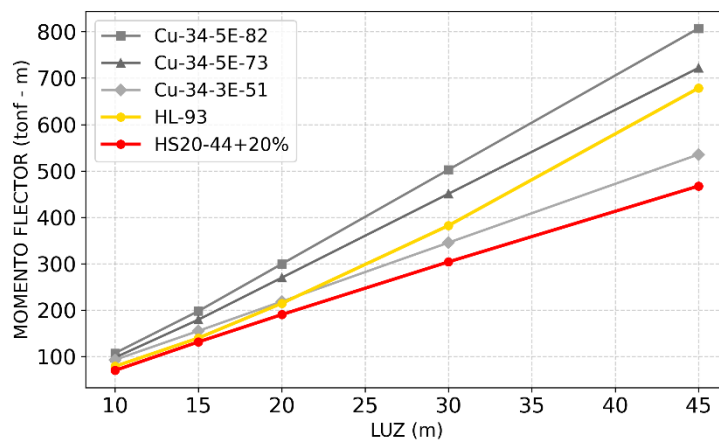


Figura A.4.4.10 Momentos flectores de supercamiones representativos de “Curacaví” y patrones de carga normativos – Dirección 3-4

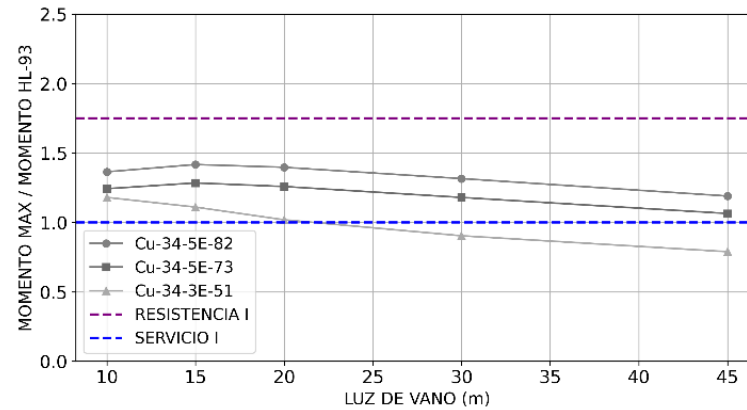


Figura A.4.4.11 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Curacavi” y HL-93 – Dirección 3-4

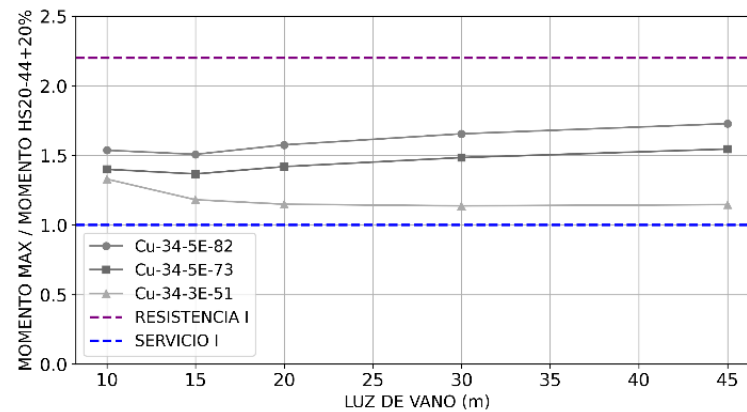


Figura A.4.4.12 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Curacavi” y HS20-44+20% – Dirección 3-4

▪ Estación “Lampa” – Momento flector

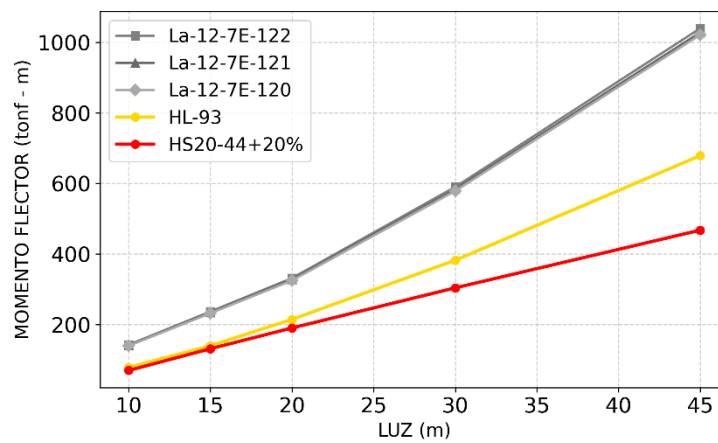


Figura A.4.4.13 Momentos flectores de supercamiones representativos de “Lampa” y patrones de carga normativos – Dirección 1-2

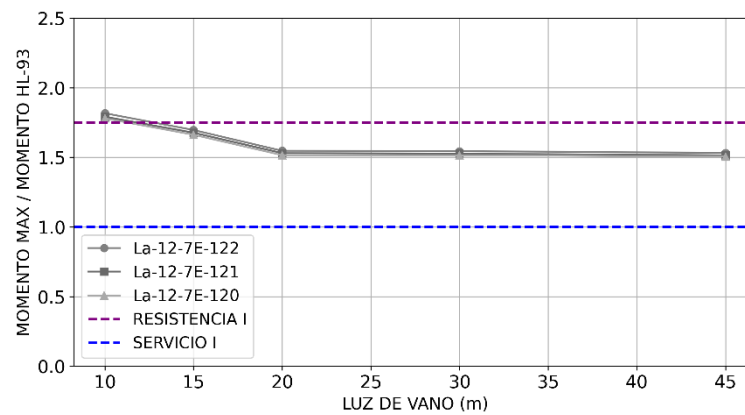


Figura A.4.4.14 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Lampa” y HL-93 – Dirección 1-2

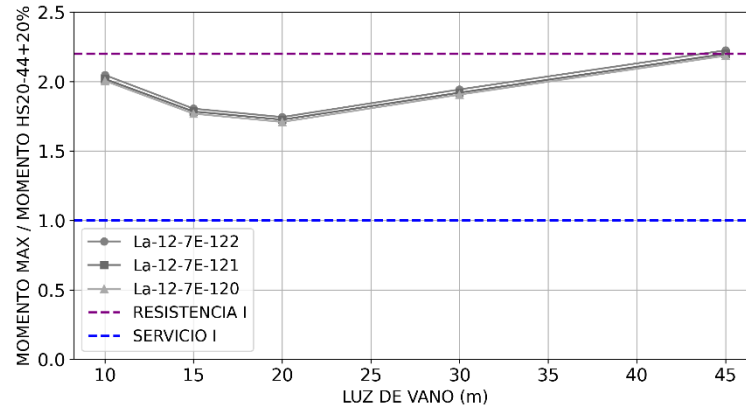


Figura A.4.4.15 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Lampa” y HS20-44+20% – Dirección 1-2

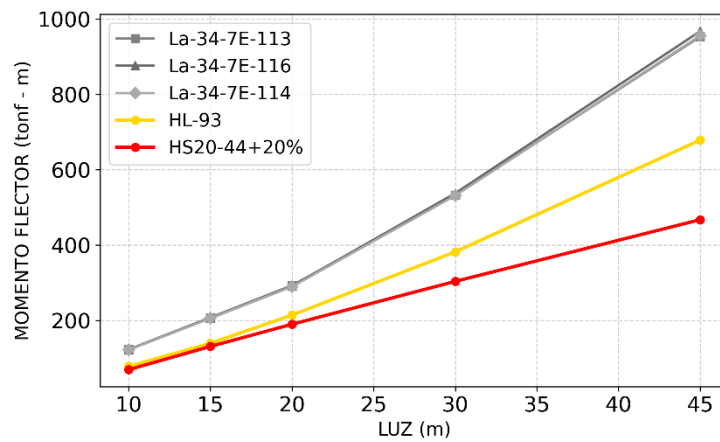


Figura A.4.4.16 Momentos flectores de supercamiones representativos de “Lampa” y patrones de carga normativos – Dirección 3-4

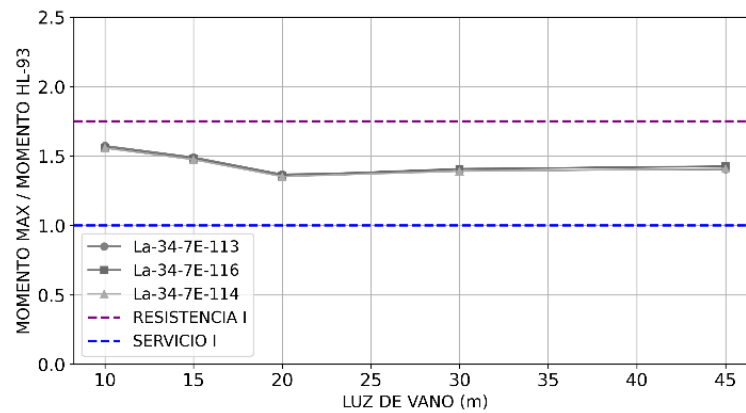


Figura A.4.4.17 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Lampa” y HL-93 – Dirección 3-4

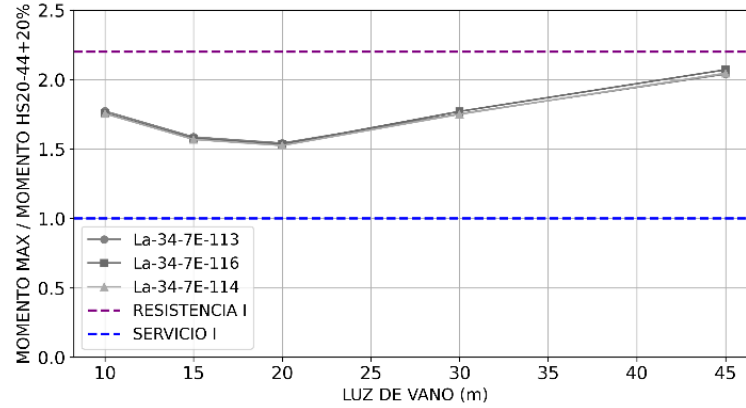


Figura A.4.4.18 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Lampa” y HS20-44+20% – Dirección 3-4

▪ Estación “El Monte” – Momento flector

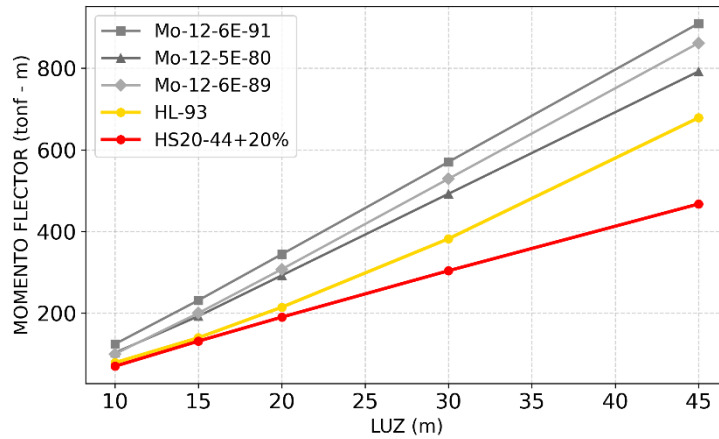


Figura A.4.4.19 Momentos flectores de supercamiones representativos de “El Monte” y patrones de carga normativos – Dirección 1-2

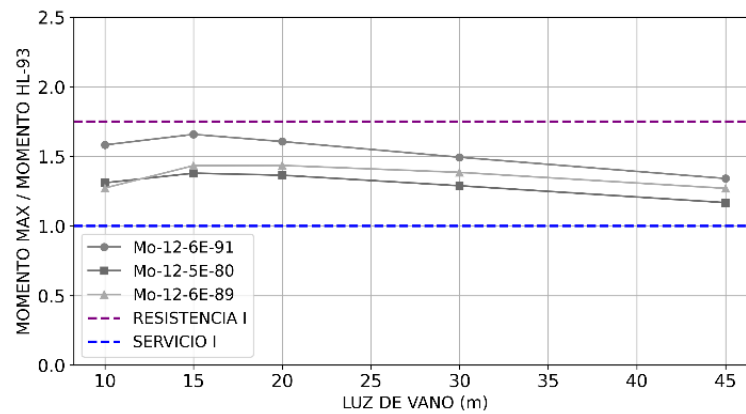


Figura A.4.4.20 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “El Monte” y HL-93 – Dirección 1-2

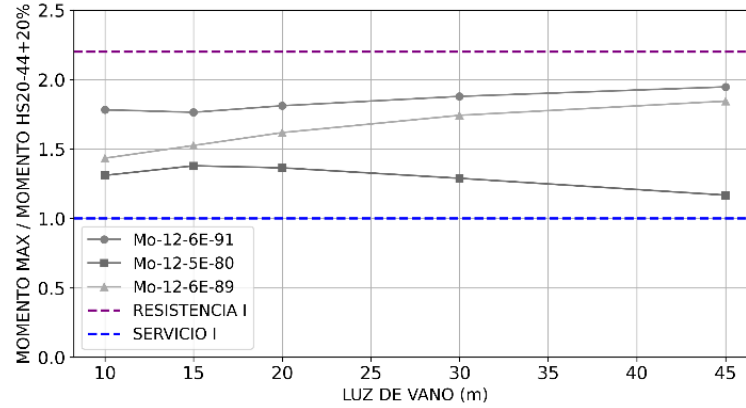


Figura A.4.4.21 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “El Monte” y HS20-44+20% - Dirección 1-2

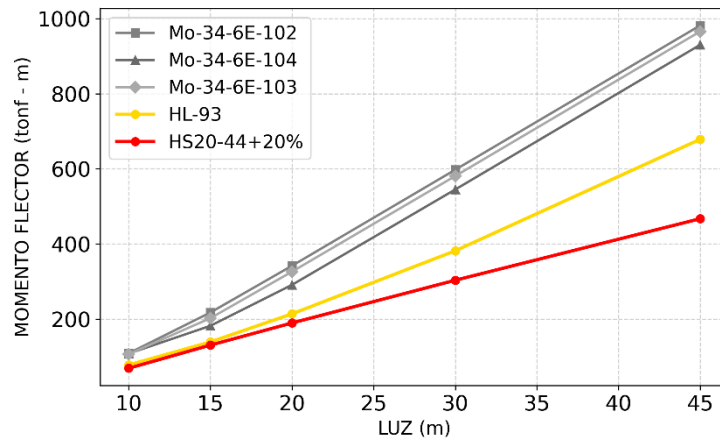


Figura A.4.4.22 Momentos flectores de supercamiones representativos de “El Monte” y patrones de carga normativos – Dirección 3-4

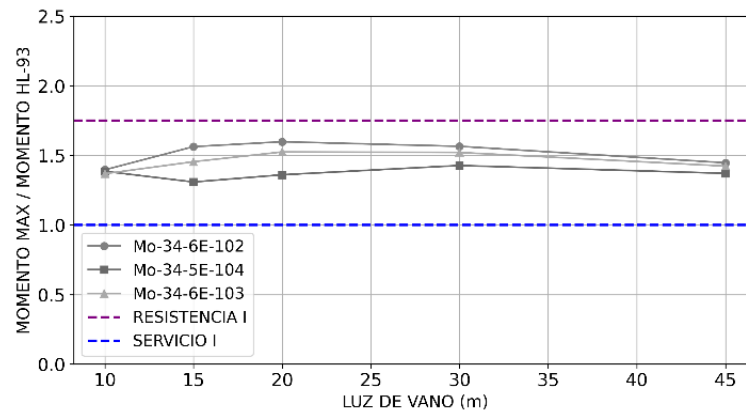


Figura A.4.4.23 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “El Monte” y HL-93 - Dirección 3-4

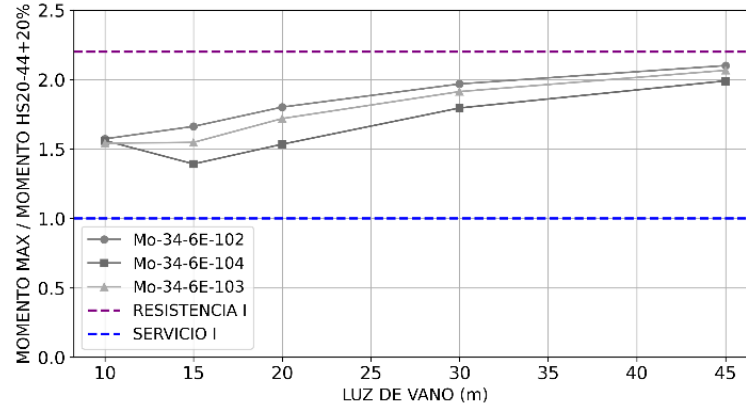


Figura A.4.4.24 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “El Monte” y HS20-44+20% - Dirección 3-4

▪ Estación “Los Ángeles” – Momento flector

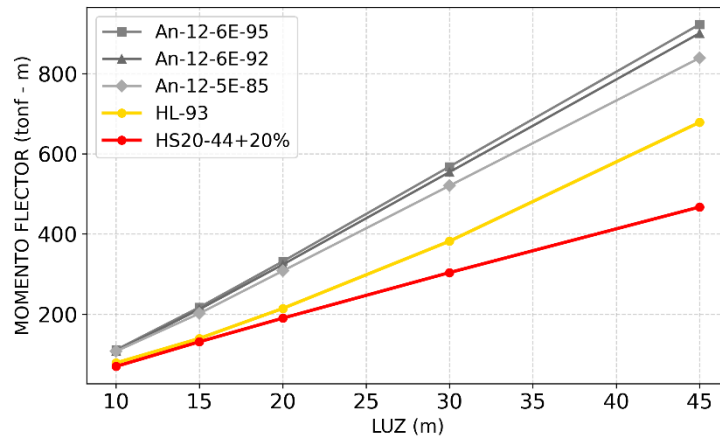


Figura A.4.4.25 Momentos flectores de supercamiones representativos de “Los Ángeles” y patrones de carga normativos – Dirección 1-2

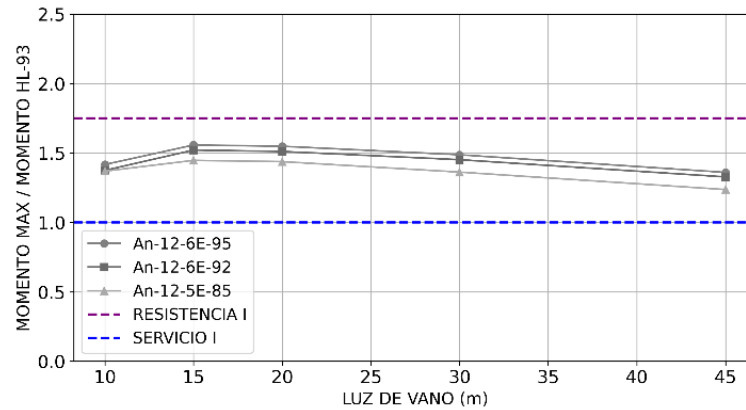


Figura A.4.4.26 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Los Ángeles” y HL-93 – Dirección 1-2

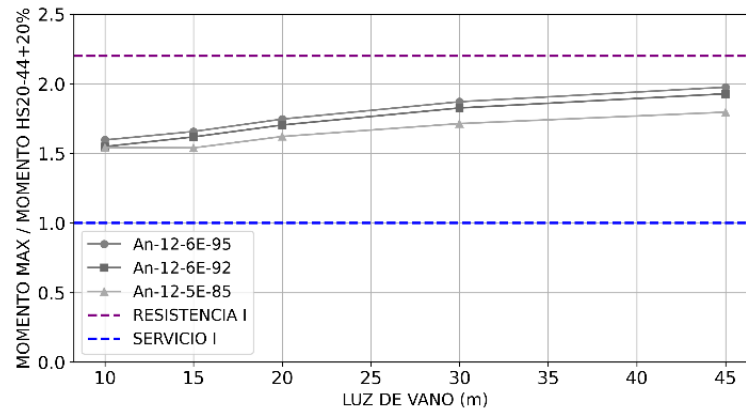


Figura A.4.4.27 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Los Ángeles” y HS20-44+20% - Dirección 1-2

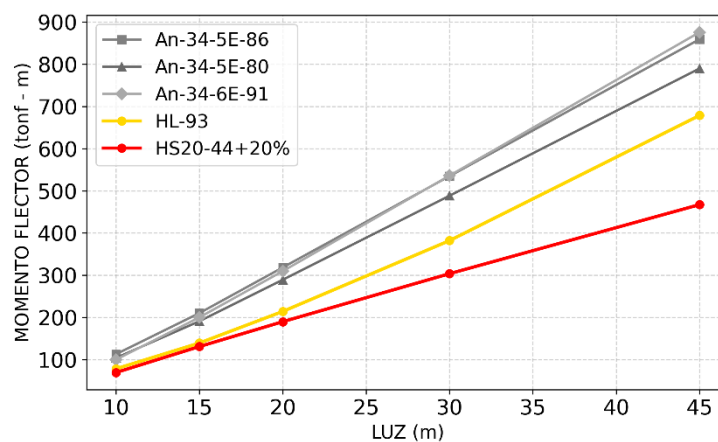


Figura A.4.4.28 Momentos flectores de supercamiones representativos de “Los Ángeles” y patrones de carga normativos – Dirección 3-4

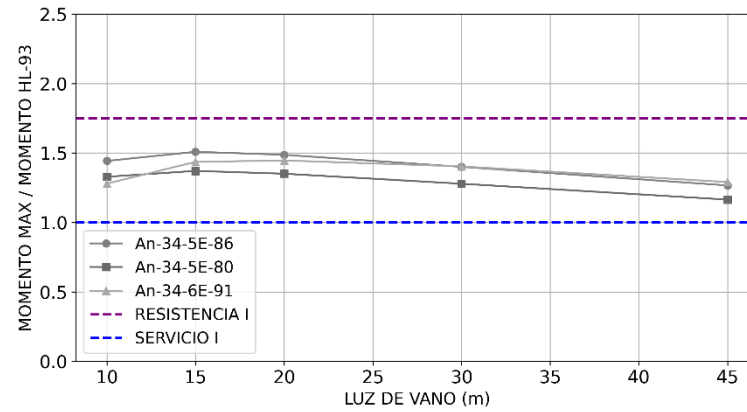


Figura A.4.4.29 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Los Ángeles” y HL-93 – Dirección 3-4

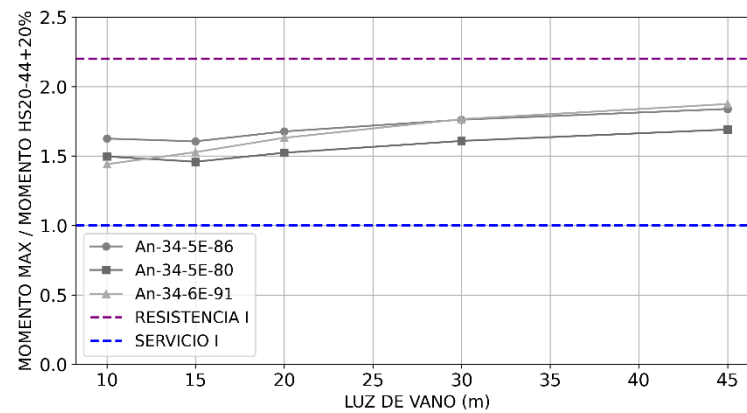


Figura A.4.4.30 Razones de demanda de momento entre supercamiones representativos de “Los Ángeles” y HS20-44+20% - Dirección 3-4

ANEXO 4.5 Comparación entre patrones de carga normativos y camiones representativos para fuerza cortante de cada estación de pesaje

Estación “La Negra” – Fuerza cortante

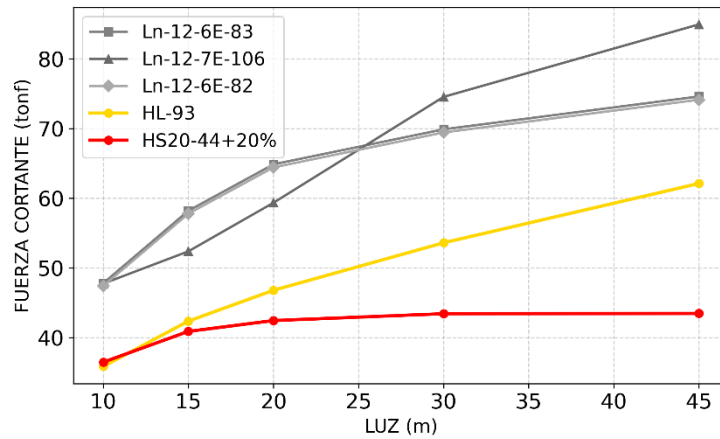


Figura A.4.5.1 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de “La Negra” y patrones de carga normativos – Dirección 1-2

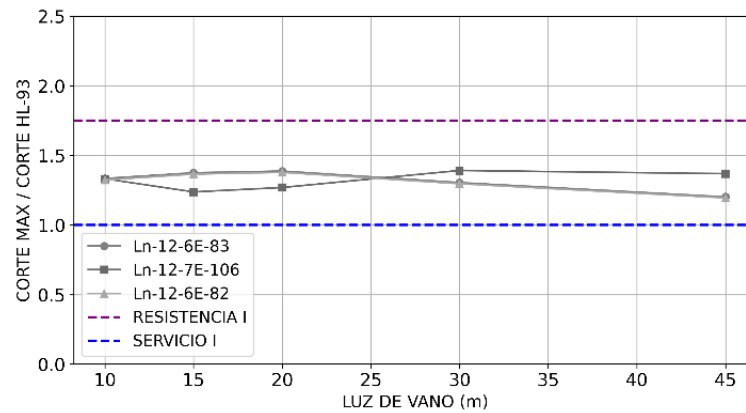


Figura A.4.5.2 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “La Negra” y HL-93 – Dirección 1-2

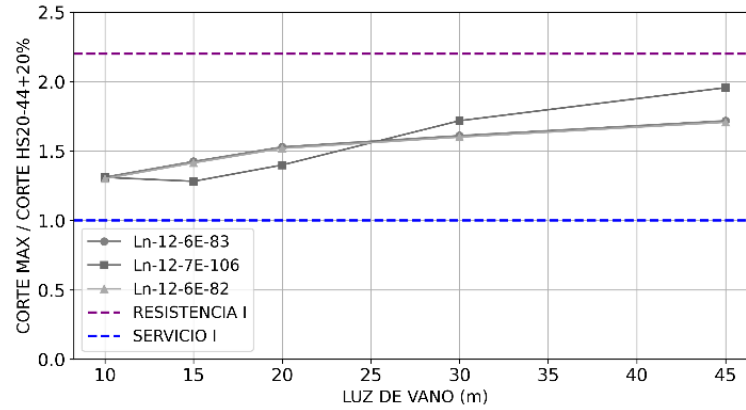


Figura A.4.5.3 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “La Negra” y HS20-44+20% - Dirección 1-2

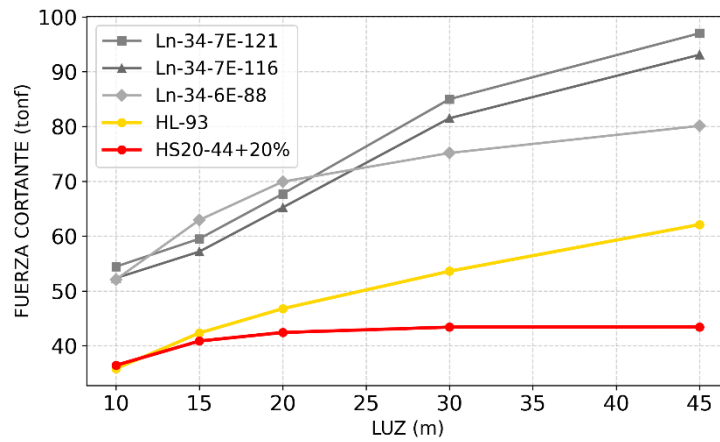


Figura A.4.5.4 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de “La Negra” y patrones de carga normativos – Dirección 3-4

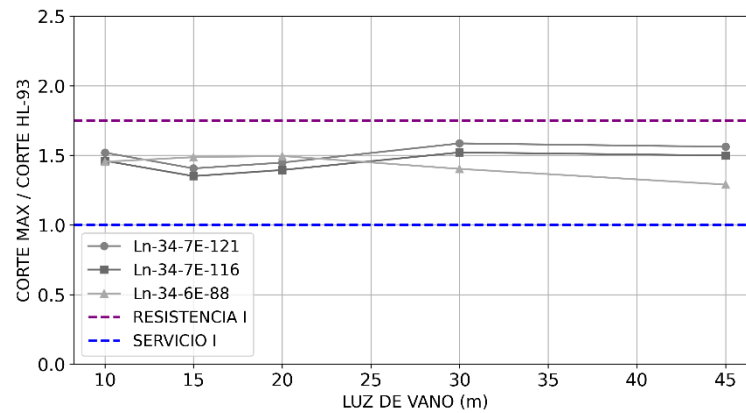


Figura A.4.5.5 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “La Negra” y HL-93 – Dirección 3-4

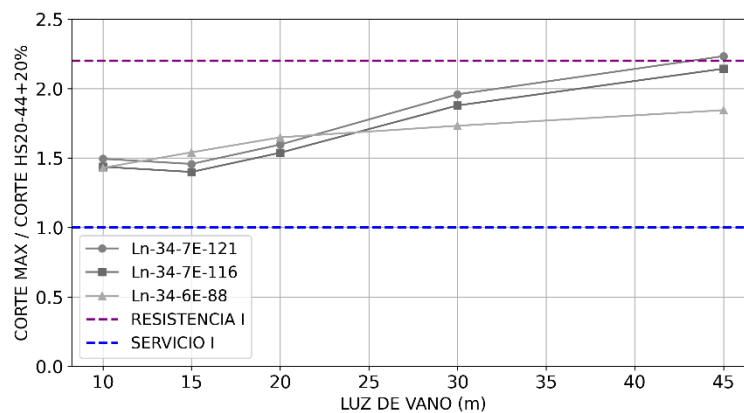


Figura A.4.5.6 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “La Negra” y HS20-44+20% - Dirección 3-4

▪ **Estación “Curacaví” – Fuerza cortante**

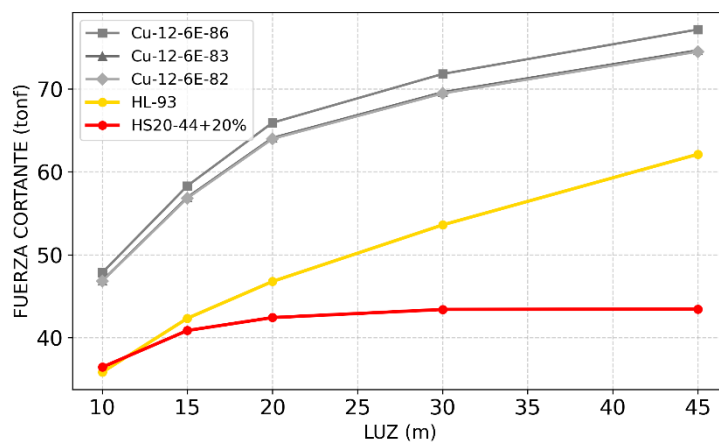


Figura A.4.5.7 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de “Curacaví” y patrones de carga normativos – Dirección 1-2

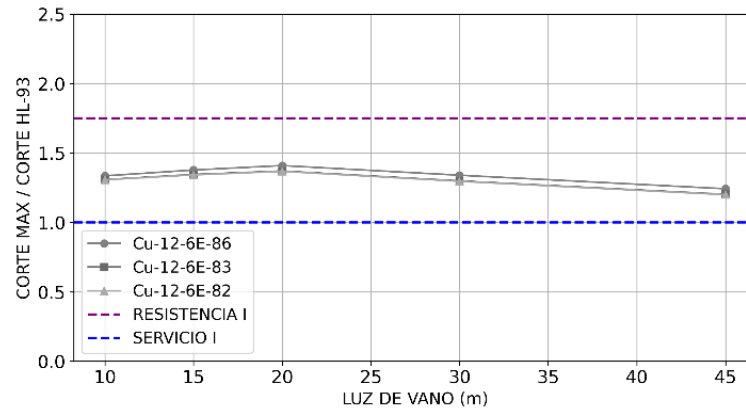


Figura A.4.5.8 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Curacaví” y HL-93 – Dirección 1-2

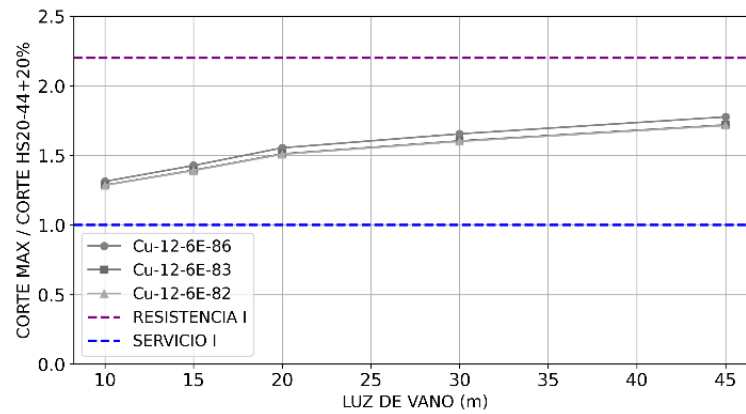


Figura A.4.5.9 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Curacaví” y HS20-44+20% - Dirección 1-2

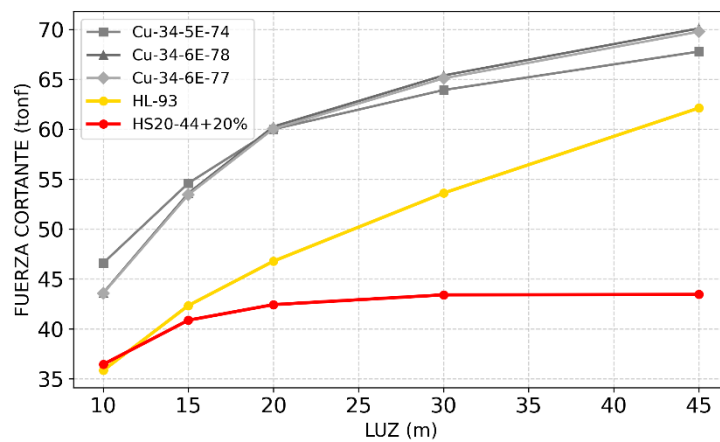


Figura A.4.5.10 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de “Curacaví” y patrones de carga normativos – Dirección 3-4

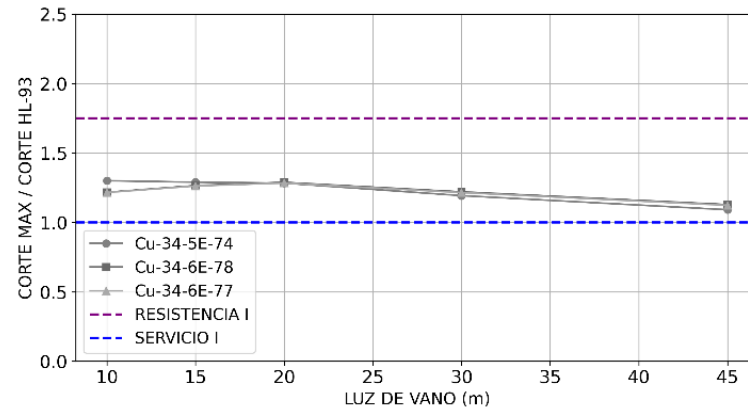


Figura A.4.5.11 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Curacaví” y HL-93 – Dirección 3-4

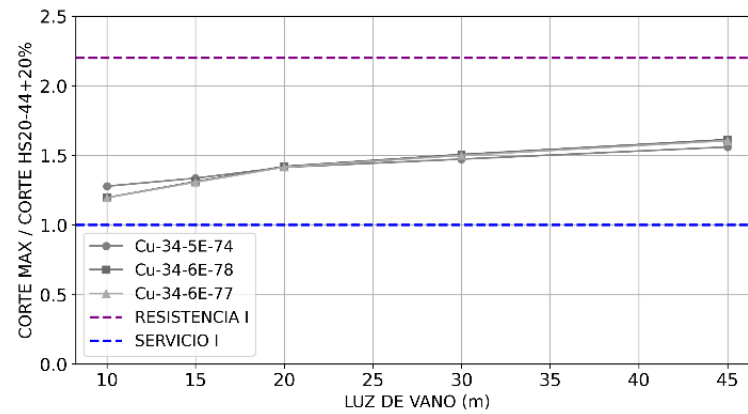


Figura A.4.5.12 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Curacaví” y HS20-44+20% - Dirección 3-4

▪ Estación “Lampa” – Fuerza cortante

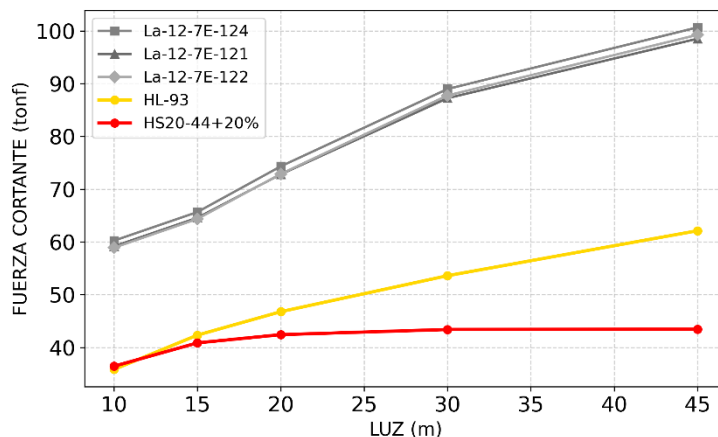


Figura A.4.5.13 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de “Lampa” y patrones de carga normativos – Dirección 1-2

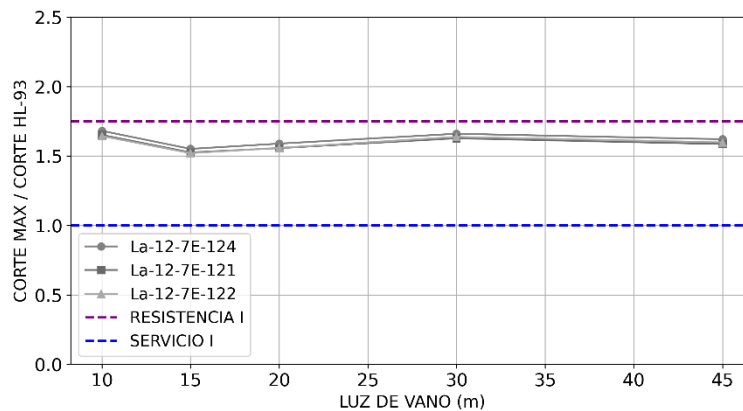


Figura A.4.5.14 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Lampa” y HL-93 – Dirección 1-2

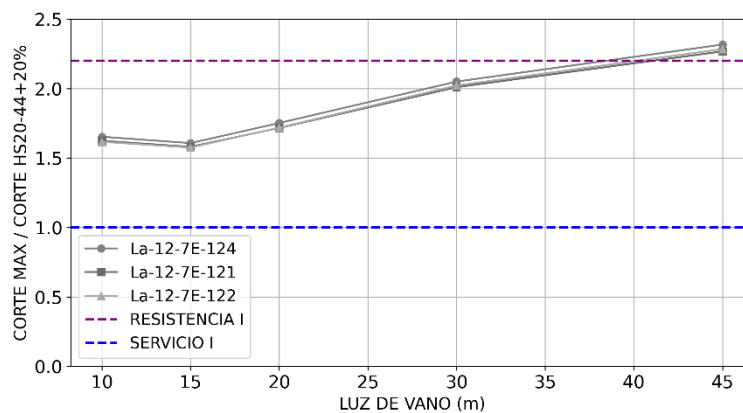


Figura A.4.5.15 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Lampa” y HS20-44+20% - Dirección 1-2

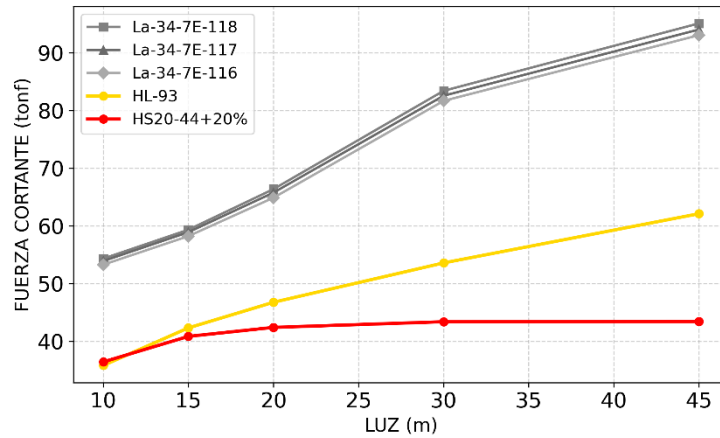


Figura A.4.5.16 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de “Lampa” y patrones de carga normativos – Dirección 3-4

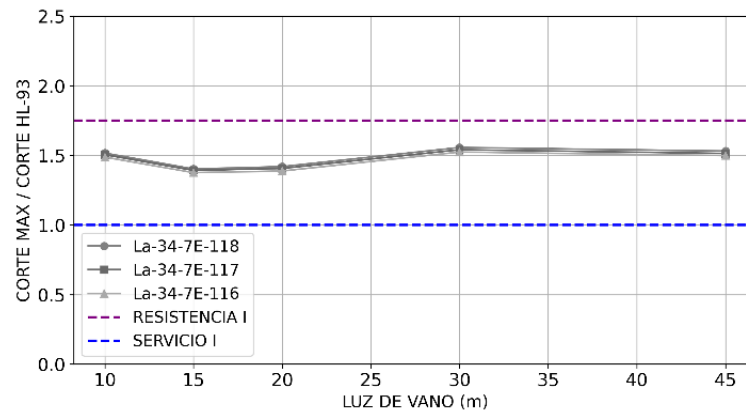


Figura A.4.5.17 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Lampa” y HL-93 – Dirección 3-4

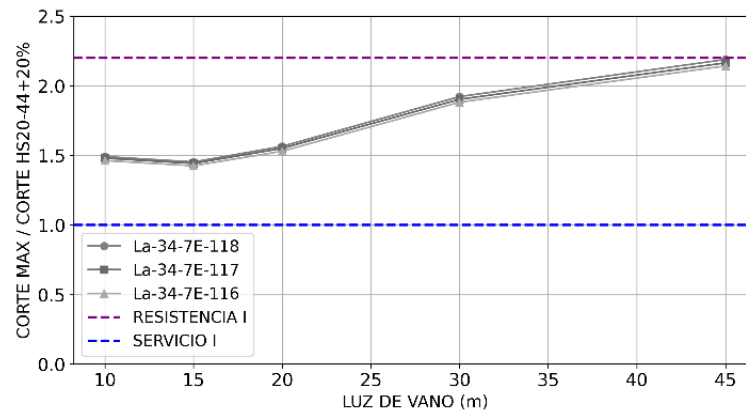


Figura A.4.5.18 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Lampa” y HS20-44+20% - Dirección 3-4

▪ Estación “El Monte” – Fuerza cortante

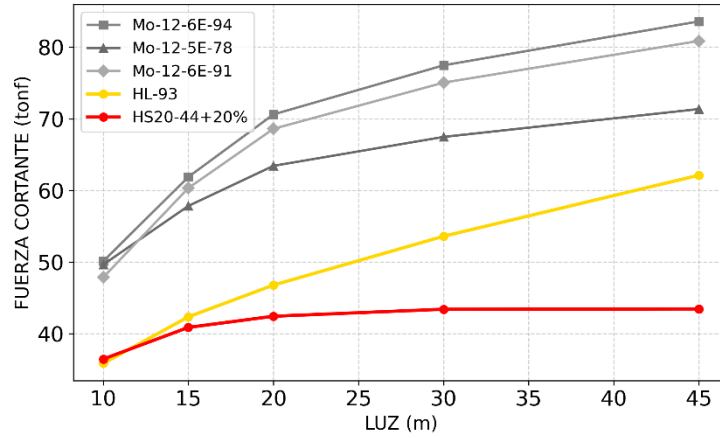


Figura A.4.5.19 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de “El Monte” y patrones de carga normativos – Dirección 1-2

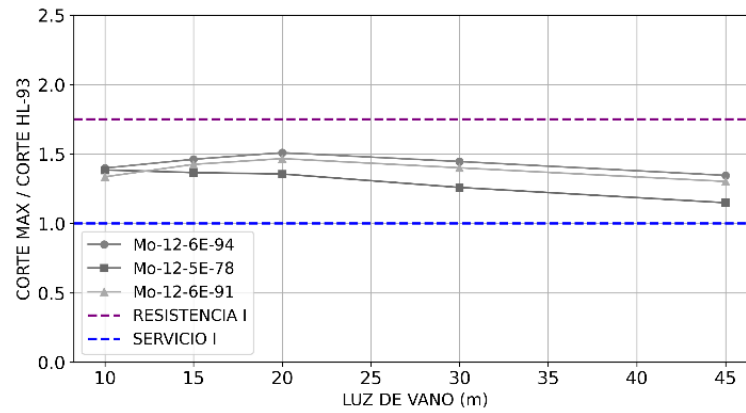


Figura A.4.5.20 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “El Monte” y HL-93 – Dirección 1-2

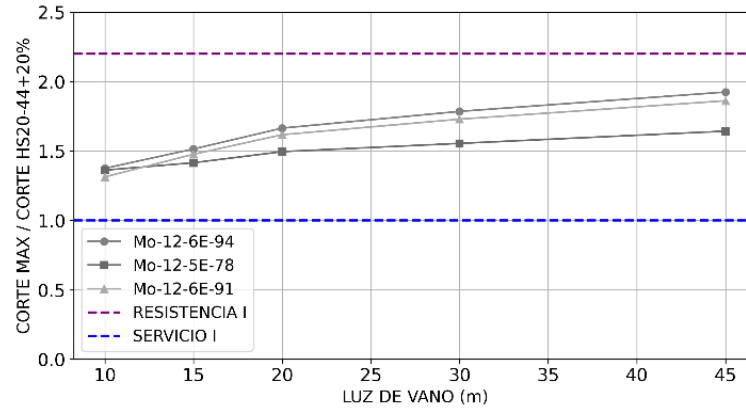


Figura A.4.5.21 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “El Monte” y HS20-44+20% - Dirección 1-2

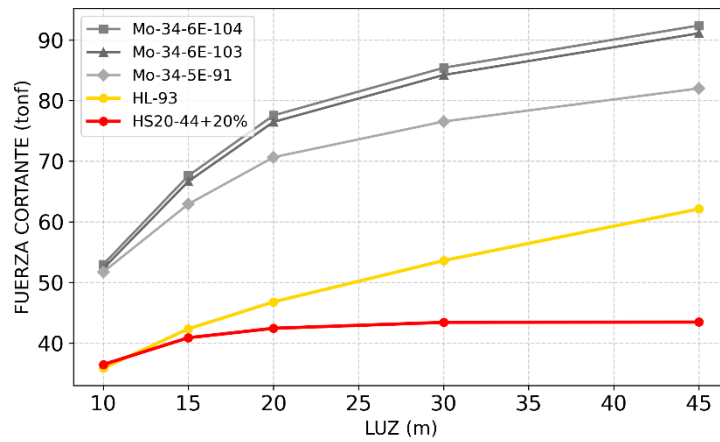


Figura A.4.5.22 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de “El Monte” y patrones de carga normativos – Dirección 3-4

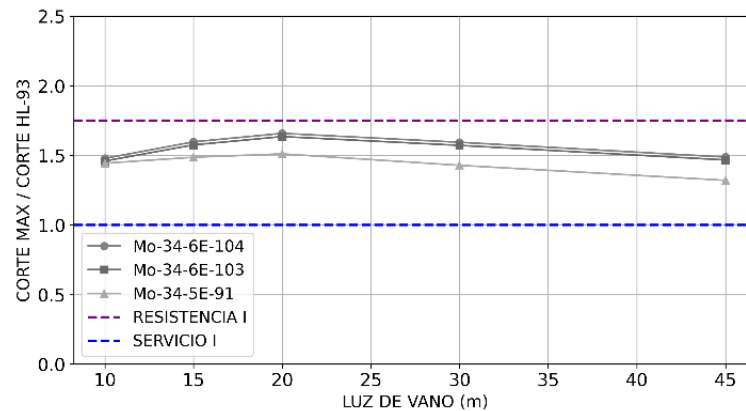


Figura A.4.5.23 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “El Monte” y HL-93 – Dirección 3-4

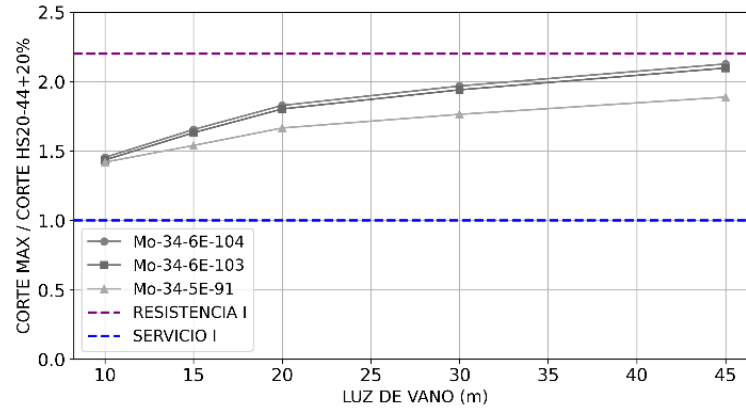


Figura A.4.5.24 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “El Monte” y HS20-44+20% - Dirección 3-4

▪ Estación “Los Ángeles” – Fuerza cortante

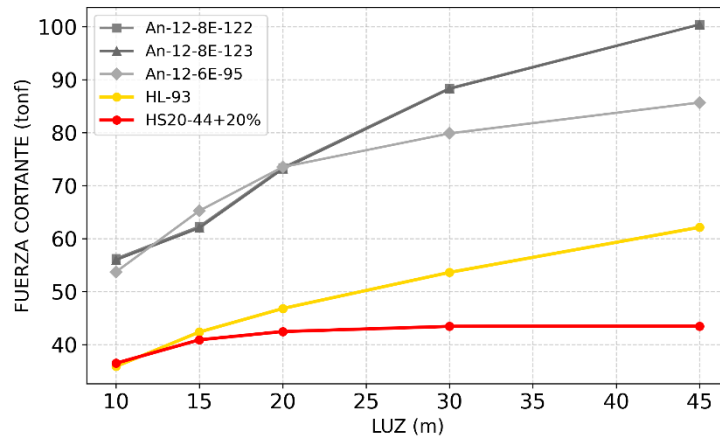


Figura A.4.5.25 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de “Los Ángeles” y patrones de carga normativos – Dirección 1-2

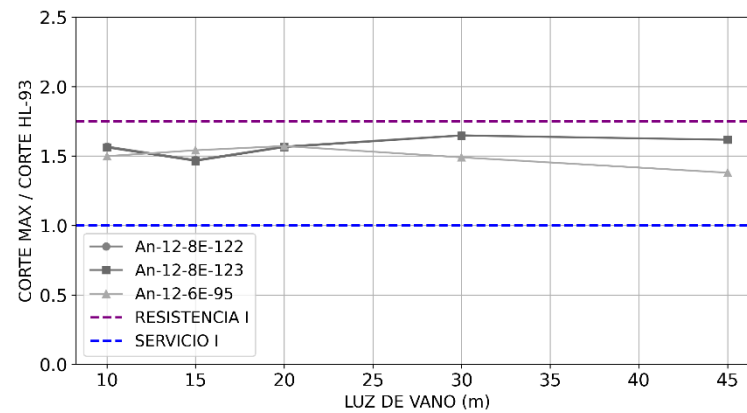


Figura A.4.5.26 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Los Ángeles” y HL-93 – Dirección 1-2

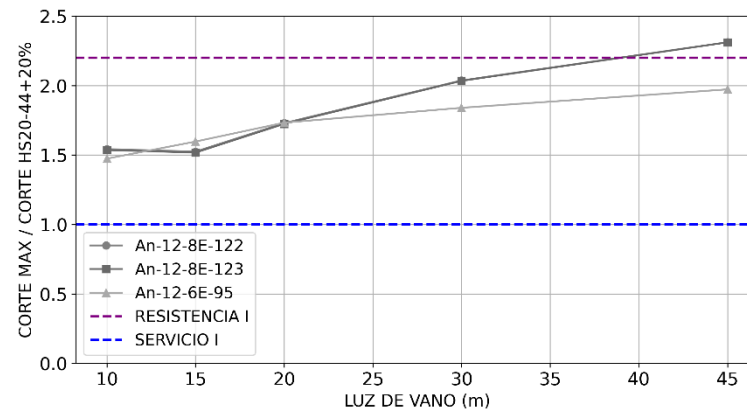


Figura A.4.5.27 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Los Ángeles” y HS20-44+20% - Dirección 1-2

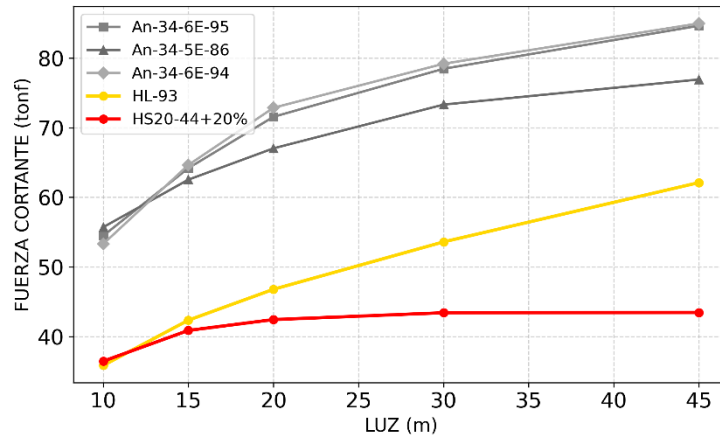


Figura A.4.5.28 Fuerzas cortantes de supercamiones representativos de “Los Ángeles” y patrones de carga normativos – Dirección 3-4

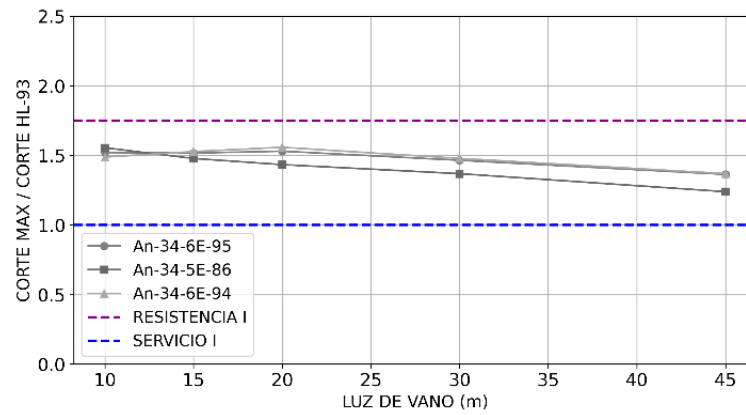


Figura A.4.5.29 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Los Ángeles” y HL-93 – Dirección 3-4

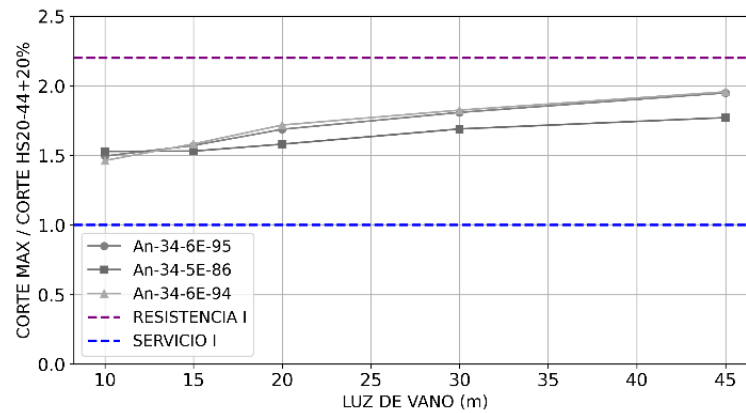


Figura A.4.5.30 Razones de demanda de corte entre supercamiones representativos de “Los Ángeles” y HS20-44+20% - Dirección 3-4

ANEXO 4.6 Análisis de registros de camiones para cada estación de pesaje

- **Estación “Curacaví” – Momento flector**

Tabla 4.6.1 Estadísticas de camiones para momento flector - Curacaví 10 m - Dirección 1-2

CURACAVI 10m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	58	15%	8,5	65,8	13%	6,6	72,3	9%	0,92	1,04
	8	56	14%	5,4	65,1	8%	6,2	71,2	9%	0,91	1,02
	9	156	39%	8,1	67,5	12%	6,3	72,2	9%	0,92	1,04

Tabla 4.6.2 Estadísticas de camiones para momento flector - Curacaví 10 m - Dirección 3-4

CURACAVI 10m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	3	49	12%	2,2	40,5	5%	3,3	71,1	5%	0,91	1,02
	6	222	55%	4,3	63,0	7%	4,5	74,9	6%	0,96	1,08
	9	87	21%	7,5	69,0	11%	6,5	76,1	9%	0,97	1,09

Tabla 4.6.3 Estadísticas de camiones para momento flector - Curacaví 15 m - Dirección 1-2

CURACAVI 15m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	128	32%	4,3	51,7	8%	9,8	122,4	8%	0,88	0,93
	6	81	20%	7,8	64,1	12%	18,8	139,3	14%	1,00	1,06
	9	142	36%	8,0	68,2	12%	10,7	126,7	9%	0,91	0,97

Tabla 4.6.4 Estadísticas de camiones para momento flector - Curacaví 15 m - Dirección 3-4

CURACAVI 15m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	50	12%	3,0	52,5	6%	5,1	123,5	4%	0,89	0,94
	6	175	43%	4,3	62,3	7%	7,7	128,4	6%	0,92	0,98
	9	123	30%	6,9	68,0	10%	10,5	129,1	8%	0,93	0,98

Tabla 4.6.5 Estadísticas de camiones para momento flector - Curacaví 20 m - Dirección 1-2

CURACAVI 20m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	191	48%	3,7	50,8	7%	13,6	183,3	7%	0,86	0,97
	6	119	30%	7,7	62,8	12%	28,9	209,9	14%	0,98	1,10
	9	78	20%	8,2	71,1	12%	14,7	189,7	8%	0,89	1,00

Tabla 4.6.6 Estadísticas de camiones para momento flector - Curacaví 20 m - Dirección 3-4

CURACAVI 20m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	32	8%	4,0	54,5	7%	7,5	193,1	4%	0,90	1,02
	6	325	80%	4,3	62,1	7%	11,8	199,3	6%	0,93	1,05
	9	34	8%	7,9	71,7	11%	18,0	201,0	9%	0,94	1,06

Tabla 4.6.7 Estadísticas de camiones para momento flector - Curacaví 30 m - Dirección 1-2

CURACAVI 30m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	136	34%	6,1	52,7	12%	26,0	316,0	8%	0,83	1,04
	6	143	36%	7,6	62,2	12%	48,5	358,6	14%	0,94	1,18
	9	89	22%	6,8	73,9	9%	26,0	327,1	8%	0,86	1,08

Tabla 4.6.8 Estadísticas de camiones para momento flector - Curacaví 30 m - Dirección 3-4

CURACAVI 30m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	11	3%	6,0	60,9	10%	16,9	348,4	5%	0,91	1,15
	6	357	88%	3,9	62,8	6%	18,5	352,1	5%	0,92	1,16
	9	21	5%	7,4	78,7	9%	28,4	357,1	8%	0,93	1,18

Tabla 4.6.9 Estadísticas de camiones para momento flector - Curacaví 45 m - Dirección 1-2

CURACAVI 45m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	100	25%	7,4	64,2	12%	77,9	608,0	13%	0,90	1,30
	8	57	14%	3,5	67,7	5%	33,4	546,3	6%	0,80	1,17
	9	195	49%	6,5	71,6	9%	50,3	576,8	9%	0,85	1,23

Tabla 4.6.10 Estadísticas de camiones para momento flector - Curacavi 45 m - Dirección 3-4

CURACAVI 45m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	293	72%	3,6	63,9	6%	30,7	594,2	5%	0,88	1,27
	7	10	2%	3,6	66,7	5%	24,1	613,9	4%	0,90	1,31
	9	91	22%	5,2	74,6	7%	42,5	599,7	7%	0,88	1,28

▪ **Estación “El Monte” – Momento flector**

Tabla 4.6.11 Estadísticas de camiones para momento flector – El Monte 10 m - Dirección 1-2

EL MONTE 10m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	4	43	11%	1,9	52,9	3%	29,6	106,1	28%	1,35	1,53
	6	103	25%	7,5	66,0	11%	32,4	113,7	29%	1,45	1,63
	9	208	51%	7,7	71,8	11%	6,7	77,7	9%	0,99	1,12

Tabla 4.6.12 Estadísticas de camiones para momento flector - El Monte 10 m - Dirección 3-4

EL MONTE 10m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	3	61	14%	2,3	39,8	6%	3,6	72,9	5%	0,93	1,05
	6	132	31%	11,4	74,6	15%	11,5	84,4	14%	1,08	1,21
	9	168	39%	18,7	84,1	22%	12,3	86,1	14%	1,10	1,24

Tabla 4.6.13 Estadísticas de camiones para momento flector - El Monte 15 m - Dirección 1-2

EL MONTE 15m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	52	13%	4,6	56,0	8%	10,1	133,5	8%	0,96	1,02
	6	106	26%	7,3	65,8	11%	9,7	139,3	7%	1,00	1,06
	9	196	48%	7,2	72,7	10%	7,0	134,7	5%	0,97	1,03

Tabla 4.6.14 Estadísticas de camiones para momento flector - El Monte 15 m - Dirección 3-4

EL MONTE 15m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	200	47%	10,5	71,2	15%	16,2	149,2	11%	1,07	1,14
	8	11	3%	14,2	74,4	19%	15,1	142,5	11%	1,02	1,09
	9	186	44%	17,9	83,7	21%	21,5	147,7	15%	1,06	1,13

Tabla 4.6.15 Estadísticas de camiones para momento flector - El Monte 20 m - Dirección 1-2

EL MONTE 20m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	78	19%	4,2	54,5	8%	14,7	197,6	7%	0,92	1,04
	6	171	42%	8,2	66,7	12%	17,1	214,3	8%	1,00	1,13
	9	124	30%	7,4	73,8	10%	10,6	197,9	5%	0,92	1,04

Tabla 4.6.16 Estadísticas de camiones para momento flector - El Monte 20 m - Dirección 3-4

EL MONTE 20m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	11	3%	13,0	64,8	20%	13,8	214,6	6%	1,00	1,13
	6	312	73%	9,4	68,7	14%	25,7	223,3	12%	1,04	1,18
	9	91	21%	19,7	94,4	21%	30,4	232,9	13%	1,09	1,23

Tabla 4.6.17 Estadísticas de camiones para momento flector - El Monte 30 m - Dirección 1-2

EL MONTE 30m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	51	12%	5,1	56,7	9%	25,6	342,2	7%	0,90	1,13
	6	200	49%	8,3	66,4	12%	37,0	373,1	10%	0,98	1,23
	9	128	31%	6,5	78,8	8%	28,7	345,3	8%	0,90	1,14

Tabla 4.6.18 Estadísticas de camiones para momento flector - El Monte 30 m - Dirección 3-4

EL MONTE 30m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	11	3%	12,4	68,0	18%	40,1	376,8	11%	0,99	1,24
	6	333	78%	9,7	69,6	14%	49,1	394,7	12%	1,03	1,30
	9	68	16%	16,4	101,4	16%	56,3	429,1	13%	1,12	1,41

Tabla 4.6.19 Estadísticas de camiones para momento flector - El Monte 45 m - Dirección 1-2

EL MONTE 45m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	14	3%	4,6	63,5	7%	38,0	611,5	6%	0,90	1,31
	6	124	30%	7,3	70,8	10%	57,1	655,7	9%	0,97	1,40
	9	251	61%	5,8	76,8	7%	46,7	615,7	8%	0,91	1,32

Tabla 4.6.20 Estadísticas de camiones para momento flector - El Monte 45 m - Dirección 3-4

EL MONTE 45m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	223	52%	10,0	72,9	14%	86,7	682,8	13%	1,01	1,46
	7	12	3%	6,3	75,3	8%	42,5	659,6	6%	0,97	1,41
	9	175	41%	15,3	88,3	17%	113,6	700,6	16%	1,03	1,50

▪ **Estación “La Negra” – Momento flector**

Tabla 4.6.21 Estadísticas de camiones para momento flector – La Negra 10 m - Dirección 1-2

LA NEGRA 10m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	114	60%	4,8	62,2	8%	4,4	80,1	5%	1,02	1,15
	7	43	23%	7,2	71,0	10%	6,4	82,0	8%	1,05	1,18
	8	15	8%	9,8	79,7	12%	5,5	82,2	7%	1,05	1,18

Tabla 4.6.22 Estadísticas de camiones para momento flector – La Negra 10 m - Dirección 3-4

LA NEGRA 10m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	104	45%	7,1	62,8	11%	8,6	78,7	11%	1,00	1,13
	7	42	18%	10,0	74,1	13%	7,9	85,1	9%	1,09	1,22
	9	29	13%	13,2	73,9	18%	8,3	84,4	10%	1,08	1,21

Tabla 4.6.23 Estadísticas de camiones para momento flector – La Negra 15 m - Dirección 1-2

LA NEGRA 15m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	151	79%	4,6	61,5	7%	10,2	148,2	7%	1,06	1,13
	7	20	10%	6,8	76,6	9%	9,2	146,0	6%	1,05	1,11
	9	9	5%	12,5	79,0	16%	9,4	147,4	6%	1,06	1,12

Tabla 4.6.24 Estadísticas de camiones para momento flector – La Negra 15 m - Dirección 3-4

LA NEGRA 15m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	23	10%	3,4	58,4	6%	7,8	140,0	6%	1,00	1,07
	6	136	59%	6,0	62,1	10%	14,0	149,4	9%	1,07	1,14
	7	29	13%	9,9	76,6	13%	11,8	148,2	8%	1,06	1,13

Tabla 4.6.25 Estadísticas de camiones para momento flector – La Negra 20 m - Dirección 1-2

LA NEGRA 20m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	171	90%	4,8	60,9	8%	17,1	221,9	8%	1,04	1,17
	7	10	5%	14,5	80,7	18%	14,5	220,5	7%	1,03	1,16
	9	5	3%	11,8	86,3	14%	12,9	215,9	6%	1,01	1,14

Tabla 4.6.26 Estadísticas de camiones para momento flector – La Negra 20 m – Dirección 3-4

LA NEGRA 20m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	29	13%	3,1	58,3	5%	11,4	211,9	5%	0,99	1,12
	6	156	68%	5,2	61,8	8%	19,4	224,0	9%	1,05	1,18
	7	27	12%	11,7	77,0	15%	15,5	218,5	7%	1,02	1,15

Tabla 4.6.27 Estadísticas de camiones para momento flector – La Negra 30 m - Dirección 1-2

LA NEGRA 30m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	150	79%	4,9	62,2	8%	25,6	375,5	7%	0,98	1,24
	7	25	13%	7,7	78,4	10%	28,5	387,4	7%	1,01	1,28
	8	8	4%	4,3	86,5	5%	12,6	373,1	3%	0,98	1,23

Tabla 4.6.28 Estadísticas de camiones para momento flector – La Negra 30 m - Dirección 3-4

LA NEGRA 30m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	18	8%	2,9	59,5	5%	18,1	364,9	5%	0,96	1,20
	6	133	58%	6,4	64,5	10%	33,6	384,0	9%	1,01	1,26
	7	51	22%	11,3	77,1	15%	30,2	388,0	8%	1,02	1,28

Tabla 4.6.29 Estadísticas de camiones para momento flector – La Negra 45 m - Dirección 1-2

LA NEGRA 45m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	116	61%	4,7	64,4	7%	41,2	621,9	7%	0,92	1,33
	7	45	24%	7,6	75,1	10%	59,1	644,3	9%	0,95	1,38
	8	18	9%	6,3	80,7	8%	46,8	647,8	7%	0,95	1,39

Tabla 4.6.30 Estadísticas de camiones para momento flector – La Negra 45 m - Dirección 3-4

LA NEGRA 45m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	103	45%	5,8	67,0	9%	51,1	635,5	8%	0,94	1,36
	7	73	32%	9,6	76,2	13%	62,0	658,6	9%	0,97	1,41
	8	26	11%	12,4	83,9	15%	97,4	681,7	14%	1,00	1,46

▪ **Estación “Lampa” – Momento flector**

Tabla 4.6.31 Estadísticas de camiones para momento flector – Lampa 10 m - Dirección 1-2

LAMPA 10m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	4	89	18%	4,9	50,4	10%	4,8	74,9	6%	0,96	1,08
	5	97	20%	3,7	54,2	7%	3,0	70,2	4%	0,90	1,01
	7	110	23%	13,3	71,5	19%	14,2	83,1	17%	1,06	1,20

Tabla 4.6.32 Estadísticas de camiones para momento flector – Lampa 10 m - Dirección 3-4

LAMPA 10m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	4	66	15%	4,8	43,9	11%	4,4	73,5	6%	0,94	1,06
	5	134	30%	5,1	58,6	9%	6,0	77,2	8%	0,98	1,11
	7	73	16%	11,1	75,5	15%	9,0	84,5	11%	1,08	1,21

Tabla 4.6.33 Estadísticas de camiones para momento flector – Lampa 15 m - Dirección 1-2

LAMPA 15m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	156	32%	3,2	54,0	6%	7,0	128,1	5%	0,92	0,98
	6	139	28%	8,2	66,7	12%	12,9	143,1	9%	1,03	1,09
	7	81	17%	13,1	77,7	17%	21,6	148,8	15%	1,07	1,14

Tabla 4.6.34 Estadísticas de camiones para momento flector – Lampa 15 m - Dirección 3-4

LAMPA 15m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	164	37%	4,6	58,6	8%	9,9	141,7	7%	1,02	1,08
	6	147	33%	4,9	66,2	7%	7,6	146,6	5%	1,05	1,12
	7	51	11%	9,7	80,2	12%	14,8	151,3	10%	1,08	1,15

Tabla 4.6.35 Estadísticas de camiones para momento flector – Lampa 20 m - Dirección 1-2

LAMPA 20m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	152	31%	3,1	54,2	6%	11,1	195,8	6%	0,91	1,03
	6	215	44%	7,6	65,7	12%	21,6	218,4	10%	1,02	1,15
	7	59	12%	12,7	84,1	15%	30,0	228,6	13%	1,07	1,20

Tabla 4.6.36 Estadísticas de camiones para momento flector – Lampa 20 m - Dirección 3-4

LAMPA 20m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	166	37%	4,7	58,6	8%	15,9	214,0	7%	1,00	1,13
	6	196	44%	5,0	65,8	8%	14,4	226,1	6%	1,06	1,19
	7	46	10%	9,7	79,5	12%	24,8	226,3	11%	1,06	1,19

Tabla 4.6.37 Estadísticas de camiones para momento flector – Lampa 30 m - Dirección 1-2

LAMPA 30m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	103	21%	4,2	54,9	8%	19,3	333,3	6%	0,87	1,10
	6	242	50%	7,7	65,2	12%	41,5	372,5	11%	0,98	1,23
	7	85	17%	11,5	82,1	14%	55,5	401,5	14%	1,05	1,32

Tabla 4.6.38 Estadísticas de camiones para momento flector – Lampa 30 m - Dirección 3-4

LAMPA 30m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	110	25%	4,9	60,0	8%	29,1	368,4	8%	0,96	1,21
	6	206	46%	5,3	66,2	8%	28,4	386,6	7%	1,01	1,27
	7	71	16%	8,8	80,5	11%	39,8	402,3	10%	1,05	1,32

Tabla 4.6.39 Estadísticas de camiones para momento flector – Lampa 45 m - Dirección 1-2

LAMPA 45m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	229	47%	7,9	65,1	12%	72,8	611,1	12%	0,90	1,31
	7	109	22%	11,7	79,3	15%	101,5	677,7	15%	1,00	1,45
	9	60	12%	19,2	87,8	22%	151,6	717,2	21%	1,06	1,53

Tabla 4.6.40 Estadísticas de camiones para momento flector – Lampa 45 m - Dirección 3-4

LAMPA 45m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	67	15%	5,2	62,9	8%	49,3	611,9	8%	0,90	1,31
	6	172	38%	5,2	67,2	8%	47,4	637,8	7%	0,94	1,36
	7	103	23%	8,2	79,5	10%	66,3	680,4	10%	1,00	1,46

▪ **Estación “Los Ángeles” – Momento flector**

Tabla 4.6.41 Estadísticas de camiones para momento flector – Los Ángeles 10 m - Dirección 1-2

LOS ANGELES 10m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	55	13%	5,0	61,3	8%	6,1	74,5	8%	0,95	1,07
	6	51	13%	4,5	71,5	6%	8,4	77,8	11%	0,99	1,12
	9	262	64%	10,4	87,5	12%	7,7	93,5	8%	1,19	1,34

Tabla 4.6.42 Estadísticas de camiones para momento flector – Los Ángeles 10 m - Dirección 3-4

LOS ANGELES 10m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	3	45	10%	3,2	44,6	7%	4,8	77,2	6%	0,98	1,11
	5	60	13%	3,3	65,0	5%	4,6	77,0	6%	0,98	1,11
	9	290	63%	9,0	85,5	11%	7,5	93,4	8%	1,19	1,34

Tabla 4.6.43 Estadísticas de camiones para momento flector – Los Ángeles 15 m - Dirección 1-2

LOS ANGELES 15m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	40	10%	4,0	65,1	6%	8,5	156,6	5%	1,12	1,19
	6	117	29%	4,4	69,8	6%	9,6	157,9	6%	1,13	1,20
	9	228	56%	10,0	89,3	11%	13,2	164,1	8%	1,18	1,25

Tabla 4.6.44 Estadísticas de camiones para momento flector – Los Ángeles 15 m - Dirección 3-4

LOS ANGELES 15m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	57	12%	2,9	66,1	4%	5,9	155,8	4%	1,12	1,19
	6	102	22%	4,0	71,9	6%	8,1	158,3	5%	1,14	1,21
	9	269	59%	9,2	85,8	11%	11,7	163,5	7%	1,17	1,25

Tabla 4.6.45 Estadísticas de camiones para momento flector – Los Ángeles 20 m - Dirección 1-2

LOS ANGELES 20m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	46	11%	3,9	65,1	6%	15,2	235,8	6%	1,10	1,24
	6	206	50%	4,6	68,4	7%	15,5	239,4	6%	1,12	1,26
	9	154	38%	9,7	92,0	11%	17,4	241,4	7%	1,13	1,27

Tabla 4.6.46 Estadísticas de camiones para momento flector – Los Ángeles 20 m - Dirección 3-4

LOS ANGELES 20m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	80	17%	6,3	67,8	9%	9,7	235,9	4%	1,10	1,24
	6	197	43%	4,0	69,6	6%	13,7	239,7	6%	1,12	1,26
	9	170	37%	9,4	88,3	11%	15,6	240,6	6%	1,12	1,27

Tabla 4.6.47 Estadísticas de camiones para momento flector – Los Ángeles 30 m - Dirección 1-2

LOS ANGELES 30m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	25	6%	4,4	66,3	7%	28,1	405,3	7%	1,06	1,33
	6	158	39%	5,1	69,5	7%	28,2	412,9	7%	1,08	1,36
	9	207	51%	7,5	95,3	8%	29,7	422,4	7%	1,11	1,39

Tabla 4.6.48 Estadísticas de camiones para momento flector – Los Ángeles 30 m - Dirección 3-4

LOS ANGELES 30m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	102	22%	5,7	74,8	8%	18,8	409,2	5%	1,07	1,35
	6	171	37%	4,5	70,3	6%	24,9	415,0	6%	1,09	1,37
	9	170	37%	8,3	94,2	9%	29,6	419,9	7%	1,10	1,38

Tabla 4.6.49 Estadísticas de camiones para momento flector – Los Ángeles 45 m - Dirección 1-2

LOS ANGELES 45m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	31	8%	6,5	73,6	9%	59,6	706,8	8%	1,04	1,51
	8	21	5%	10,3	88,8	12%	81,6	735,4	11%	1,08	1,57
	9	350	86%	7,4	93,3	8%	58,1	751,3	8%	1,11	1,61

Tabla 4.6.50 Estadísticas de camiones para momento flector – Los Ángeles 45 m - Dirección 3-4

LOS ANGELES 45m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	MOM. σ	MOM. $\bar{x}$	COV MOM.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	16	3%	4,1	80,3	5%	31,6	730,0	4%	1,08	1,56
	6	38	8%	4,5	74,7	6%	43,5	720,4	6%	1,06	1,54
	9	386	84%	6,6	92,0	7%	50,4	739,5	7%	1,09	1,58

▪ Estación “Curacaví” – Fuerza cortante

Tabla 4.6.51 Estadísticas de camiones para fuerza cortante - Curacaví 10 m - Dirección 1-2

CURACAVI 10m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	141	35%	4,5	51,1	9%	3,2	32,4	10%	0,90	0,89
	6	85	21%	8,5	64,3	13%	4,6	35,6	13%	0,99	0,98
	9	126	32%	8,4	70,7	12%	3,0	33,7	9%	0,94	0,93

Tabla 4.6.52 Estadísticas de camiones para fuerza cortante - Curacaví 10 m - Dirección 3-4

CURACAVI 10m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	45	11%	3,9	52,3	7%	1,7	33,2	5%	0,93	0,91
	6	260	64%	4,1	62,8	7%	2,0	34,6	6%	0,97	0,95
	9	63	16%	8,2	71,5	11%	2,9	35,0	8%	0,98	0,96

Tabla 4.6.53 Estadísticas de camiones para fuerza cortante - Curacaví 15 m - Dirección 1-2

CURACAVI 15m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	181	45%	4,3	51,0	8%	3,1	37,1	8%	0,88	0,91
	6	123	31%	7,4	63,5	12%	5,0	42,0	12%	0,99	1,03
	9	73	18%	8,8	72,2	12%	3,4	38,6	9%	0,91	0,94

Tabla 4.6.54 Estadísticas de camiones para fuerza cortante - Curacaví 15 m - Dirección 3-4

CURACAVI 15m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	17	4%	4,4	55,4	8%	2,0	40,1	5%	0,95	0,98
	6	356	88%	3,8	62,6	6%	2,4	41,8	6%	0,99	1,02
	9	17	4%	8,5	77,5	11%	3,3	42,9	8%	1,01	1,05

Tabla 4.6.55 Estadísticas de camiones para fuerza cortante - Curacaví 20 m - Dirección 1-2

CURACAVI 20m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	126	32%	4,1	51,5	8%	3,5	41,0	9%	0,88	0,97
	6	151	38%	7,4	62,1	12%	5,6	46,0	12%	0,98	1,09
	9	95	24%	7,4	72,6	10%	3,8	42,7	9%	0,91	1,01

Tabla 4.6.56 Estadísticas de camiones para fuerza cortante - Curacaví 20 m - Dirección 3-4

CURACAVI 20m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	9	2%	4,8	59,2	8%	2,1	46,1	5%	0,99	1,09
	6	361	89%	3,7	63,0	6%	2,7	47,0	6%	1,00	1,11
	9	20	5%	7,8	77,1	10%	3,8	47,3	8%	1,01	1,12

Tabla 4.6.57 Estadísticas de camiones para fuerza cortante - Curacaví 30 m - Dirección 1-2

CURACAVI 30m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	110	28%	7,2	64,1	11%	6,1	53,0	12%	0,99	1,22
	8	70	18%	3,9	66,9	6%	3,1	47,5	6%	0,89	1,10
	9	173	43%	6,5	72,1	9%	4,4	50,6	9%	0,94	1,17

Tabla 4.6.58 Estadísticas de camiones para fuerza cortante - Curacaví 30 m - Dirección 3-4

CURACAVI 30m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	320	79%	3,4	63,7	5%	2,7	52,6	5%	0,98	1,21
	7	10	2%	2,9	67,7	4%	1,9	52,4	4%	0,98	1,21
	9	65	16%	5,6	75,6	7%	3,8	53,3	7%	0,99	1,23

Tabla 4.6.59 Estadísticas de camiones para fuerza cortante - Curacaví 45 m - Dirección 1-2

CURACAVI 45m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	69	17%	7,4	66,5	11%	6,7	58,8	11%	0,95	1,35
	8	82	21%	3,7	66,5	6%	3,2	53,4	6%	0,86	1,23
	9	213	53%	6,2	72,0	9%	4,9	57,4	9%	0,92	1,32

Tabla 4.6.60 Estadísticas de camiones para fuerza cortante - Curacaví 45 m - Dirección 3-4

CURACAVI 45m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	241	60%	3,2	64,8	5%	2,8	57,2	5%	0,92	1,32
	8	14	3%	4,9	69,5	7%	4,6	56,9	8%	0,92	1,31
	9	138	34%	5,2	72,9	7%	4,1	58,2	7%	0,94	1,34

▪ Estación “El Monte” – Fuerza cortante

Tabla 4.6.61 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – El Monte 10 m - Dirección 1-2

EL MONTE 10m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	4	67	16%	4,2	55,6	8%	2,1	37,6	6%	1,05	1,03
	6	84	21%	8,5	70,2	12%	3,1	37,3	8%	1,04	1,02
	9	184	45%	8,6	74,1	12%	3,5	35,7	10%	1,00	0,98

Tabla 4.6.62 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – El Monte 10 m - Dirección 3-4

EL MONTE 10m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	214	50%	10,0	71,5	14%	4,5	38,6	12%	1,08	1,06
	8	17	4%	13,0	70,3	18%	3,7	36,1	10%	1,01	0,99
	9	153	36%	18,7	86,2	22%	5,0	38,7	13%	1,08	1,06

Tabla 4.6.63 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – El Monte 15 m - Dirección 1-2

EL MONTE 15m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	70	17%	4,2	54,8	8%	3,1	39,9	8%	0,94	0,98
	6	185	45%	8,8	66,2	13%	4,3	43,1	10%	1,02	1,05
	9	111	27%	9,1	75,7	12%	4,1	41,2	10%	0,97	1,01

Tabla 4.6.64 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – El Monte 15 m - Dirección 3-4

EL MONTE 15m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	12	3%	12,5	65,8	19%	3,5	43,1	8%	1,02	1,05
	6	330	77%	9,6	69,4	14%	5,3	45,6	12%	1,08	1,12
	9	68	16%	19,7	98,2	20%	5,2	47,8	11%	1,13	1,17

Tabla 4.6.65 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – El Monte 20 m - Dirección 1-2

EL MONTE 20m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	39	10%	4,4	56,7	8%	3,6	45,1	8%	0,96	1,06
	6	201	49%	8,5	65,9	13%	4,8	48,2	10%	1,03	1,14
	9	133	33%	7,2	77,6	9%	4,2	45,7	9%	0,98	1,08

Tabla 4.6.66 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – El Monte 20 m - Dirección 3-4

EL MONTE 20m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	336	79%	9,6	69,7	14%	6,1	51,3	12%	1,10	1,21
	7	8	2%	6,4	75,5	8%	3,1	48,1	7%	1,03	1,13
	9	69	16%	17,8	99,4	18%	6,8	55,0	12%	1,17	1,30

Tabla 4.6.67 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – El Monte 30 m - Dirección 1-2

EL MONTE 30m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	13	3%	4,3	62,3	7%	3,5	53,0	7%	0,99	1,22
	6	134	33%	7,6	70,1	11%	5,2	57,0	9%	1,06	1,31
	9	240	59%	5,9	76,8	8%	4,3	53,8	8%	1,00	1,24

Tabla 4.6.68 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – El Monte 30 m - Dirección 3-4

EL MONTE 30m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	234	55%	9,9	72,6	14%	7,5	59,7	13%	1,11	1,37
	8	13	3%	10,4	78,4	13%	7,0	56,6	12%	1,06	1,30
	9	165	39%	15,6	88,9	18%	9,6	61,2	16%	1,14	1,41

Tabla 4.6.69 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – El Monte 45 m - Dirección 1-2

EL MONTE 45m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	84	21%	6,0	74,3	8%	4,6	64,7	7%	1,04	1,49
	8	13	3%	10,4	75,0	14%	7,9	60,7	13%	0,98	1,40
	9	301	74%	5,6	76,2	7%	4,5	60,7	7%	0,98	1,40

Tabla 4.6.70 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – El Monte 45 m - Dirección 3-4

EL MONTE 45m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	152	36%	10,6	76,1	14%	8,8	67,0	13%	1,08	1,54
	8	15	4%	9,7	78,4	12%	7,5	63,7	12%	1,03	1,47
	9	246	58%	14,2	84,8	17%	10,7	67,2	16%	1,08	1,55

▪ **Estación “La Negra” – Fuerza cortante**

Tabla 4.6.71 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – La Negra 10 m - Dirección 1-2

LA NEGRA 10m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	12	6%	5,0	57,4	9%	2,3	36,0	6%	1,00	0,99
	6	134	70%	4,7	61,4	8%	2,5	37,1	7%	1,04	1,02
	7	19	10%	7,9	77,8	10%	2,8	37,4	7%	1,04	1,03

Tabla 4.6.72 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – La Negra 10 m - Dirección 3-4

LA NEGRA 10m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	36	16%	3,0	58,0	5%	1,8	36,0	5%	1,00	0,99
	6	105	46%	6,3	63,4	10%	3,8	38,2	10%	1,07	1,05
	7	31	13%	10,1	82,0	12%	3,3	38,2	9%	1,06	1,05

Tabla 4.6.73 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – La Negra 15 m - Dirección 1-2

LA NEGRA 15m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	7	4%	4,6	60,2	8%	2,9	43,0	7%	1,02	1,05
	6	164	86%	5,0	61,6	8%	3,2	44,2	7%	1,04	1,08
	7	9	5%	6,1	82,7	7%	3,3	44,5	7%	1,05	1,09

Tabla 4.6.74 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – La Negra 15 m - Dirección 3-4

LA NEGRA 15m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	39	17%	3,2	57,5	6%	2,3	41,7	5%	0,99	1,02
	6	147	64%	6,7	63,1	11%	4,0	44,8	9%	1,06	1,10
	7	15	7%	10,0	88,3	11%	3,5	44,1	8%	1,04	1,08

Tabla 4.6.75 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – La Negra 20 m - Dirección 1-2

LA NEGRA 20m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	157	82%	5,0	62,5	8%	3,6	48,5	7%	1,04	1,14
	7	15	8%	5,7	81,1	7%	3,6	49,9	7%	1,07	1,18
	8	8	4%	5,2	85,9	6%	1,5	48,4	3%	1,03	1,14

Tabla 4.6.76 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – La Negra 20 m - Dirección 3-4

LA NEGRA 20m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	29	13%	3,0	58,4	5%	2,3	46,4	5%	0,99	1,09
	6	143	62%	6,3	63,6	10%	3,6	49,0	7%	1,05	1,15
	7	29	13%	10,4	83,0	13%	3,7	49,3	8%	1,05	1,16

Tabla 4.6.77 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – La Negra 30 m - Dirección 1-2

LA NEGRA 30m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	121	63%	4,6	64,3	7%	3,2	53,9	6%	1,01	1,24
	7	36	19%	7,0	77,2	9%	4,9	56,9	9%	1,06	1,31
	8	19	10%	6,4	80,3	8%	4,2	56,7	7%	1,06	1,31

Tabla 4.6.78 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – La Negra 30 m - Dirección 3-4

LA NEGRA 30m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	104	45%	6,0	66,7	9%	4,7	55,3	9%	1,03	1,27
	7	65	28%	9,2	77,6	12%	5,4	56,8	10%	1,06	1,31
	8	26	11%	12,8	83,5	15%	8,4	59,4	14%	1,11	1,37

Tabla 4.6.79 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – La Negra 45 m - Dirección 1-2

LA NEGRA 45m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	96	50%	4,2	65,6	6%	3,5	58,1	6%	0,94	1,34
	7	51	27%	7,2	74,9	10%	5,8	61,6	9%	0,99	1,42
	8	24	13%	7,2	78,4	9%	5,5	63,0	9%	1,01	1,45

Tabla 4.6.80 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – La Negra 45 m - Dirección 3-4

LA NEGRA 45m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	81	35%	5,5	68,5	8%	4,4	59,8	7%	0,96	1,38
	7	72	31%	8,9	77,0	12%	5,9	60,6	10%	0,98	1,39
	8	38	17%	11,9	79,9	15%	9,0	63,3	14%	1,02	1,46

▪ Estación “Lampa” – Fuerza cortante

Tabla 4.6.81 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Lampa 10 m - Dirección 1-2

LAMPA 10m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	167	34%	3,5	54,0	6%	2,7	33,8	8%	0,94	0,93
	6	111	23%	8,6	68,5	13%	4,0	37,5	11%	1,05	1,03
	7	75	15%	11,9	83,0	14%	5,8	40,3	14%	1,12	1,11

Tabla 4.6.82 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Lampa 10 m - Dirección 3-4

LAMPA 10m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	183	41%	4,7	58,4	8%	3,0	37,3	8%	1,04	1,02
	6	107	24%	5,8	68,1	9%	2,3	38,6	6%	1,08	1,06
	7	54	12%	8,2	83,0	10%	3,6	39,7	9%	1,11	1,09

Tabla 4.6.83 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Lampa 15 m - Dirección 1-2

LAMPA 15m 1-2	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	161	33%	3,8	54,4	7%	2,8	39,5	7%	0,93	0,97
	6	180	37%	8,1	66,4	12%	4,7	43,4	11%	1,03	1,06
	7	57	12%	11,4	86,2	13%	6,0	46,6	13%	1,10	1,14

Tabla 4.6.84 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Lampa 15 m - Dirección 3-4

LAMPA 15m 3-4	N° EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	164	37%	4,7	58,9	8%	3,6	43,2	8%	1,02	1,06
	6	179	40%	5,1	66,9	8%	2,9	45,0	6%	1,06	1,10
	7	41	9%	7,9	84,5	9%	4,4	45,6	10%	1,08	1,11

Tabla 4.6.85 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Lampa 20 m - Dirección 1-2

LAMPA 20m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	112	23%	4,2	55,3	8%	3,0	43,8	7%	0,94	1,03
	6	237	49%	7,8	65,5	12%	5,1	47,8	11%	1,02	1,13
	7	67	14%	11,3	85,0	13%	6,5	51,6	13%	1,10	1,22

Tabla 4.6.86 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Lampa 20 m - Dirección 3-4

LAMPA 20m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	120	27%	4,9	60,0	8%	4,0	48,0	8%	1,03	1,13
	6	202	45%	5,1	66,6	8%	3,7	49,7	7%	1,06	1,17
	7	58	13%	8,8	82,2	11%	5,2	50,9	10%	1,09	1,20

Tabla 4.6.87 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Lampa 30 m - Dirección 1-2

LAMPA 30m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	228	47%	7,8	65,3	12%	6,2	53,1	12%	0,99	1,22
	7	107	22%	11,9	79,5	15%	8,8	58,2	15%	1,09	1,34
	9	58	12%	19,4	88,1	22%	13,1	62,4	21%	1,17	1,44

Tabla 4.6.88 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Lampa 30 m - Dirección 3-4

LAMPA 30m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	65	15%	4,9	62,9	8%	4,4	54,1	8%	1,01	1,25
	6	185	41%	5,0	67,2	8%	4,0	55,3	7%	1,03	1,27
	7	100	22%	8,1	79,7	10%	5,9	58,7	10%	1,09	1,35

Tabla 4.6.89 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Lampa 45 m - Dirección 1-2

LAMPA 45m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	201	41%	8,1	65,5	12%	7,0	57,3	12%	0,92	1,32
	7	133	27%	12,4	76,7	16%	10,1	62,9	16%	1,01	1,45
	9	73	15%	17,9	86,0	21%	14,1	69,0	20%	1,11	1,59

Tabla 4.6.90 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Lampa 45 m - Dirección 3-4

LAMPA 45m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	149	33%	5,0	68,2	7%	4,3	59,9	7%	0,97	1,38
	7	117	26%	8,6	78,2	11%	6,9	64,4	11%	1,04	1,48
	8	78	17%	10,0	80,9	12%	7,7	65,4	12%	1,05	1,51

▪ Estación “Los Ángeles” – Fuerza cortante

Tabla 4.6.91 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Los Ángeles 10 m - Dirección 1-2

LOS ANGELES 10m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	33	8%	4,6	65,2	7%	3,2	41,0	8%	1,14	1,13
	6	46	11%	5,1	72,1	7%	3,0	40,9	7%	1,14	1,12
	9	292	72%	10,2	89,9	11%	3,7	43,0	9%	1,20	1,18

Tabla 4.6.92 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Los Ángeles 10 m - Dirección 3-4

LOS ANGELES 10m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	61	13%	6,0	64,8	9%	2,6	41,3	6%	1,15	1,13
	8	35	8%	7,2	83,1	9%	3,6	43,4	8%	1,21	1,19
	9	321	70%	10,1	87,3	12%	3,6	42,9	8%	1,20	1,18

Tabla 4.6.93 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Los Ángeles 15 m - Dirección 1-2

LOS ANGELES 15m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	56	14%	4,1	63,9	6%	3,3	46,5	7%	1,10	1,14
	6	108	26%	5,4	70,8	8%	3,2	47,1	7%	1,11	1,15
	9	222	54%	9,7	91,8	11%	3,9	48,7	8%	1,15	1,19

Tabla 4.6.94 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Los Ángeles 15 m - Dirección 3-4

LOS ANGELES 15m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	137	30%	7,7	69,5	11%	2,6	47,1	5%	1,11	1,15
	6	86	19%	4,9	72,3	7%	3,1	47,0	7%	1,11	1,15
	9	212	46%	10,4	88,9	12%	3,8	48,9	8%	1,15	1,20

Tabla 4.6.95 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Los Ángeles 20 m - Dirección 1-2

LOS ANGELES 20m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	30	7%	4,4	65,7	7%	3,9	52,1	7%	1,11	1,23
	6	101	25%	5,5	71,0	8%	3,7	52,8	7%	1,13	1,24
	9	252	62%	8,5	93,3	9%	4,1	54,8	8%	1,17	1,29

Tabla 4.6.96 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Los Ángeles 20 m - Dirección 3-4

LOS ANGELES 20m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	5	43	9%	5,4	66,2	8%	2,8	52,5	5%	1,12	1,24
	6	111	24%	4,8	71,9	7%	3,3	52,8	6%	1,13	1,24
	9	270	59%	8,4	91,3	9%	4,0	54,3	7%	1,16	1,28

Tabla 4.6.97 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Los Ángeles 30 m - Dirección 1-2

LOS ANGELES 30m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	26	6%	6,4	75,0	9%	5,0	61,5	8%	1,15	1,42
	8	27	7%	10,3	86,3	12%	7,2	63,4	11%	1,18	1,46
	9	347	85%	7,5	93,1	8%	5,1	65,4	8%	1,22	1,51

Tabla 4.6.98 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Los Ángeles 30 m - Dirección 3-4

LOS ANGELES 30m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	23	5%	4,5	76,7	6%	3,8	63,1	6%	1,18	1,45
	8	24	5%	6,4	87,1	7%	4,6	64,6	7%	1,21	1,49
	9	406	89%	6,7	91,6	7%	4,5	64,5	7%	1,20	1,49

Tabla 4.6.99 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Los Ángeles 45 m - Dirección 1-2

LOS ANGELES 45m 1-2	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL-93)	λ (MOP)
	6	5	1%	7,4	80,6	9%	5,9	69,9	9%	1,13	1,61
	8	24	6%	11,0	86,1	13%	8,8	70,6	12%	1,14	1,63
	9	373	91%	7,4	93,1	8%	5,8	74,4	8%	1,20	1,71

Tabla 4.6.100 Estadísticas de camiones para fuerza cortante – Los Ángeles 45 m - Dirección 3-4

LOS ANGELES 45m 3-4	Nº EJES	FREC.	FREC. REL.	PBT σ	PBT $\bar{x}$	COV PBT	CORT. σ	CORT. $\bar{x}$	COV CORT.	λ (HL- 93)	λ (MOP)
	6	4	1%	5,4	80,3	7%	4,8	71,2	7%	1,15	1,64
	8	18	4%	6,4	88,4	7%	5,3	72,9	7%	1,17	1,68
	9	433	95%	6,2	91,8	7%	5,0	73,4	7%	1,18	1,69

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA

RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

Departamento : Departamento de Ingeniería Civil
Carrera : Ingeniería Civil
Nombre del memorista : Álvaro Vives Cárcamo
Título de la memoria : Estudio de cargas vivas extremas en puentes a partir de supercamiones
Fecha de la presentación oral : xx/05/2026

Profesor(es) Guía : Dr. Víctor Aguilar Vidal
Profesor(es) Revisor(es) : Dr. Patricio Cendoya Hernández
Concepto :
Calificación :

Resumen

Este estudio evalúa las solicitaciones estructurales generadas por supercamiones en puentes simplemente apoyados, considerando vanos entre 10 y 45 m. El análisis se basó en registros de pesaje de los años 2016-2019 y 2022, obtenidos de estaciones ubicadas en distintas macrozonas del país, a partir de los cuales se identificaron configuraciones vehiculares predominantes y se definieron supercamiones representativos por zona.

La comparación con los modelos normativos HL-93 y HS20-44 + 20% indica que los camiones derivados del tránsito real considerados como supercamiones generan solicitaciones ampliamente superiores, especialmente en el estado límite de servicio I. Sin embargo, en la mayoría de los casos las demandas se mantienen bajo el estado límite de resistencia I, superándolo solo en situaciones puntuales. Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas entre macrozonas, evidenciado en las configuraciones predominantes de cada una, la distribución de peso bruto total, sus supercamiones representativos y la magnitud de las solicitaciones analizadas.

Los resultados evidencian que los patrones normativos pueden subestimar las solicitaciones asociadas a supercamiones, lo que sugiere la necesidad de considerar el estado límite de resistencia II para incorporar configuraciones de cargas especiales para el diseño de puentes.