



UNIVERSIDAD DE CONEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**ESTRATEGIAS PARA EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE PERSONAL
EN LA DIVISIÓN EL TENIENTE DE CODELCO**

POR

Ailin Nicole Pastene Sandoval

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

Profesor Guía

Dr. Eduardo Javier Salazar Hornig

Profesor Supervisor

Benjamín Trehwela Saez

Agosto 2024

Concepción (Chile)

©2024 Ailin Pastene Sandoval

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

Dedicado a mi Abueli

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que estuvieron en este camino apoyándome a lo largo de los años en este proceso tan importante que es obtener mi título profesional.

En primer lugar, a mi familia: mamá, papá y mi hermano, quienes fueron un pilar fundamental para lograr cada meta que me proponía. Con su amor incondicional, siempre me motivaban a seguir adelante con esfuerzo y dedicación, además de permitirme estudiar en la universidad que soñaba desde niña.

A mi abuela Soledad, le agradezco por enseñarme sobre la vida y por ser una segunda mamá, cuidándome y apoyándome a través de todos estos años.

Agradezco a mis tías y primas por recibirme siempre con los brazos abiertos cada vez que las visitaba, alentándome en esta gran etapa académica.

A mi Vicente, gracias por acompañarme en esta travesía, siendo un apoyo emocional durante casi toda esta etapa académica. Agradezco tu aliento y motivación, que me ayudaron a no dejarme caer y a mantener siempre la cabeza en alto. Estoy emocionada por lo que el futuro nos depara.

A mis amigos de Rancagua, les agradezco por estar ahí desde que éramos unos niños hasta ahora que el mundo nos considera adultos, aunque entre nosotros seguimos teniendo 16 años cada vez que nos vemos.

Gracias a mis amigas de la universidad, que siempre estuvimos ahí para apoyarnos en esta etapa tan compleja, con tantos altos y bajos que vivimos en conjunto.

Agradezco a Codelco, particularmente al equipo de la GSYS, por brindarme sus conocimientos y orientarme para ser una mejor profesional.

Por último, le doy gracias a mi profesor guía por entregarme su apoyo y conocimiento con su colaboración en mi memoria de título.

Sumario

Este informe presenta un análisis detallado y propuestas de mejora para el sistema de transporte de personal en la División El Teniente de Codelco. Se examinan las características del modelo actual, incluyendo la oferta y demanda de servicios, la flota y sus recorridos, y se evalúan indicadores como el nivel de servicio y las emisiones de CO₂. A través de un análisis FODA, se identifican fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del sistema vigente.

Dos propuestas estratégicas se desarrollan para optimizar el transporte de personal. La primera propone la implementación de terminales satelitales en zonas estratégicas de Rancagua, lo cual mejoraría la eficiencia operativa mediante una mejor distribución de la flota y la reducción de tiempos de viaje. La segunda propuesta promueve el trabajo en la sede de Millán y el teletrabajo, lo que reduciría la demanda de transporte y las emisiones de CO₂, además de ofrecer mayor flexibilidad operativa.

Los resultados del análisis indican que ambas estrategias ofrecen beneficios significativos. La implementación de terminales satelitales podría reducir el kilometraje y el tiempo de conducción, mientras que el fomento del teletrabajo y el trabajo en la sede de Millán proporcionaría ahorros en kilómetros recorridos, flota utilizada y emisiones de CO₂. Se concluye que ambas propuestas no solo optimizan la operación, sino que también se alinean con los objetivos estratégicos de Codelco en términos de sostenibilidad y liderazgo en la industria minera. Además, se sugiere realizar estudios adicionales para evaluar la viabilidad económica y el impacto organizacional de estas estrategias.

Summary

This report presents a detailed analysis and improvement proposals for the personnel transportation system at Codelco's El Teniente Division. It examines the characteristics of the current model, including the supply and demand of services, fleet and routes, and evaluates indicators such as service level and CO₂ emissions. A SWOT analysis identifies strengths, opportunities, weaknesses, and threats of the existing system.

Two strategic proposals are developed to optimize personnel transportation. The first proposes the implementation of satellite terminals in strategic areas of Rancagua, which would improve operational efficiency through better fleet distribution and reduced travel times. The second proposal promotes work at the Millán site and telecommuting, which would reduce transportation demand and CO₂ emissions, as well as offer greater operational flexibility.

The results of the analysis indicate that both strategies offer significant benefits. The implementation of satellite terminals could reduce mileage and driving time, while the promotion of teleworking and working at Millán's headquarters would provide savings in kilometers traveled, fleet used and CO₂ emissions. It is concluded that both proposals not only optimize the operation, but also align with Codelco's strategic objectives in terms of sustainability and leadership in the mining industry. Furthermore, additional studies are suggested to evaluate the economic viability and organizational impact of these strategies.

Tabla de Contenidos

Agradecimientos	iv
Sumario	v
Summary	vi
Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Antecedentes Generales	1
1.2 Objetivos y alcance de la memoria de título	2
Capítulo 2: Marco conceptual y revisión de literatura.....	4
2.1 Conceptos asociados al proyecto	4
2.2 Revisión de literatura	8
Capítulo 3: Caracterización del modelo actual de transporte de personal	11
3.1 Oferta	11
3.1.1 Servicios del transporte de personal	11
3.1.2 Flota	12
3.1.3 Recorrido.....	15
3.2 Demanda	20
3.2.1 Pasajeros	20
3.3 Indicadores de evaluación de empresa contratista	22
3.3.1 Contrato.....	22
3.3.2 Nivel de servicio	23
3.3.3 Emisiones de CO ₂	25
3.4 Mantenimiento de la flota	25
3.5 Tecnologías del sistema actual de transporte de personal	27
3.6 Análisis FODA.....	28
Capítulo 4: Estrategias para el transporte el personal.....	29
4.1 Terminales satelitales en la zona interurbana de Rancagua.....	29
4.1.1 Ubicación de termina.....	30
4.1.2 Análisis estadísticos descriptivo	34
4.1.3 Ahorro de kilometraje, tiempo y de emisiones de CO ₂	38
4.1.4 Distribución de la flota	42
4.2 Fomento del trabajo en la sede de Millán y el trabajo remoto.....	44
4.2.1 Identificación de cargos.....	45
4.2.2 Simulación	47
4.2.3 Ahorro de flota.....	50
4.2.4 Ahorro de kilometraje y de emisiones de CO ₂	50

Capítulo 5: Análisis de resultados	52
5.1 Análisis.....	52
5.2 Ventajas comparativas.....	53
Capítulo 6: Conclusión	55
Referencias.....	57
ANEXOS.....	60
Anexo 1: Macrozonas de Rancagua y Machalí con sus paraderos con mayor demanda	60
Anexo 2: Uso de la aplicación Transporte DET	64
Anexo 3: Kilómetros y tiempo ahorrado por cada día de marzo	67
Anexo 4: Distribución de la flota por cada día de marzo 2024.....	68
Anexo 5: Reasignación del 30%, 20% y 10% de los turnos H aleatorios.....	68

Lista de Figuras

Figura 3.1: Mapa de la zona alta del Teniente.....	12
Figura 3.2: Yacimiento El Teniente.....	13
Figura 3.3: Niveles de la mina El Teniente.....	14
Figura 3.4: Recorridos de los buses superficie DET.....	15
Figura 3.5: Kilómetros recorridos, por tipo de combustible y equipo.....	16
Figura 3.6: Kilometraje según tipo de combustión.....	16
Figura 3.7: Rancagua y Machalí con sus macrozonas con los paraderos existentes.....	18
Figura 3.8: Diagrama del viaje perfecto.....	20
Figura 3.9: Total de pasajeros por tipo de empresa en el mes de marzo del 2024.....	21
Figura 3.10: Perfil de demanda de subidas del 27 de marzo del 2024.....	21
Figura 3.11: Perfil de demanda de bajadas del 27 de marzo del 2024.....	21
Figura 3.12: Pantallazo de un manifiesto en operador tecnológico.....	24
Figura 3.13: Ficha de mantenimiento por kilometraje según fabricante.....	26
Figura 4.1: Mapa de Rancagua y Machalí con la nueva zona Manzanal.....	30
Figura 4.2: Distancia euclidiana de las subidas al terminal.....	31
Figura 4.3: Terminal óptimo y terminal oficial de la zona norte de Rancagua.....	33
Figura 4.4: Terminal óptimo y terminal oficial de la zona oriente de Rancagua.....	33
Figura 4.5: Terminal óptimo y terminal oficial de la zona poniente de Rancagua.....	34
Figura 4.6: Zonas de Rancagua y la ubicación de los terminales.....	34
Figura 4.7: Histograma de las distancias de las subidas al terminal norte.....	36
Figura 4.8: Histograma de las distancias de las subidas al terminal oriente.....	37
Figura 4.9: Histograma de las distancias de las subidas al terminal poniente.....	38
Figura 4.10: Trayecto eliminado del inicio del servicio al terminal.....	40
Figura 4.11: Trayecto eliminado de sede Link al terminal.....	40
Figura 4.12: Zonas de Rancagua.....	43
Figura 4.13: Proporción de buses distribuidos a los terminales y a sede Link.....	44
Figura 4.14: Impacto flota por 40% de reasignación de los turnos H.....	50
Figura 8.1: Paradero P3017 de la zona centro de Rancagua.....	58
Figura 8.2: Paradero P4134 de la zona norte de Rancagua.....	58
Figura 8.3: Paradero P4038 de la zona sur de Rancagua.....	59
Figura 8.4: Paradero P3030 de la zona oriente de Rancagua.....	59
Figura 8.5: Paradero P0005 de la zona poniente de Rancagua.....	60
Figura 8.6: Paradero P0049 de Machalí.....	60
Figura 8.7: Paradero P4151 en Coya.....	61
Figura 8.8: Paradero P4150 de Maitenes.....	61
Figura 8.9: Paradero P4073 de la zona alta de la DET.....	61

Lista de Tablas

Tabla 3.1: Servicios del transporte de personal.....	12
Tabla 3.2: Caracterización de la flota.....	13
Tabla 3.3: Destinos de los equipos que ingresan a la mina.....	14
Tabla 3.4: Kilometraje del mes de marzo del 2024 por tipo de flota.....	16
Tabla 3.5: Inicio de jornada por turno.....	17
Tabla 3.6: Horarios de inicio de cada servicio.....	17
Tabla 3.7: Tiempo teórico transcurrido de viaje por servicio.....	17
Tabla 3.8: Cantidad de paraderos por macrozona.....	18
Tabla 3.9: Paraderos con mayor demanda por zona.....	19
Tabla 3.10: Kilometraje teórico de origen a destino.....	23
Tabla 3.11: Imprevistos de buses superficie en marzo 2024.....	27
Tabla 3.12: Matriz FODA.....	28
Tabla 4.1: Ubicación óptima de cada terminal por zona.....	32
Tabla 4.2: Coordenadas factibles a implementar terminales.....	33
Tabla 4.3: Datos estadísticos de las distancias de los pasajeros al terminal.....	35
Tabla 4.4.1: Frecuencia de caminatas que caminarían desde su subida al terminal norte.....	36
Tabla 4.5: Frecuencia de caminatas al terminal oriente.....	37
Tabla 4.6: Frecuencia de caminatas al terminal poniente.....	38
Tabla 4.7: Servicios, recorridos, variante y zona recorrida con bus asignado.....	39
Tabla 4.8: Kilometraje y tiempo ahorrado para el 26, 29 y 30 de marzo 2024.....	41
Tabla 4.9: Porcentaje de ahorro según día de semana.....	41
Tabla 4.10: Kilómetros y tiempo ahorrado en el mes de marzo 2024.....	42
Tabla 4.11: Distribución de la flota para el día 26, 29 y 30 de marzo 2024.....	43
Tabla 4.12: Distribución de buses en marzo 2024.....	44
Tabla 4.13: Destinos y horario de subida de los buses por servicio y por turno.....	45
Tabla 4.14: Demanda marzo 2024 de los turnos H por tipo de gerencia.....	46
Tabla 4.15: Demanda marzo 2024 según zona de ascenso, por gerencia y por tipo de turno.....	47
Tabla 4.16: 40% de asignación de los turnos H a sede Millán/teletrabajo.....	48
Tabla 4.17: Flota ahorrada por porcentaje de asignación a sede Millán/teletrabajo.....	49
Tabla 4.18: Buses ahorrados en los días hábiles de marzo 2024 por zona y gerencia.....	50
Tabla 5.1: Resumen de lo ahorrado por la propuesta 1.....	53
Tabla 5.2: Resumen de lo ahorrado por la propuesta 2.....	53
Tabla 8.1: Kilometraje y tiempo ahorrado por días de marzo.....	65
Tabla 8.2: Distribución flota por los días de marzo.....	66
Tabla 8.3: 30% de asignación de los turnos H a sede Millán/ teletrabajo.....	67
Tabla 8.4: 20% de asignación de los turnos H a sede Millán/teletrabajo.....	67
Tabla 8.5: 10% de asignación de los turnos H a sede Millán/teletrabajo.....	67

Capítulo 1: Introducción

En este capítulo se presenta los fundamentos esenciales que sustentan esta memoria de título, proporcionando un marco contextual sobre la importancia del sistema de transporte de personal en la División El Teniente de Codelco. En esta sección se abordan los antecedentes generales del proyecto, que explican la necesidad de mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad del transporte dentro de la mina subterránea de cobre más grande del mundo. Además, se exponen los objetivos específicos que guían este estudio, detallando las metas que se buscan alcanzar para optimizar el servicio de transporte. Finalmente, se describe el alcance del trabajo, estableciendo los límites y el enfoque de la investigación, con el fin de proporcionar una visión clara de las áreas que serán abordadas y las soluciones propuestas en esta memoria de título.

1.1 Antecedentes Generales

Codelco, una de las principales empresas mineras a nivel internacional y el mayor productor de cobre del mundo, cuenta con la división El Teniente (DET), la mina subterránea de cobre más grande del planeta. Ubicada en la comuna de Machalí, en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, El Teniente se encuentra en la cordillera, a unos 55 kilómetros de la ciudad de Rancagua y 50 kilómetros del pueblo de Machalí. La explotación de esta mina comenzó en 1905 y actualmente abarca más de 4.500 kilómetros de túneles.

El Teniente también opera en superficie a través de Rajo Sur, una instalación situada entre 2.730 y 3.240 metros sobre el nivel del mar, que comenzó a funcionar a finales de 2012. Las principales operaciones de la División incluyen la mina subterránea, el concentrador Colón y la fundición Caletones. (Codelco, 2024)

Debido a la falta de campamentos de hospedaje en la zona alta de la cordillera para el personal DET, Codelco tuvo que ofrecer un servicio de transporte entre las diversas instalaciones de la división. Este servicio es crucial para desplazar a los trabajadores que realizan funciones esenciales para la operación minera, tales como tareas de operación, supervisión, mantenimiento y gestión en cada etapa de la explotación del cobre.

Actualmente, alrededor de 10.000 colaboradores se desplazan diariamente utilizando el sistema de transporte proporcionado por Codelco para llegar a sus lugares de trabajo en las áreas altas de la división. Para gestionar este sistema de transporte, la DET contrató a la empresa Link, encargándoles la responsabilidad de facilitar los desplazamientos desde las zonas urbanas hasta las diversas plantas industriales y viceversa. El principal objetivo de Link es garantizar altos estándares de calidad, seguridad y comodidad para todos los usuarios del servicio.

Link dispone de una fuerza laboral de 650 conductores que operan una flota de 416 equipos. La flota consta de 5 tipos de vehículos. Entre estos, los buses superficie (44 o 48 asientos), los taxibuses (24 asientos), los buses mina/Volvo (44 asientos), carrys (18 asientos) y taxis (4 asientos).

El servicio de los buses superficie ofrece 7 tipos de servicios, los cuales se diferencian por destino y por tipo de trabajo de los colaboradores transportados (operacionales o de inversiones).

Actualmente se cuenta con un modelo de sistema de transporte reactivo en base a la demanda histórica y el peak de demanda actual, por lo que operativamente resulta en un modelo donde la oferta de transporte es fija.

Los buses de superficie siguen rutas y horarios establecidos, transitando por una selección de los 328 paraderos ubicados dentro de la zona urbana que abarca el 100% de Rancagua y el 80% de Machalí. En estos puntos, los trabajadores de la División pueden abordar o descender del transporte. Una vez completado el recorrido en el área urbana, los autobuses se dirigen hacia sus destinos correspondientes en las zonas industriales.

Para aquellos trabajadores que lo necesiten, está disponible un servicio de enlace administrado por la unidad de Servicios Complementarios, también gestionado por Link. Este servicio facilita el traslado de los empleados entre diferentes áreas, ya sea dentro de una misma zona industrial o hasta las paradas de los buses de superficie. El servicio complementario se encarga de programar estos enlaces, asegurando que los trabajadores lleguen eficientemente a sus áreas de trabajo o a las paradas de autobús pertinentes.

Sin embargo, aunque el sistema de transporte actual ha demostrado ser funcional, no opera de la manera más eficiente posible. Dado que este modelo ha estado en funcionamiento durante décadas, es necesario realizar un análisis FODA para identificar los puntos débiles del sistema y las oportunidades de mejora. Este análisis permitirá encontrar y proponer estrategias que optimicen el servicio de transporte, adaptándolo a las necesidades actuales de la División El Teniente y garantizando su eficiencia y sostenibilidad en el futuro.

1.2 Objetivos y alcance de la memoria de título

En esta sección se establecen los objetivos y el alcance del proyecto que se llevará a cabo en la memoria de título. Con el objetivo general de generar nuevas estrategias en el sistema de transporte de personal para la División El Teniente de Codelco, se plantean una serie de objetivos específicos que guiarán el análisis y la propuesta de alternativas.

Objetivo general

Generar estrategias en el sistema de transporte de personal para Codelco, particularmente en la División El Teniente, identificando áreas de mejora en el sistema actual, evaluando alternativas y proponiendo nuevas estrategias que maximicen la eficiencia operativa y promuevan la sostenibilidad ambiental y social.

Objetivos específicos

- **Objetivo específico 1:** Analizar conceptualmente el funcionamiento actual del sistema de transporte de personal en la División El Teniente, identificando sus principales fortalezas y limitaciones desde una perspectiva teórica.
- **Objetivo específico 2:** Proponer y evaluar conceptualmente alternativas para nuevas estrategias para el sistema de transporte de personal DET, explorando distintos enfoques como la viabilidad de establecer terminales interurbanos y la promoción al trabajo presencial en la sede de Millán que Codelco dispone o del trabajo remoto.
- **Objetivo específico 3:** Identificar y cuantificar los posibles beneficios de la implementación de las estrategias propuestas, tales como la reducción de la huella de carbono, disminución de tiempos de viaje como de flota en tránsito.

Alcance del proyecto

En esta memoria de título se aborda el análisis exhaustivo del sistema de transporte de personal proporcionado por la División El Teniente a sus trabajadores, con el objetivo de identificar sus fortalezas y debilidades operativas. Además, se procederá a proponer alternativas de estrategias de transporte, evaluándolas de manera conceptual, y considerando especialmente el triple valor de Codelco, que engloba aspectos económicos, ambientales y sociales. Este trabajo enriquecerá la comprensión de los desafíos y oportunidades en materia de transporte de personal en la industria minera, así como también contribuirá a la formulación de estrategias que promuevan la eficiencia operativa, la sostenibilidad y el bienestar de los trabajadores.

Capítulo 2: Marco conceptual y revisión de literatura

Para el análisis del proyecto propuesto es necesario definir conceptos que serán vitales para el desarrollo del tema, como también una revisión bibliográfica para analizar e identificar casos reales que ya han encontrado nuevos modelos de transporte.

2.1 Conceptos asociados al proyecto

Gestión de transporte

La gestión del transporte abarca una amplia gama de actividades y estrategias destinadas a operar de manera eficiente y eficaz los sistemas de movilidad. Implica planificar, organizar, coordinar y controlar los recursos necesarios para garantizar el flujo fluido de personas de un lugar a otro. Esta gestión también se centra en optimizar rutas, horarios y modos de desplazamiento para minimizar costos, reducir la congestión y mejorar el rendimiento general del sistema. Además, incluye monitorear y evaluar las operaciones para identificar áreas de mejora y elevar la calidad general de los servicios de traslado (Meyer, 2016).

Una gestión eficiente del transporte requiere la implementación de diversas estrategias y prácticas diseñadas para optimizar el funcionamiento de los sistemas de transporte. Entre las principales formas de lograr una gestión efectiva del transporte se encuentra la planificación integral, que implica el desarrollo de planes de transporte a largo plazo que consideren el crecimiento futuro, los avances tecnológicos y los cambios en los patrones de viaje. Además, es fundamental basar las decisiones en datos sólidos, utilizando análisis y datos para informar la planificación y las operaciones de transporte, identificando así cuellos de botella y optimizando rutas y horarios.

Demanda de transporte de personas

La demanda se refiere a la cantidad de viajes o desplazamientos que las personas realizan en un determinado sistema de transporte durante un período de tiempo específico. Este concepto es fundamental en la planificación del transporte, ya que ayuda a comprender las necesidades de movilidad de la población y a diseñar infraestructuras y servicios de transporte que satisfagan eficazmente esas demandas. La demanda de transporte puede variar según diversos factores, como la disponibilidad de alternativas de transporte, el costo, la accesibilidad, las preferencias individuales y las características socioeconómicas de la población. Los modelos de demanda de transporte se utilizan para analizar y predecir cómo estos factores influyen en el comportamiento de viaje de las personas y cómo pueden cambiar en el futuro (Ortúzar, 2012).

Seguridad vial y prevención de accidentes en servicios de transporte de personal

El servicio de transporte de personal enfrenta una gran responsabilidad al movilizar a las personas de un lugar a otro, es por esto por lo que es importante identificar las diversas causas de accidentes, tales son como el exceso de velocidad, las condiciones inseguras de los vehículos, las conductas imprudentes de los conductores, las condiciones climáticas adversas y la falta de capacitación y experiencia de los conductores. Abordar estos factores es fundamental para prevenir accidentes y asegurar la seguridad de los trabajadores y usuarios del transporte, promoviendo así prácticas seguras en las vías de circulación (Mutual de seguridad; PONS seguridad vial; CEA Club Europeo de Automovilistas de Chile, 2020).

La fatiga y la somnolencia son factores críticos que aumentan el riesgo de accidentes de tráfico que pueden estar expuestos los choferes. La fatiga disminuye la atención y la coordinación motora, mientras que la somnolencia afecta la toma de decisiones y la evaluación de situaciones de conducción. Estos problemas pueden ser causados por la falta de sueño, la conducción prolongada o trastornos del sueño. Para prevenir accidentes, existen tres artículos en el código del trabajo que regulan las jornadas laborales de conductores de cualquier tipo de transporte interurbano. El primero es el artículo 25 (Código del Trabajo, 2014), el cual establece la jornada laboral mensual para choferes y auxiliares de la locomoción colectiva interurbana en ciento ochenta horas, excluyendo el tiempo de descanso a bordo o en tierra y las esperas entre turnos. Se garantiza un descanso mínimo de ocho horas cada veinticuatro horas. También se limita a cinco horas el tiempo de manejo continuo. Por otra parte, el artículo 28 (Código del Trabajo, 1996) menciona que el máximo de horas semanales de trabajo, según lo dispuesto en el artículo 22, debe distribuirse en un mínimo de cinco y un máximo de seis días. Además, señala que la jornada diaria no puede superar las diez horas. Por último, el artículo 38 (Código del Trabajo, 2016) dice que en situaciones contempladas en los números 2 y 7 del primer inciso, se requiere que al menos dos días de descanso en cada mes calendario sean necesariamente en domingo. Sin embargo, esta regla no se aplica a los trabajadores contratados por un período de treinta días o menos, ni a aquellos cuya jornada regular no exceda las veinte horas semanales o que trabajen exclusivamente los días sábado, domingo o festivos.

También existen el Decreto N°80, el cual es una normativa que regulan el transporte privado remunerado de pasajeros en Chile, donde tiene como objetivo mejorar los servicios de transporte público y privado de pasajeros para garantizar condiciones de seguridad, comodidad, eficiencia y racionalidad. La regulación busca asegurar la calidad y seguridad de los servicios de transporte,

protegiendo a las personas y cumpliendo con los requisitos de descontaminación y descongestión urbana (Biblioteca del Congreso Nacional, 2004).

Igualmente hay que tener en cuenta la Ley de Tránsito 18290, conocida como la Ley de Tránsito en Chile, establece las normas y regulaciones para el tránsito de peatones, pasajeros y conductores en las vías públicas del país. Esta ley abarca una amplia gama de aspectos relacionados con la circulación vial, la seguridad en el tránsito, las responsabilidades de los distintos actores viales, los requisitos para la obtención de licencias de conducir, las sanciones por infracciones, entre otros temas (Biblioteca del Congreso Nacional, 2009).

La importancia de la relación "menos kilometraje, menos accidentes" radica en el hecho de que, en general, a menor cantidad de kilómetros recorridos por un vehículo, hay una menor probabilidad de que ocurran accidentes. Esta reducción de desplazamientos en vehículo puede contribuir a una disminución de la siniestralidad en general, beneficiando tanto a los conductores como a la sociedad en su conjunto (Zanón, Gutiérrez, & Pérez-Marín, 2014).

Impacto ambiental del transporte

El transporte y el cambio climático están estrechamente relacionados en la actualidad, ya que el sector del transporte es uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global. Estas emisiones tienen un impacto significativo en el calentamiento global y en los patrones climáticos, lo que a su vez afecta al medio ambiente, la biodiversidad y la calidad de vida de las personas. (Comisión de Transportes, 2010)

El transporte representa el 24% de las emisiones globales de CO₂ derivadas de la quema de combustibles, lo que impulsa la búsqueda de soluciones sostenibles como la electromovilidad. Este enfoque consiste en utilizar tecnologías que empleen energía eléctrica en lugar de combustibles fósiles. La adopción de la electromovilidad promueve la reducción significativa de emisiones de CO₂, así como la disminución de los costos operativos, mejorando así la calidad del aire y la salud pública (Campos, 2021).

Con miras hacia el año 2030, Codelco se ha comprometido a alcanzar la electromovilidad total en sus operaciones mineras subterráneas. Este ambicioso objetivo implica una transición progresiva hacia equipos eléctricos en minas como Chuquicamata y El Teniente, con la meta de renovar por completo su flota vehicular. Al mismo tiempo, se prevé expandir este enfoque operativo a todas las nuevas operaciones subterráneas, colaborar estrechamente con la Gerencia de Abastecimiento para aprovechar plenamente el potencial de la electromovilidad, y compartir conocimientos con otras empresas con experiencia en esta área. También, se buscará optimizar nuevos modelos de

negocio a través de alianzas estratégicas con actores clave en la adopción de tecnologías emergentes. Este compromiso refleja la visión de Codelco de liderar el camino hacia una industria minera más sostenible y eficiente en el futuro (Corporación Nacional del Cobre de Chile, s.f.).

Problema de localización de instalaciones

La localización de instalaciones es el proceso mediante el cual una empresa selecciona el lugar más adecuado para establecer una instalación, ya sea una fábrica, almacén, centro de distribución, oficina, entre otros. Este proceso implica evaluar y considerar diversos factores críticos para garantizar la eficiencia y rentabilidad de la operación en ese lugar. Entre estos factores se encuentran la accesibilidad, la proximidad a materias primas y mercados, los costos operativos, la disponibilidad de mano de obra calificada, y la infraestructura disponible, como carreteras, puertos y servicios públicos. Además, es crucial tener en cuenta aspectos legales y regulatorios, incluyendo impuestos y normativas ambientales, así como factores socioeconómicos, como la estabilidad política y la calidad de vida de los empleados. La correcta elección de la localización puede tener un impacto significativo en el éxito y la competitividad de la empresa, ya que permite maximizar los recursos y optimizar las operaciones para responder eficientemente a las demandas del mercado (Cáceres, Gutiérrez, Gómez, Dávila, & Ramírez, 2004).

Teletrabajo

El teletrabajo, también llamado trabajo remoto, es una modalidad laboral donde los empleados realizan sus tareas fuera de las instalaciones de la empresa, usualmente desde sus hogares u otros lugares. Se basa en el uso de tecnologías de la información para llevar a cabo sus funciones y mantener la comunicación con sus equipos. Puede ser total o parcial, ofreciendo flexibilidad en horarios y ubicaciones de trabajo tanto para empleados como empleadores (Servicio Nacional de Capacitación y Empleo (SENCE); Centro de Políticas Públicas de la Universidad Católica; OTIC SOFOFA, 2021).

Según el estudio realizado, aproximadamente 1 de cada 4 ocupados en Chile se desempeñan en puestos de trabajo que son factibles de ser realizados bajo la modalidad de teletrabajo. Esto representa casi 2 millones de personas en el país que podrían realizar sus labores de forma remota.

Otro punto por abordar del teletrabajo es las preocupaciones sobre el consumo de energía, dado que los edificios de oficinas suelen ser más eficientes energéticamente que los hogares. A pesar de su consolidación como modalidad permanente, las empresas deben ajustar sus prácticas de gestión ambiental para abordar el impacto de las operaciones desde el hogar. Esto implica estimar

las emisiones producidas en el teletrabajo, coordinar con diferentes áreas como Recursos Humanos y Sistemas para recopilar datos sobre el tipo de energía utilizada y los desplazamientos.

El cambio a modalidades de teletrabajo podría reducir significativamente las emisiones de CO₂, pasando de 1.251 kilogramos de CO_{2,eq} anuales por transporte en el trabajo presencial a solo 48,76 kilogramos de CO_{2,eq} anuales, considerando solo el consumo de energía eléctrica para el equipo computacional. Es fundamental establecer una metodología de medición adecuada para los consumos energéticos del teletrabajo, para así tomar medidas de mitigación y promover políticas de desarrollo sostenible en las empresas (Vernier, 2021).

2.2 Revisión de literatura

Garzón, Caballero y Martínez (2017), se enfocan en plantear una solución para un sistema de transporte de personal a gran escala para una empresa de América Latina, el cual se modelizó como un problema de rutas de vehículos (VRP), considerando los tiempos de tránsito del mundo real y diseñando las rutas para comenzar en el punto más alejado del centro de destino. Utilizando el modelo VRP, el estudio optimizó el sistema de transporte, teniendo en cuenta las características específicas de las operaciones de la empresa y la distribución urbana en América Latina. El enfoque de modelización buscaba encontrar una solución eficaz y rentable para las necesidades de transporte de personal de la empresa.

Se utilizó un algoritmo exacto para instancias más pequeñas, que proporcionaba soluciones óptimas, pero requería un tiempo considerable de cálculo. Para enfrentar los desafíos computacionales en instancias mayores, se implementó un algoritmo metaheurístico, que ofrecía soluciones aproximadas en un tiempo razonable. Se compararon los resultados obtenidos por ambos algoritmos, evaluando el rendimiento del metaheurístico en términos de su capacidad para proporcionar soluciones cercanas a las del exacto en un tiempo más corto. La validación reveló que la diferencia entre las soluciones exactas y aproximadas era aceptable, indicando la viabilidad del metaheurístico para instancias mayores. El objetivo final era generar planes de ruta eficientes y rentables, minimizando costos operativos y mejorando el rendimiento global de la red de transporte. En resumen, se empleó un enfoque híbrido para equilibrar precisión y eficiencia computacional, proporcionando soluciones prácticas y efectivas a las necesidades de transporte de la empresa.

Por otra parte, Albornoz y Johns (2011) analizan un sistema de transporte enfocándose en la localización de paraderos de detención y en el diseño óptimo de rutas para el traslado de personal a una faena minera, usando un modelo que busca minimizar los costos totales de transporte, teniendo en cuenta la red de transporte existente, la demanda de servicio y las restricciones del

problema, tales como la capacidad de los buses disponibles y la atención de los requerimientos de demanda por traslado.

El modelo se resolvió con programación entera, abordando integralmente el problema al determinar los paraderos de detención y las rutas de los buses para el traslado del personal. Además, se empleó una estrategia jerárquica que divide el problema en dos subproblemas: localización y ruteo. Aunque no es óptimo, este enfoque jerárquico demostró eficacia al resolver instancias de mayor tamaño y complejidad, proporcionando mejoras significativas en comparación con la situación original. Se destacó la eficiencia del esquema jerárquico al reducir el número de detenciones, optimizando las rutas y mejorando la eficiencia del transporte. La comparación con un modelo integral mostró soluciones competitivas y equilibradas en costos y nivel de servicio, como también la metodología promete un mejor servicio al definir un número reducido de detenciones, lo que influye positivamente en el tiempo de viaje y los costos asociados.

Otros autores como Rampedi y Genc (2012), proponen un modelo completamente diferente a lo tradicional, donde la propuesta consiste en la instalación de un sistema de telesilla (teleféricos) en el Pozo Khuseleka n°1 para optimizar el transporte de personal hasta el nivel 15 e inferior (mina subterránea ubicada al noroeste de Sudáfrica en Rustenburg). El análisis realizado en el estudio indica que el sistema de telesilla es muy beneficioso y proporciona una solución mejor en comparación con otros modelos considerados. Indican que este sistema de telesilla mejora la eficiencia al reducir el tiempo de desplazamiento acumulado por empleado y turno, lo que se traduce en una menor fatiga de los trabajadores. Se espera que la instalación del sistema de telesilla aumente la productividad al permitir que los trabajadores lleguen a tiempo a sus zonas de trabajo, mejorando potencialmente la frecuencia de las voladuras y proporcionando un buen retorno de la inversión.

A modo de comparar modelos de sistema de transporte, los autores Jie, Sen, Hao, Andreasson y Zuylen (2010); y Mueller y Sgouridis (2011) evalúan el modelo de sistema de Transporte Personal Rápido, (PRT), el cual es un sistema de transporte público automatizado diseñado para proporcionar viajes rápidos y directos a los pasajeros. Este sistema consta típicamente de pequeños vehículos automatizados que viajan por una red de vías separadas, conocidas como guideways, que están diseñadas para evitar el tráfico de vehículos convencionales. Los pasajeros pueden acceder al PRT en estaciones distribuidas a lo largo de la red y pueden seleccionar su destino deseado. El PRT es conocido por su capacidad para ofrecer servicios personalizados, tiempos de espera cortos y una experiencia de viaje rápida y eficiente.

La primera literatura se enfoca en como optimizar el tamaño de la flota de un sistema PRT para satisfacer la demanda de los pasajeros de manera eficiente y explora cuestiones de costos. El estudio se simuló en la ciudad de Rotterdam, específicamente en el Puerto de Rotterdam, Países Bajos. Según los autores para determinar el tamaño óptimo de la flota en un sistema de tránsito rápido personal, es crucial considerar varios factores clave, las que incluye la topología de la red PRT, la distribución espacial de la demanda de pasajeros, donde estas dos influyen en la cantidad de estaciones y la conectividad necesaria, otros puntos clave son los tiempos de espera, la relación costo-efectividad, los cuales son esenciales para optimizar la flota, y por último la utilización de simulaciones y optimización. ayuda a estimar la demanda, analizar el rendimiento y determinar el tamaño óptimo de la flota.

Dado la investigación, se determinó que el tamaño de la flota para un sistema PRT, se debe considerar que una flota más grande puede mejorar la satisfacción de los pasajeros al reducir los tiempos de espera y mejorar los niveles de servicio, pero conlleva costos de inversión y complejidades operativas más altos. Por otro lado, una flota más pequeña puede resultar en tiempos de espera más largos y desafíos operativos. Es crucial encontrar un equilibrio entre la experiencia del pasajero, la eficiencia operativa y la rentabilidad para optimizar el tamaño de la flota, asegurando una operación eficiente y un servicio de alta calidad en un sistema PRT.

La segunda literatura, analiza la herramienta de simulación miPRT el cual es un modelo de simulación de un sistema de tránsito rápido personal (PRT) de eventos discretos que se desarrolló para respaldar el diseño y la implementación de la primera aplicación urbana de un sistema PRT bajo demanda totalmente automatizado en la ciudad de Masdar, Abu Dhabi. El modelo de simulación miPRT permite estimar el impacto de diferentes algoritmos de asignación de vehículos, estrategias de carga de baterías y tasas de ocupación de vehículos. También ayuda a anticipar el comportamiento del sistema bajo cargas de estrés, como aumentos repentinos de la demanda de viajes debido a eventos especiales o escenarios de cierre de pistas. El modelo de simulación ayuda a mejorar la utilización de la flota, el consumo de energía y los costos generales del sistema. Concluyendo posterior a todo el estudio, que miPRT es de gran ayuda a llenar vacíos en las capacidades de herramientas de simulación existentes. Ofreció una comprensión del comportamiento de la red y el rendimiento del nivel de servicio que se puede utilizar para el diseño del sistema. La investigación destacó el potencial de los sistemas de transporte rápido personal para convertirse en el modo de transporte urbano preferido en el futuro.

Capítulo 3: Caracterización del modelo actual de transporte de personal

La División El Teniente no cuenta con campamentos en las zonas altas para albergar a sus trabajadores, por lo que se ha visto en la necesidad de ofrecer un servicio de transporte que garantice altos estándares de calidad, seguridad y comodidad para todos los usuarios del servicio. Para cumplir con esta necesidad, la DET contrató a la empresa Link, encargada de gestionar y operar el servicio de transporte de personal en su totalidad.

En cuanto al aspecto financiero, El Teniente estableció un acuerdo con Link para cubrir los costos del transporte. Este acuerdo especifica que la División pagará a Link por los kilómetros transitados desde el inicio del recorrido hasta el destino final, asignando un precio específico por kilómetro recorrido.

Caracterizar el modelo de transporte de personal actual que tiene la División El Teniente es fundamental porque permite comprender en detalle cómo opera el sistema en la práctica. Esto implica identificar sus componentes clave, como la oferta que dispone, los horarios de servicio, la capacidad de transporte y los puntos de origen y destino. Al caracterizar el modelo, se pueden identificar sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, lo que proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas y la implementación de mejoras en la estrategia en el sistema de transporte DET.

3.1 Oferta

En esta sección se enseña la oferta que el sistema de transporte de personal de la DET ofrece a sus trabajadores, indicando los servicios que brinda la unidad de transporte, como también la caracterización de la flota, aspectos del recorrido como los kilometraje y tiempos de viajes, los paraderos existentes en la zona interurbana y por último el estándar del servicio.

3.1.1 Servicios del transporte de personal

Codelco ofrece 7 servicios o mallas dentro de su modelo de transporte, cada uno con destinos específicos diseñados para llevar a los colaboradores a las diferentes áreas de trabajo de la zona alta de la División. Estos servicios se detallan en la tabla 3.1.

En la figura 3.1 se muestran las ubicaciones de las áreas industriales de la División en la zona alta. Es importante destacar que la zona alta se considera a partir de Maitenes, que es la zona de registro e ingreso a la DET.

	<i>Servicios</i>	<i>Destino</i>
<i>Operaciones</i>	Mina (Gerencia Mina)	Colón Alto
	Molinos (Gerencia Planta)	Colón Bajo
	Traslape/Caletones (Gerencia Fundición)	Caletones
	Sewell (Gerencia Rajo Sur)	Sewell
	Rajo (Gerencia Rajo Sur)	Rajo
<i>Inversiones</i>	Obras (Gerencia de Obras Minas)	Barahona - Colón Alto – Sewell
	VP (Vicepresidencia de Proyectos)	La Junta - Sewell

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.1: Mapa de la zona alta del Teniente

Fuente: Resumen ejecutivo “Mantenimiento Mecánico Refractario 2020 a Hornos en La Fundición Caletones” - Dirección Abastecimiento Codelco División El Teniente octubre 2019¹

3.1.2 Flota

La tabla 3.2 presenta la flota exclusiva actualmente disponible para El Teniente, mantenida por Link, con datos extraídos de un registro renovado de Link con fecha del 18 de abril de 2024. Esta tabla detalla el tipo de flota, el tipo de combustible utilizado, la capacidad de asientos y la cantidad de equipos disponibles.

¹https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20191015/asocfile/20191015152723/resumen_ejecutivo_refractario.pdf

<i>Tipo de flota</i>	<i>Tipo de combustión</i>	<i>N° asientos</i>	<i>Cant. de flota</i>
Buses Superficie	Eléctricos	44 o 48	211
	Diesel		
TaxiBus (TxB)	Eléctricos	24	77
	Diesel		21
Carry/MiniBus	Diesel	18	25
Buses mina (Volvo)	Eléctricos	44	32
	Diesel		41
Taxi	Diesel	4	9
Total flota			416

Fuente: Elaboración propia.

Los buses de superficie son gestionados y operados por la unidad de Buses Superficie de Link, cuyo objetivo es movilizar a los trabajadores desde las zonas urbanas de Rancagua y Machalí hasta la zona alta de la División. Por otro lado, los buses mina, taxibuses, carrys y taxis son gestionados por la unidad de Servicios Complementarios de Link, cuyo objetivo es transportar al personal dentro de las diferentes áreas de la zona alta, así como facilitar enlaces dentro de la ciudad, acercando a los pasajeros a los paraderos correspondientes donde transitan los buses de superficie. Los buses mina y taxibuses están diseñados para ingresar a los diferentes niveles subterráneos de la mina. En las figuras 3.2 y 3.3 se muestran los niveles de la mina El Teniente en 3D y 2D, respectivamente.

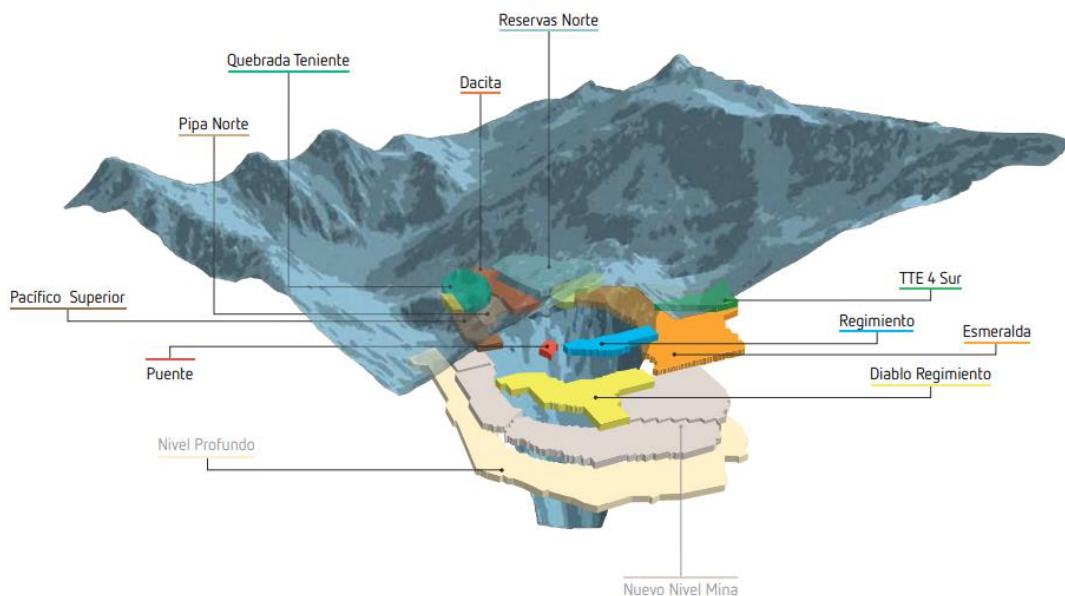


Figura 3.2: Yacimiento El Teniente
Fuente: El Teniente minería del futuro – CODELCO²

²https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20140520/asocfile/20140520183026/el_teniente_mineria_de_futuro.pdf

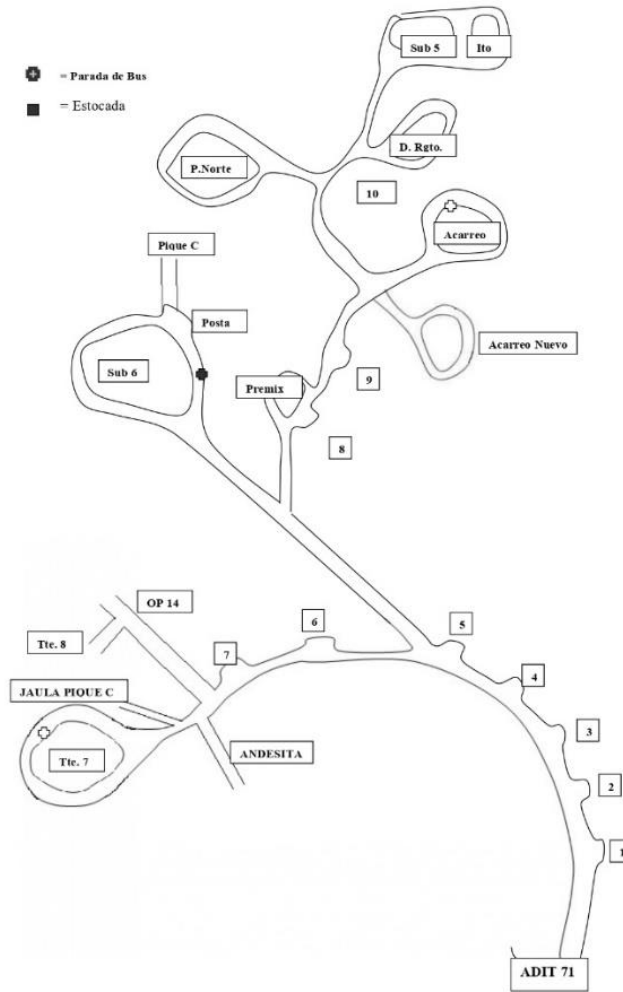


Figura 3.3: Niveles de la mina El Teniente
Fuente: Servicio Complementario – Link.

En la tabla 3.3 se muestra que equipo ingresa a cada nivel de la mina.

Tabla 3.3: Destinos de los equipos que ingresan a la mina	
<i>Tipo de equipo</i>	<i>Niveles de la mina</i>
Bus Mina (Volvo)	Sub 6
	Teniente 7
	Acarreo nuevo
	Acarreo viejo
	Nuevo nivel mina
Taxibus	Sub 5
	Pacifico superior
	Diablo regimiento
	Pipa norte
	Nuevo nivel mina

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Recorrido

Cada viaje realizado por los buses de superficie tiene un recorrido con una variante asociada, lo que significa que el recorrido indica las zonas por las que transita, y la variante muestra las calles específicas dentro de esas zonas. Actualmente, los recorridos abarcan el 100% de Rancagua y el 80% de Machalí. En la figura 3.4 se muestran todos los recorridos de las ciudades de Rancagua y Machalí, hasta la zona alta de la División.

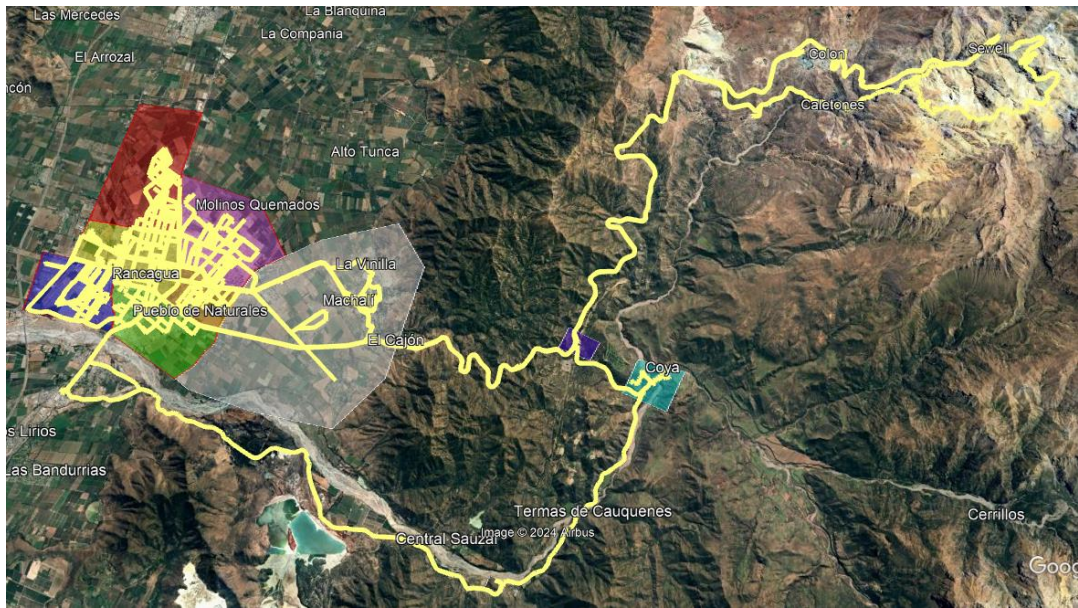


Figura 3.4: Recorridos de los buses superficie DET

Fuente: Recorridos DET - Google Earth Pro.

El propósito de analizar los datos de estos recorridos es evaluar diversos aspectos importantes para la optimización del servicio. Esto incluye los kilómetros recorridos por cada tipo de flota, el tiempo dedicado al viaje desde el punto de origen hasta el destino final, así como la cantidad de paraderos disponibles para que los usuarios suban o bajen de los buses. Este análisis permitirá mejorar la eficiencia operativa y proporcionar un servicio más eficaz para los trabajadores.

- **Kilometraje**

Cada categoría de flota recorre una cantidad específica de kilómetros al mes, lo cual está directamente vinculado con los viajes válidos asociados a un folio particular (ID del viaje realizado). En la tabla 3.4 se detallan los kilómetros efectivamente recorridos por tipo de flota, y en la figura 3.5 se presenta una comparación gráfica de los recorridos por tipo de máquina y por tipo de combustible. Estos datos se obtuvieron del estado de facturación de Link a Codelco, correspondiente al mes de marzo de 2024.

<i>Tipo de flota</i>	<i>Tipo de combustión</i>	<i>Kilometraje</i>	<i>Kilometraje total por flota</i>
Buses Superficie	Eléctrico	34.580	1.030.015
	Diesel	995.435	
TaxiBus (TxB)	Eléctricos	172.113	197.760
	Diesel	25.647	
Carry/MiniBus	Diesel	72.659	72.659
Buses mina (Volvo)	Eléctricos	65.944	77.911
	Diesel	11.967	
Taxi	Diesel	33.339	33.339
Total kilómetros			1.411.684 total

Fuente: Elaboración propia.

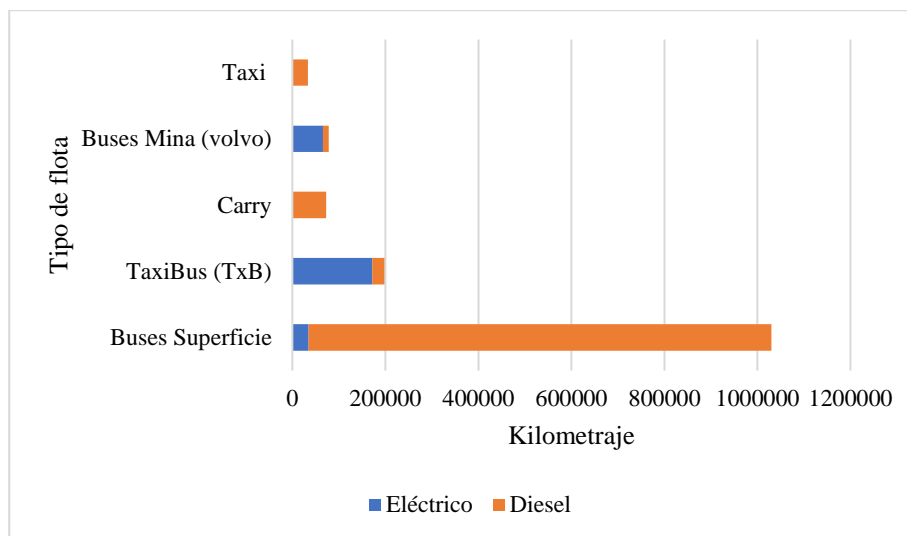


Figura 3.5: Kilómetros recorridos, por tipo de combustible y equipo

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar el porcentaje de los kilómetros efectivamente recorridos por la flota según el tipo de combustión, se ha creado un gráfico circular, el cual se presenta en la figura 3.6.

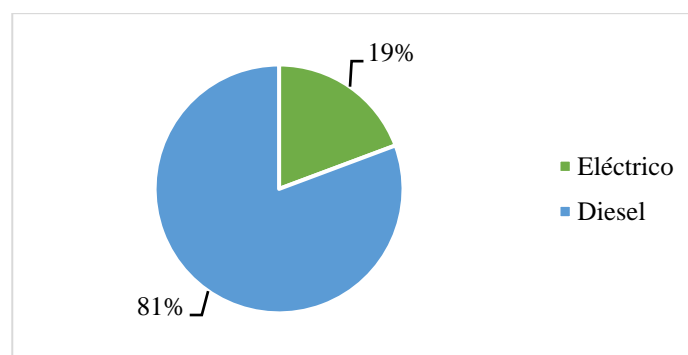


Figura 3.6: Kilometraje según tipo de combustión

Fuente: Elaboración propia.

- **Tiempo de viaje**

Cada servicio proporcionado por la unidad de transporte de personal sigue un horario establecido para transportar a los colaboradores del Teniente según sus tipos de turnos, ya sea cada 8 horas

(turnos A, B y C) o cada 12 horas (Turno 1 y 2). En la tabla 3.5 se expone los horarios de inicio de jornada aproximados de cada turno.

<i>Turnos</i>	<i>TAHI</i>	<i>TB</i>	<i>TC</i>	<i>T2</i>
Hora de inicio jornada	7:30	15:30	23:30	19:30

Fuente: Elaboración propia.

Dado que cada turno tiene horarios específicos de inicio, el sistema de transporte DET ajusta sus horarios para coincidir con estos. Esto asegura que los trabajadores lleguen de manera segura y puntual a sus lugares de trabajo. La sincronización precisa entre los horarios de los turnos y los horarios de los recorridos es crucial para mantener la eficiencia operativa y garantizar que el personal esté presente y preparado al comienzo de cada jornada laboral. En la tabla 3.6 se detallan los horarios de inicio de cada servicio del transporte de personal.

La tabla 3.7 se expone el tiempo teórico (HH:MM) transcurrido desde el inicio del servicio hasta llegar al destino.

<i>Servicios</i>	<i>TAHI</i>	<i>TB</i>	<i>TC</i>	<i>T2</i>
Mina	5:50-6:00	14:00	22:00	17:45
Molinos	6:20-6:36	14:20	22:20	18:15
Traslape	5:50-6:00	13:50	21:50	18:15
Rajo	6:00			18:00
Sewell	5:20			-
Obras Mina	6:45-7:00			18:45-19:00
VP	5:00			17:00

Fuente: Elaboración propia.

		<i>Tipos de turno</i>				
<i>Servicio</i>	<i>Origen</i>	<i>TAHI</i>	<i>TB</i>	<i>TC</i>	<i>T2</i>	<i>Destino</i>
Mina	Rancagua, Coya y Maitenes	1:10	1:10	1:10	1:30	Colón alto
Molinos	Rancagua, Coya y Maitenes	1:20	1:10	1:20	1:30	Colón bajo
Traslape	Rancagua, Promet	1:10	1:25	1:30	1:30	Caletones
Rajo	Rancagua	1:10			1:45	Rajo
Sewell	Rancagua	1:50			-	Sewell
Obras mina	Rancagua	2:00			2:00	Barahona-Colón alto-Sewell
VP	Rancagua, Promet	1:45			1:25	La junta-Sewell

Fuente: Elaboración propia.

- **Paraderos**

En la zona interurbana de Rancagua y Machalí, así como en Coya y la zona alta de la división, hay un total de 328 paraderos disponibles para que los trabajadores puedan ascender o descender de los buses habilitados por la DET.

En la figura 3.7 se muestra el mapa de Rancagua y Machalí dividido por macrozonas junto con las ubicaciones de los paraderos simbolizadas por círculos de color calipso. La zona en blanco corresponde a Machalí, la zona rosada es la zona oriente de Rancagua, la zona verde es la sur, la zona azul es el poniente, la zona amarilla es el centro, y finalmente, la zona roja es el norte de Rancagua.

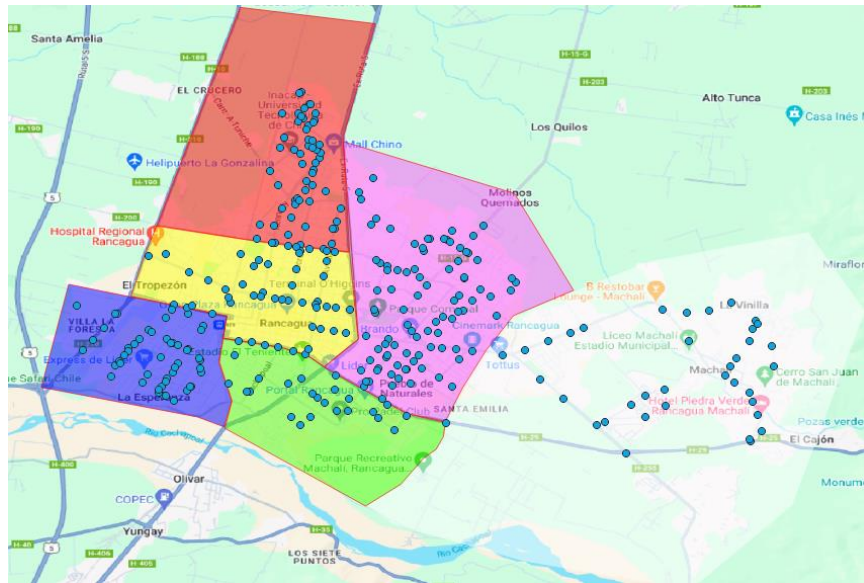


Figura 3.7: Rancagua y Machalí con sus macrozonas con los paraderos existentes
Fuente: Zonificación y Paraderos DET - QGIS.

La tabla 3.8 presenta la cantidad de paraderos por cada macrozona interurbana.

Tabla 3.8: Cantidad de paraderos por macrozona	
<i>Zona</i>	<i>Cantidad de paraderos</i>
Oriente	92
Norte	58
Poniente	50
Centro	47
Machalí	37
Sur	26
Zona alta	13
Coya	4
Maitenes	1
Total	328

Fuente: Elaboración propia.

En cada macrozona se identificó el paradero con mayor demanda de ascenso y descenso durante el mes de marzo de 2024. Este análisis reveló que las áreas con mayor afluencia de pasajeros son la zona alta, la zona sur y Maitenes. La tabla 3.9 proporciona información detallada sobre los paraderos con mayor circulación de pasajeros por zona, junto con la cantidad de pasajeros registrados en marzo de 2024.

Tabla 3.9: Paraderos con mayor demanda por zona

Zona	Paradero	Cantidad de pasajeros
Zona alta	P4073	29.202
Sur	P4038	9.083
Maitenes	P4150	8.248
Machalí	P0049	6.577
Centro	P3017	4.586
Oriente	P3030	2.905
Norte	P4134	1.966
Coya	P4151	1.924
Poniente	P0005	1.582

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 1: Macrozonas de Rancagua y Machalí con sus paraderos con mayor demanda exhibe las 9 macrozonas con sus respectivos paraderos con mayor ascenso y descenso.

- **Estándar de servicio**

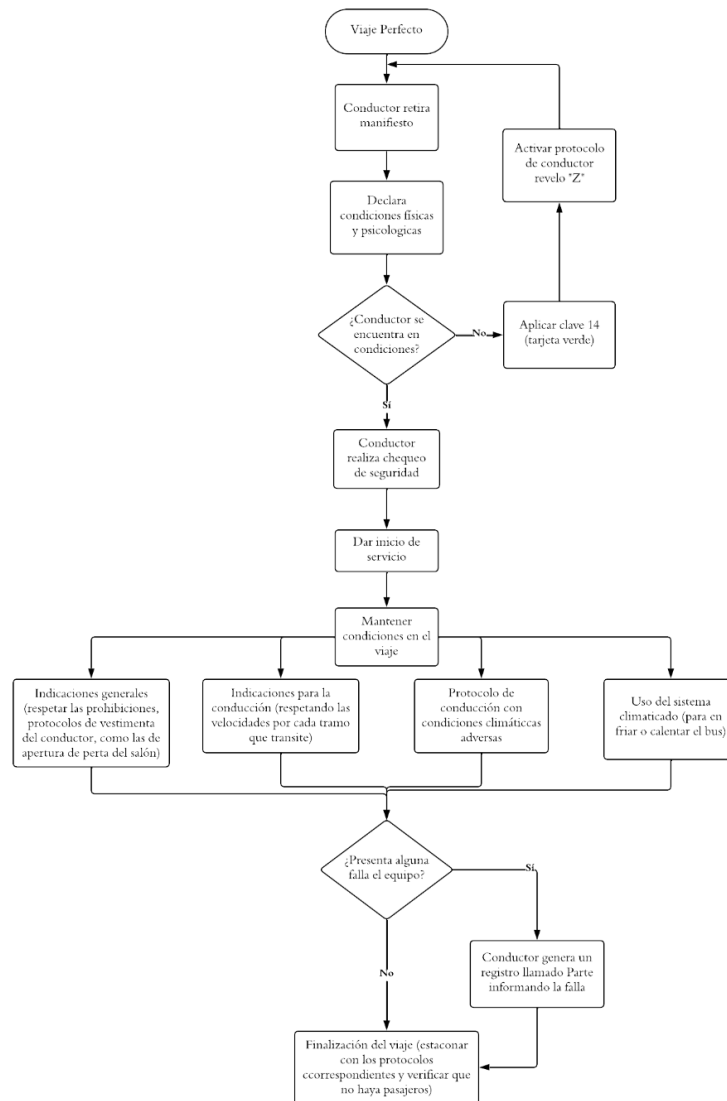


Figura 3.8: Diagrama del viaje perfecto

Fuente: Elaboración propia.

El 26 de abril de 2021, Link elaboró un instructivo titulado "Viaje Perfecto" con el propósito de estandarizar y regular los desplazamientos en el sistema de transporte de personal ofrecido a Codelco. La figura 3.8 presenta un diagrama de flujo que detalla los procedimientos que deben seguirse y respetarse durante los viajes del personal de la División El Teniente (DET).

Cabe destacar que los conductores de relevo "Z" son trabajadores que se solicitan a diario y están disponibles para casos de emergencia, reemplazando a un conductor titular que no esté en condiciones de manejar. Además, el sistema conocido como "clave 14" o "tarjeta verde" permite detener de manera inmediata cualquier actividad cuando se detecta que un conductor titular no se encuentra en condiciones óptimas para realizar el viaje.

Esta estandarización no solo establece un marco claro para los procedimientos de transporte, sino que también refuerza la importancia de la seguridad diaria en cada vehículo utilizado para trasladar a los colaboradores hacia la zona alta de la División. De este modo, se garantiza que todos los involucrados comprendan su papel en la protección y seguridad de las operaciones de transporte.

3.2 Demanda

Es crucial estudiar la demanda actual de la unidad de transporte de personal de la División, debido que proporciona información sobre la cantidad de personas que necesitan ser transportadas, lo que permite dimensionar adecuadamente la flota de vehículos y los recursos necesarios para satisfacer esa demanda de manera eficiente. Para esto se explicará el perfil de demanda de los pasajeros según la movilización del mes de marzo del 2024.

3.2.1 Pasajeros

Se caracterizó el perfil de los usuarios que utilizan el sistema de transporte de personal de la DET, gracias a los datos de la demanda del mes de marzo 2024. Se encontrando que el 20.6% son empleados directos de Codelco, mientras que el 79.4% pertenecen a empresas contratistas. Esta proporción se visualiza en un gráfico circular en la figura 3.9.

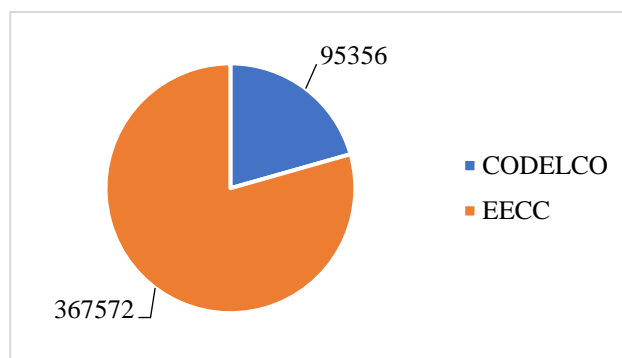


Figura 3.9: Total de pasajeros por tipo de empresa en el mes de marzo del 2024

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la misma base de datos, se determinó la cantidad de usuarios que suben y bajan cada 15 minutos. Para ilustrar estos resultados, tomaremos como ejemplo el día 27 de marzo de 2024, que destacó por ser el día con mayor movilización del mes. En la figura 3.10 se presentan las subidas, mientras que en la figura 3.11 se detallan las bajadas. Estos gráficos se exponen para observar los horarios de mayor demanda, tanto para los viajes hacia la zona alta como para los que se dirigen hacia la zona interurbana.

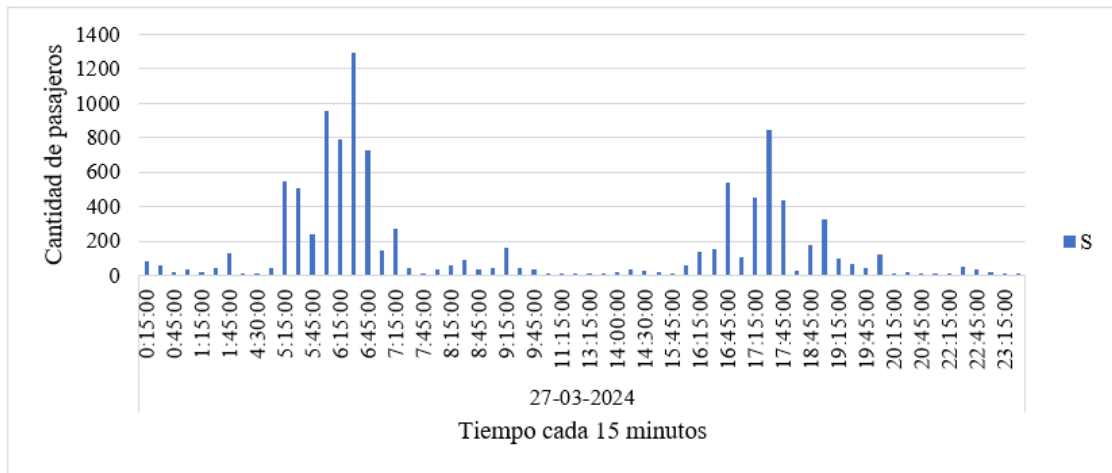


Figura 3.10: Perfil de demanda de subidas del 27 de marzo del 2024

Fuente: Elaboración propia.

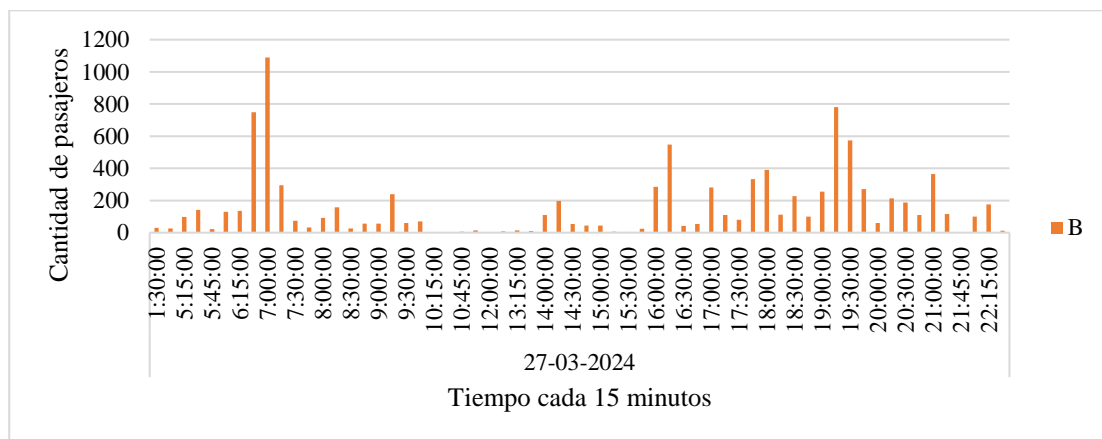


Figura 3.11: Perfil de demanda de bajadas del 27 de marzo del 2024

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la demanda de transporte durante marzo de 2024, se identificaron dos periodos de mayor actividad. El horario peak para las subidas se registró entre las 5:00 am y las 7:15 am, seguido de otro periodo con alta demanda entre las 16:15 y las 19:00 horas. Para las bajadas, el horario peak se situó entre las 6:45 am y las 7:15 am, y posteriormente, desde las 16:00 horas hasta las 21:00 horas, se observó un intenso movimiento de trabajadores descendiendo.

3.3 Indicadores de evaluación de empresa contratista

Los indicadores son fundamentales para vigilar el cumplimiento de los objetivos operativos y financieros, lo que facilita una gestión más efectiva y centrada en los resultados. Además, permiten identificar tendencias a lo largo del tiempo, anticipar posibles problemas y abordar proactivamente las necesidades cambiantes de los usuarios. Entre los aspectos a considerar se encuentran el contrato y todos los criterios relevantes para la generación de estados de pago, así como el nivel de servicio ofrecido por el sistema de transporte de personal DET.

3.3.1 Contrato

El contrato entre Codelco y Link se fundamenta en los viajes efectivos realizados para transportar al personal de la División El Teniente (DET). En el estado de pago se desglosan varios componentes esenciales: los kilómetros recorridos de manera efectiva, el costo del combustible, el costo del operario que conduce la máquina, la flota máxima utilizada y la flota arrendada. Esto permite calcular un costo unitario por kilómetro efectivo, asumiendo todos los costos mencionados. Estos elementos son clave para asegurar una compensación precisa y justa por los servicios prestados, reflejando el uso real de recursos y el cumplimiento de las obligaciones contractuales.

- **Flota peak**

La flota peak se refiere a la cantidad de buses necesarios para cubrir los horarios con mayor demanda de transporte, un aspecto crucial en la planificación del sistema de transporte de personal de la DET. Dado que este sistema opera en función de la demanda histórica, es fundamental calcular con precisión la flota peak para asegurar que se satisfaga adecuadamente la necesidad de movilización durante los periodos más concurridos. El peak de flota durante las mañanas, tarde y noche, se basa en un análisis detallado de la demanda registrada. Generalmente, se utilizan los datos de la cantidad de buses del día anterior para planificar los martes a jueves. En el caso de los lunes, viernes, sábado y domingo, se toman en cuenta los datos del mismo día de la semana anterior, lo que permite ajustar la cantidad de buses requeridos para esos días específicos.

Para determinar el peak de flota durante las mañanas, se utiliza la fórmula 3.1:

$$PeakFlotaMañana = \sum_{t=5:00}^{7:00} BusesSubida_t \quad (3.1)$$

El peak de flota de tarde ya sea para la subida y bajada se hace uso de la fórmula 3.2:

$$PeakFlotaTarde = \sum_{i=17:00}^{18:00} BusesSubida_i + \sum_{j=16:05}^{18:30} BusesBajada_j \quad (3.2)$$

Y, por último, el peak noche se obtiene a través de la fórmula 3.3:

$$PeakFlotaNoche = \sum_{x=21:00}^{1:40} BusesBajada_x \quad (3.3)$$

- **Kilometraje**

Los kilómetros recorridos por cada servicio se registran en los manifiestos (documento de registro y de respaldo de cada viaje realizado) que deben completar los conductores al iniciar un viaje. Es importante destacar que Codelco cubre el recorrido completo de cada viaje, siguiendo la ruta asignada, incluso si el bus realiza una ruta más corta después de que todos los pasajeros descendan. En la tabla 3.10 se detallan los kilómetros teóricos entre cada origen y destino.

<i>Origen/ Destino</i>	<i>Colón</i>	<i>Caletones</i>	<i>Barahona</i>	<i>Coya</i>	<i>Rancagua</i>	<i>Sewell</i>	<i>Mina</i>	<i>Maitenes</i>	<i>La junta</i>	<i>Rajo</i>	<i>Promet</i>
Colón	-	15	9	32	57	13	15	27	11	-	-
Caletones	15	-	9	-	55	-	-	-	-	-	40
Barahona	9	9	-	-	56	21	24	-	-	-	-
Coya	32	32	-	-	27	43	-	-	-	-	-
Rancagua	53	54	46	27	-	66	-	-	65	77	26
Sewell	13	-	20	-	73	-	5	-	2	-	53
Mina	15	-	24	-	-	5	-	-	7	-	-
Maitenes	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La junta	11	-	-	-	69	2	7	-	-	-	51
Rajo	-	-	-	-	78	-	-	-	-	-	-
Promet	-	40	-	-	26	53	-	-	51	-	-

Fuente: Elaboración propia.

- **Flota arrendada**

Codelco ha establecido un sistema de leasing con la flota que Link proporciona a la División El Teniente (DET) para el transporte de personal. Este acuerdo implica que Codelco arrienda los buses de Link para cubrir las necesidades de transporte de sus trabajadores. Además, El Teniente paga por el peak de flota contratada, lo que significa que abona por el número máximo de equipos requeridos durante los horarios de mayor demanda de pasajeros. Esta modalidad de pago garantiza que la empresa tenga suficientes recursos de transporte disponibles para atender la movilización de sus trabajadores en los momentos de mayor afluencia.

3.3.2 Nivel de servicio

Analizar el nivel de servicio del sistema de transporte de la División reviste una importancia fundamental en la gestión operativa y en la satisfacción de los trabajadores. Esta evaluación

permite identificar áreas de mejora, detectar posibles fallos o deficiencias en la prestación del servicio y optimizar la eficiencia del transporte. Al comprender las horas de llegadas de los servicios, la adherencia del recorrido y la tasa de utilización, se pueden tomar decisiones informadas para mejorar la puntualidad, la frecuencia, la comodidad y la seguridad de los viajes de los trabajadores.

- **Adherencia del recorrido**

La adherencia del trayecto es un cálculo geométrico utilizado para determinar si la ruta seguida por el conductor coincide con el recorrido originalmente asignado. En la figura 3.12 se muestra una captura de pantalla de un manifiesto del operador tecnológico, una aplicación que almacena en línea el movimiento del GPS de cada bus, junto con datos asociados a cada viaje. En esta imagen, se reflejan diversos datos, entre los cuales se pueden observar la adherencia tanto en kilometraje como en porcentaje.

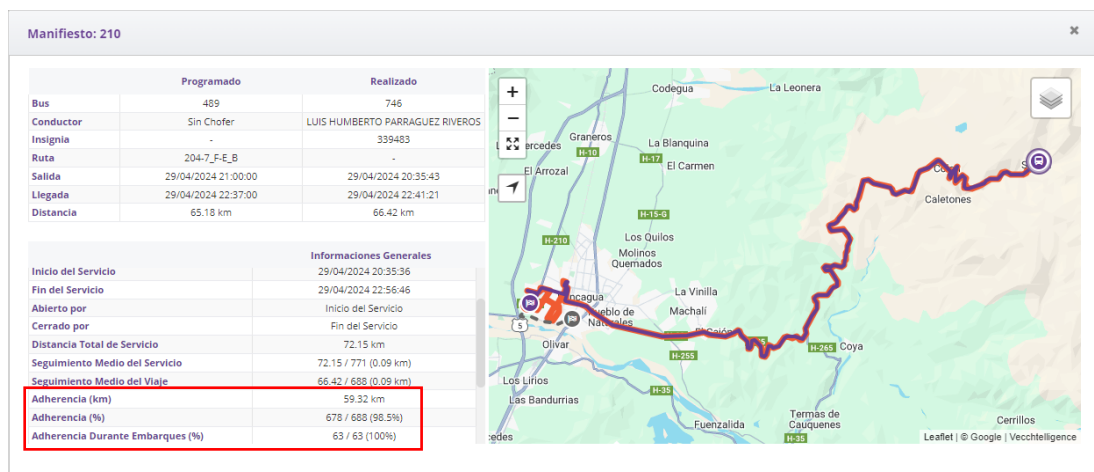


Figura 3.12: Pantallazo de un manifiesto en operador tecnológico
Fuente: Operador tecnológico de la DET.

- **Tasa de utilización**

La tasa de utilización es una métrica fundamental para comprender cómo se está utilizando realmente el servicio de transporte de personal de Codelco. Esta métrica permite calcular la eficiencia con la que se están utilizando los recursos disponibles en relación con la demanda real de transporte. La ecuación 3.4 proporciona una manera de calcular esta tasa, que involucra la relación entre la cantidad de trabajadores que utilizan el servicio y la capacidad total de los equipos disponibles.

$$Tasa\ de\ utilización = \frac{N^{\circ}\ total\ de\ pasajeros}{Capacidad\ del\ bus} \times 100 \quad (3.4)$$

A modo de ejemplo se tomó como referencia el día 27 de marzo, que destacó por ser el día con mayor demanda de dicho mes, movilizándose un total de 20.211 pasajeros. Para calcular la tasa de utilización, se seleccionaron los viajes de subida correspondientes a esa fecha y se identificó la capacidad de cada bus. Dando como resultado un 63,8% de tasa de utilización.

$$Tasa\ de\ utilización_{27-03-2024} = \frac{10.200}{(72 * 44) + (267 * 48)} * 100 = 63,8\%$$

3.3.3 Emisiones de CO₂

Los vehículos que utilizan combustibles fósiles emiten gases contaminantes al medio ambiente. En este contexto, los buses Link, que operan con Diesel y transitan diariamente en zonas interurbanas, contribuyen significativamente a la contaminación ambiental. Según un estudio establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, un bus puede llegar a emitir aproximadamente 2,69 kg de CO₂ por litro de Diesel consumido (Us Epa Center For Corporate Climate Leadership, 2021).

Un bus superficie de la marca Mercedes Benz, modelo O 500 RSD, utilizado por Link, tiene un rendimiento de 2 kilómetros por litro de combustible. Esto implica que el factor de emisión de CO₂ por kilómetro recorrido es de 1,35 kg.

Este dato implica que para un equipo que transporta al personal de la División El Teniente durante un mes, la cantidad de emisiones se puede calcular utilizando la fórmula 3.5.

$$Emisiones\ de\ CO_2 = kilometros * 1,35\ kg\ CO_2 \quad (3.5)$$

Al considerar el kilometraje total recorrido por un bus de superficie Diesel en el mes de marzo, se estima una emisión de 1.343.837,25 kg de CO₂ para ese periodo. El cálculo detallado se presenta en la fórmula 3.6. Este nivel de emisiones subraya la urgente necesidad de reducir el tiempo de conducción y, por ende, el kilometraje transitado. Al disminuir el tiempo que los autobuses pasan en tránsito, no solo se reduce el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, sino que también se optimizan los costos operativos y se mejora la eficiencia del sistema de transporte.

$$Emisión\ de\ CO_{2\text{marzo } 2024} = 995.435\ km * 1,35\ kg\ CO_2 = 1.343.827,25\ kg\ de\ CO_2 \quad (3.6)$$

3.4 Mantenimiento de la flota

Los buses de Link siguen un riguroso programa de mantenimiento gestionado por el departamento de planificación, que se divide en dos tipos: preventivo y correctivo.

En el mantenimiento preventivo, cada jueves se realiza un chequeo de los kilómetros recorridos por cada bus para identificar cuáles deben ir al taller según las recomendaciones del fabricante. Al

día siguiente, se envía al departamento de planificación un informe detallado de la flota que necesita mantenimiento. Luego, el departamento de planificación comunica este informe al jefe de turno de mantenimiento preventivo y envía los buses al taller. Jefe de turno asigna de 2 a 3 mecánicos para cada equipo en mantenimiento. Las máquinas siguen pautas específicas de mantenimiento dependiendo del tipo de aceite utilizado por el motor: sintético o mineral. Existen cuatro pautas para el aceite sintético y cinco para el aceite mineral, que se alternan según el kilometraje registrado en el bus. La figura 3.13 detalla los tipos de pautas y los momentos adecuados para realizarlas.

Después de que los mecánicos completan el mantenimiento, el jefe de turno verifica que el procedimiento se haya realizado correctamente antes de entregar el bus en condiciones óptimas. Los buses que ingresan al taller para este tipo de mantenimiento generalmente permanecen allí por un máximo de un día.

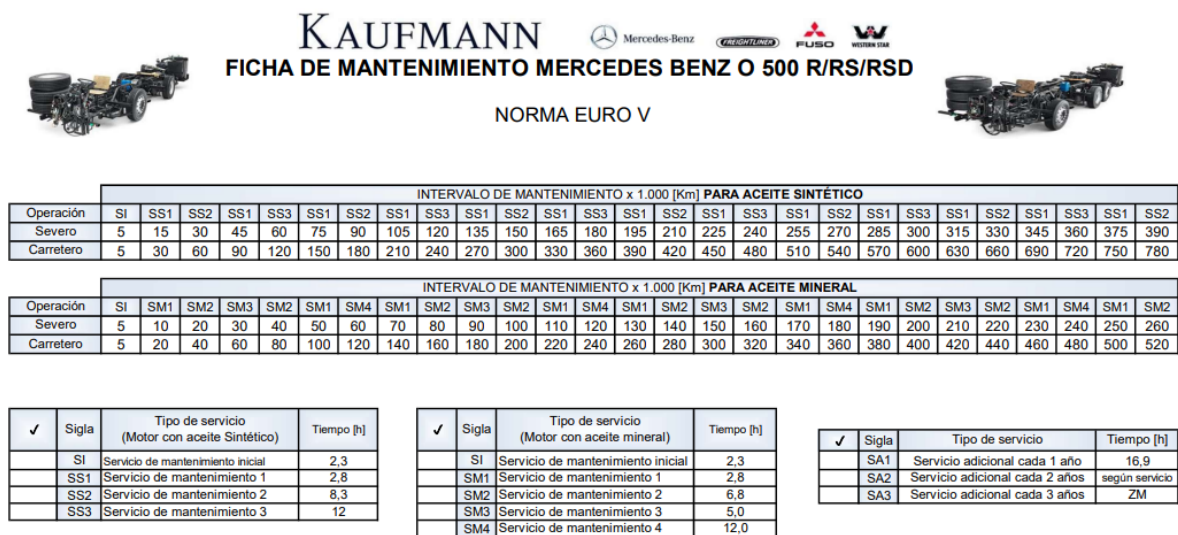


Figura 3.13: Ficha de mantenimiento por kilometraje según fabricante

Fuente: Kaufmann.

En el caso de los mantenimientos correctivos, estos no dependen de una variable controlable de la máquina, sino que se realizan cuando el conductor detecta una falla en el bus. El chofer debe generar un informe llamado "Parte" para reportar la falla. Posteriormente, el Parte se entrega al departamento de planificación de Link, donde se ingresa el documento al sistema de mantenimiento y se programa el envío del equipo al taller. El jefe de turno asigna un mecánico para realizar la mantención, comenzando con un diagnóstico del bus para determinar los pasos a seguir. Una vez que el procedimiento de mantenimiento se completa, el jefe de turno verifica que todo esté en condiciones óptimas antes de entregar el bus. En estos mantenimientos, el 95% de los buses son entregados el mismo día.

A pesar de que Link cuenta con un riguroso protocolo de mantenimiento, en el día a día pueden surgir imprevistos y eventos que afectan la operatividad de la mina. Defectos mecánicos inesperados y problemas logísticos son ejemplos de situaciones que pueden comprometer la eficiencia del transporte de personal. Estos inconvenientes, aunque mitigados por los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo, aún presentan desafíos que requieren respuestas rápidas y efectivas para asegurar la continuidad de las operaciones en la División El Teniente. En la tabla 3.11 se desglosan con mayor detalle los eventos registrados en el mes de marzo de 2024.

<i>Imprevistos</i>	<i>Frecuencia</i>
Panne	34
Usuarios sin locomoción	6
Error de recorrido	4
Incidente en la Mina	2
Panne en ingreso al Nuevo Nivel Mina	2
Servicio Especial	2
Bus menos	1
Emergencia en el área	1
Error en la Salida	1
Mal estado del Nuevo Nivel Mina	1
Neumático pinchado	1
Panne climatizado	1
Total general	56

Fuente: elaboración propia.

3.5 Tecnologías del sistema actual de transporte de personal

La Gerencia de Servicios y Suministros desarrolló una aplicación móvil que permite a los trabajadores visualizar las rutas, horarios y ubicación en tiempo real de los buses en servicio, junto con la disponibilidad de asientos. El propósito principal de esta aplicación es proporcionar a los trabajadores de la División El Teniente (DET) acceso instantáneo a la información del servicio de transporte hacia las áreas altas de la división, lo que les permite planificar sus desplazamientos de manera eficiente y evitar la pérdida de los buses necesarios.

En el **Anexo 2: Uso de la aplicación Transporte DET** presenta una guía detallada sobre cómo utilizar la aplicación, acompañada de capturas de pantalla que ejemplifican cada paso para garantizar un uso correcto y efectivo de la herramienta.

3.6 Análisis FODA

A continuación de un exhaustivo diagnóstico del sistema de transporte de personal en la División El Teniente (DET) de Codelco, se ha elaborado una matriz FODA que permite identificar y analizar los factores internos y externos que influyen en el desempeño del sistema. Este análisis proporciona una visión integral de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del sistema actual, permitiendo establecer estrategias más efectivas para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y minimizar el impacto ambiental. La matriz FODA se presenta en la tabla 3.12, como una herramienta fundamental para la toma de decisiones estratégicas que guiarán el futuro del transporte de personal en la DET.

Fortaleza	Puntualidad en los horarios de recogida de los empleados.
	Flota de vehículos bien mantenida y equipada con comodidades para los pasajeros.
	Conductores altamente capacitados y con experiencia en el transporte de personal.
	Sistema de seguimiento de los buses DET que permite monitorear la ubicación y el estado de los estos en tiempo real.
	Flexibilidad para adaptarse a las necesidades cambiantes de transporte de los empleados.
Oportunidad	Implementación de nuevas tecnologías de gestión de flotas para optimizar las rutas y reducir los tiempos de viaje.
	Expansión del servicio de transporte para cubrir nuevas áreas geográficas o incluir horarios adicionales según la demanda de los empleados.
	Agregar nuevos indicadores para tener mejora constante en el sistema de transporte de personal.
	Comunicar de manera más eficiente el sistema del transporte de personal a la organización.
Debilidades	Falta de disponibilidad de vehículos en momentos de alta demanda, lo que puede provocar retrasos en los horarios.
	Problemas de mantenimiento que afectan la fiabilidad y la calidad del servicio.
	Insuficiente comunicación interna con los empleados sobre cambios en los horarios o interrupciones en el servicio.
	Limitaciones en la capacidad de los vehículos para acomodar a todos los pasajeros durante las horas peak.
	La poca difusión del sistema de seguimiento de la flota en tiempo real.
Amenazas	Aumento de los costos de combustible que podrían afectar la viabilidad financiera del servicio.
	Cambios en las regulaciones gubernamentales relacionadas con la seguridad y las normativas medioambientales que podrían requerir inversiones adicionales en la flota de vehículos.
	Cambio en la jornada de trabajo que podría modificar la demanda del transporte de personal.
	Cambio de jornada de conductores que podría cambiar la dotación del personal.

Capítulo 4: Estrategias para el transporte el personal

En esta sección se estudian y analizan las posibles optimizaciones que podrían lograrse mediante la implementación de dos propuestas clave: la primera consiste en la instalación de terminales satelitales en zonas estratégicas de Rancagua, y la segunda se centra en fomentar tanto el trabajo en la sede Millán como el teletrabajo. Estas estrategias están diseñadas para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad del sistema de transporte de personal en la División El Teniente de Codelco.

4.1 Terminales satelitales en la zona interurbana de Rancagua

Dado los problemas identificados anteriormente, como la falta de disponibilidad de vehículos en momentos de alta demanda que provoca retrasos y afecta la calidad del servicio, la gestión centralizada de los recorridos genera ineficiencias, limitando la capacidad de respuesta ante cambios en las jornadas laborales y las regulaciones legales. Además, los problemas de mantenimiento comprometen la fiabilidad de la flota, y el alto impacto medioambiental debido a la gran cantidad de vehículos en tránsito diariamente exacerba estos desafíos.

Por esto, se plantea la creación de terminales satelitales para el transporte de personal en las diferentes macrozonas de Rancagua, específicamente en las zonas norte, oriente y poniente. En el resto de las zonas, como el centro de Rancagua, no es viable instalar un terminal debido a restricciones urbanas y espaciales. En la zona sur, los servicios inician recorrido desde la sede de Link, ubicada en un sector donde la flota pasa por la mayoría de los paraderos, haciendo innecesaria la implementación de un terminal. En Machalí, se mantendrán los servicios y recorridos actuales, ya que las rutas existentes cubren eficientemente esta área.

Para evaluar correctamente la ubicación del terminal en la zona oriente, se creó una macrozona adicional llamada zona Manzanal. Esta nueva macrozona se introdujo debido a que la zona oriente es demasiado extensa en términos de territorio. Al dividirla en dos, se garantiza que las personas que viven más lejos de las avenidas principales tengan un terminal más accesible. Los servicios pasan por esta nueva zona, y al ser parte de la zona oriente, podría afectar el cálculo de la ubicación óptima del terminal. En la figura 4.1 se muestra el mapa de las macrozonas, con la nueva zona Manzanal destacada en color naranja.

Los terminales se ubicarán en posiciones lo más cercanas posible a las óptimas, calculadas a través de un modelo de localización de instalaciones. Estas ubicaciones servirán como referencia para encontrar terrenos viables en cada sector. La implementación de estos terminales permitirá una distribución más equitativa del tiempo y la distancia de viaje para los empleados, mejorando así la eficiencia del sistema de transporte y reduciendo los tiempos de traslado.

Además, se analizarán el kilometraje y el tiempo ahorrado en cada recorrido al iniciar la ruta desde el terminal. Esto implica que el primer tramo de la mayoría de los recorridos será eliminado, ya que los buses comenzarían su servicio desde el terminal, evitando las vueltas iniciales. Como consecuencia, solo los usuarios que normalmente abordaban en los paraderos del inicio del trayecto necesitarán caminar hasta el terminal. Esta optimización contribuirá a una gestión más eficiente del transporte de personal en la División El Teniente.

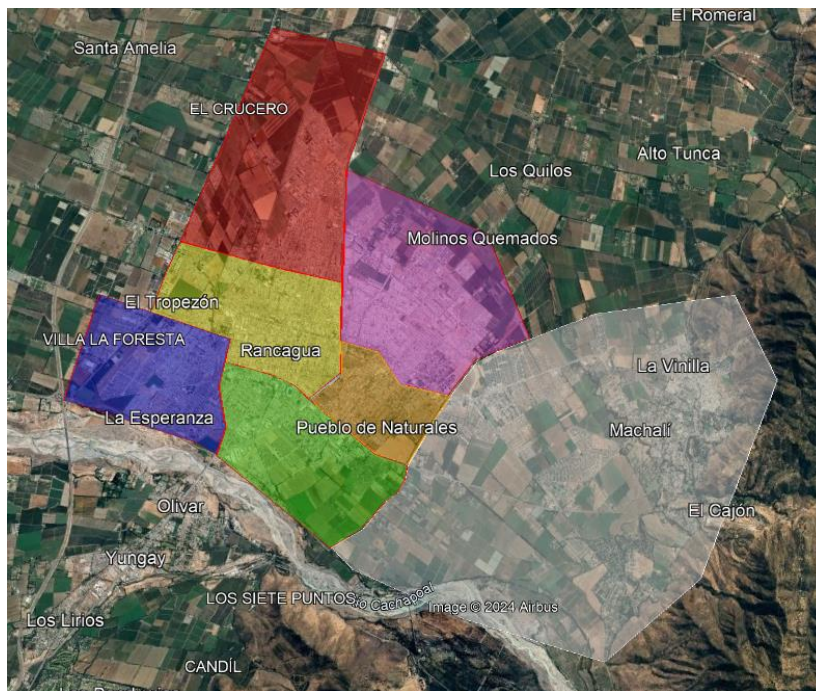


Figura 4.1: Mapa de Rancagua y Machalí con la nueva zona Manzanal
Fuente: Zonificación V2 DET - Google Earth Pro.

4.1.1 Ubicación de termina

Para calcular la ubicación de cada terminal satelital, fue necesario identificar en qué zona ascendieron los pasajeros. Para ello, se utilizó la herramienta QGIS, un software de código abierto para sistemas de información geográfica (SIG) que permite la visualización, edición y análisis de datos geoespaciales. Mediante QGIS, se procesaron las coordenadas de subida de cada pasajero obtenidas de la base de datos de la demanda de marzo 2024, entrelazándolas con las macrozonas de Rancagua y Machalí.

Se tomó una muestra de la demanda, específicamente los datos de dos semanas consecutivas, del 11 al 24 de marzo. Dado que hay turnos de trabajadores que son de 7 por 7 días, se consideraron dos grupos de personas que se alternan semanalmente. Además, se filtraron solo los viajes de subida realizados entre las 5:00 y las 7:00 AM, ya que este es el horario de mayor movilización hacia la zona alta. Este análisis se realizó para cada zona donde se pretende implementar terminales.

Después de aplicar los filtros, se calculó la ubicación más cercana a la óptima del terminal para cada zona utilizando un modelo de localización de instalaciones con el Método de centro de gravedad. Este método se basa en calcular una ubicación central que minimiza la distancia ponderada a todos los puntos de demanda, en este caso, las coordenadas de ascenso de los trabajadores. Se tuvieron en cuenta factores como el número de empleados por zona y las distancias euclidianas desde cada punto de ascenso hasta la ubicación potencial del terminal. Así, se determinó una ubicación central para cada una de las tres zonas: norte, oriente y poniente de Rancagua, asegurando que el terminal seleccionado reduce al máximo las distancias de traslado para la mayoría de los empleados.

En el modelo se establecieron parámetros, incluyendo las zonas donde se instalarán los terminales, el número de trabajadores por zona, la cantidad de empleados que utilizaron el servicio de transporte de personal por zona, y las coordenadas de cada empleado por área geográfica. La única variable de decisión es la coordenada del terminal. La función objetivo minimiza la distancia euclidianas desde cada coordenada de ascenso de los pasajeros hasta la ubicación del terminal, repitiendo este procedimiento tres veces, una por cada zona. Esto resulta en una optimización no lineal sin restricciones. En la figura 4.2 se muestra gráficamente las distancias que se calcularán en el modelo planteado.

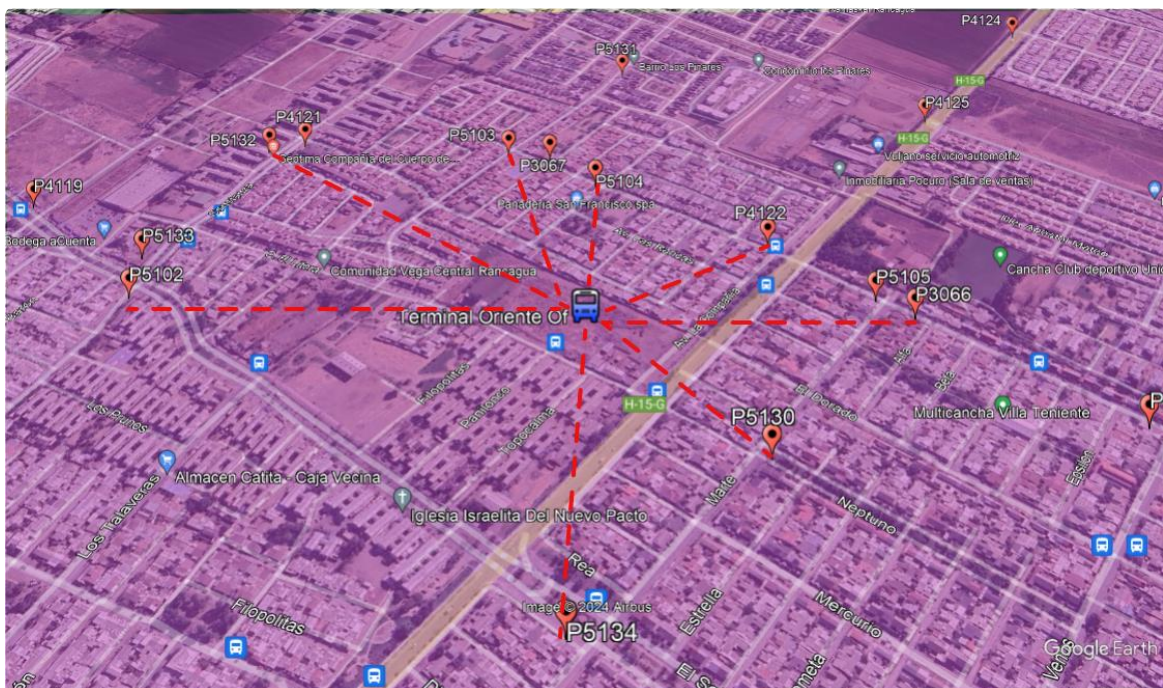


Figura 4.2: Distancia euclidianas de las subidas al terminal
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los parámetros, variable de decisión y la función objetivo correspondientes.

Indices y parámetros:

i = Zonas donde se instalará un terminal {1: Norte, 2: Oriente, 3: Poniente}

n_i : Números de empleados en la zona i .

j = Cantidad de empleados que hacen uso del transporte DET {1, 2, ..., n_i }

(x_j, y_j) : Coordenadas del empleado j en la zona i .

Variable de decisión:

(X_i, Y_i) : Coordenadas del terminal en la zona i que queremos encontrar.

Función Objetivo:

$$\begin{aligned} \min \sum_{j=1}^{n_i} & \text{COS} \left(\text{COS} \left(\text{RADIANS}(90 - x_j) \right) * \text{COS}(\text{RADIANS}(90 - X_i)) \right. \\ & + \text{SEN} \left(\text{RADIANS}(90 - x_j) \right) * \text{SEN}(\text{RADIANS}(90 - X_i)) \\ & \left. * \text{COS} \left(\text{RADIANS}(y_j - Y_i) \right) \right) * 6371 * 1000 \end{aligned}$$

Mencionar que la fórmula de la función objetivo calcula la distancia en metros entre un pasajero y un terminal utilizando sus coordenadas geográficas, ajustadas para la curvatura de la Tierra. Primero, convierte las coordenadas de latitud y longitud de grados a radianes. Luego, calcula el coseno del ángulo central entre los dos puntos mediante funciones trigonométricas. Finalmente, aplica la fórmula para obtener la distancia en metros, multiplicando por el radio de la Tierra.

Para obtener los datos deseados, se utilizó la herramienta Solver de Excel, aplicando la función objetivo indicada. En la tabla 4.1 se presentan las coordenadas encontradas por el Solver para cada terminal.

Zona	Latitud	Longitud
Norte	-34,13802	-70,73718
Oriente	-34,15871	-70,70863
Poniente	-34,17745	-70,76636

Fuente: Elaboración propia

En modo de encontrar un terreno viable cercano a la ubicación encontrada de los tres terminales, por google maps se identificaron sectores factibles, que incluso están menos de 250 metros de las

coordenadas óptimas encontradas por el solver de Excel. En la tabla 4.2 se muestran las nuevas coordenadas viables a donde se pueden instalar cada terminal.

En las figuras 4.3, 4.4 y 4.5, se puede visualizar la ubicación óptima del terminal representada por un icono de color calipso, y la ubicación factible del terminal en un terreno sin ninguna vivienda o construcción urbana, indicada con un icono de un bus azul.

Tabla 4.2: Coordenadas factibles a implementar terminales		
<i>Zona</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
Norte	-34,138492	-70,738922
Oriente	-34,156233	-70,708231
Poniente	-34,177912	-70,768424

Fuente: Elaboración propia

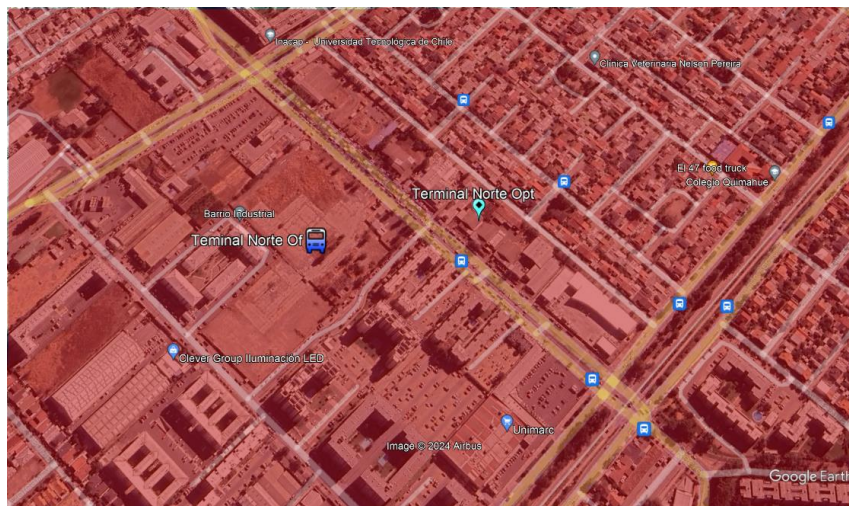


Figura 4.3: Terminal óptimo y terminal oficial de la zona norte de Rancagua
Fuente: Terminal norte óptimo y oficial - Google Earth Pro.

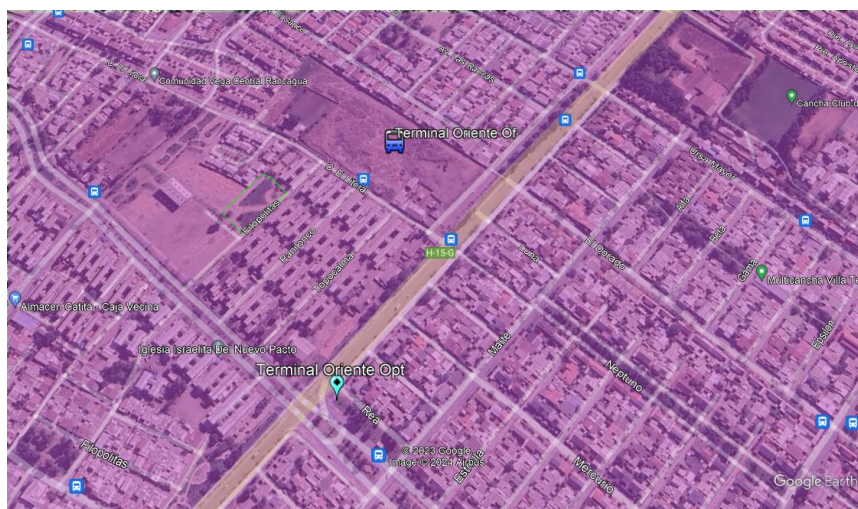


Figura 4.4: Terminal óptimo y terminal oficial de la zona oriente de Rancagua
Fuente: Terminal oriente óptimo y oficial - Google Earth Pro.

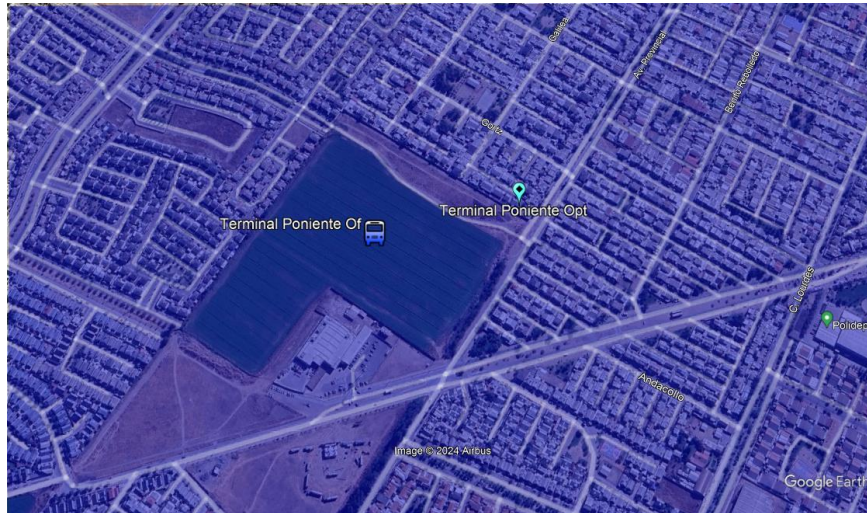


Figura 4.5: Terminal óptimo y terminal oficial de la zona poniente de Rancagua
Fuente: Terminal poniente óptimo y oficial - Google Earth Pro.

En el figura 4.6 se muestra un pantallazo con el mapa de todo Rancagua indicando los puntos de donde se implementaría los terminales.

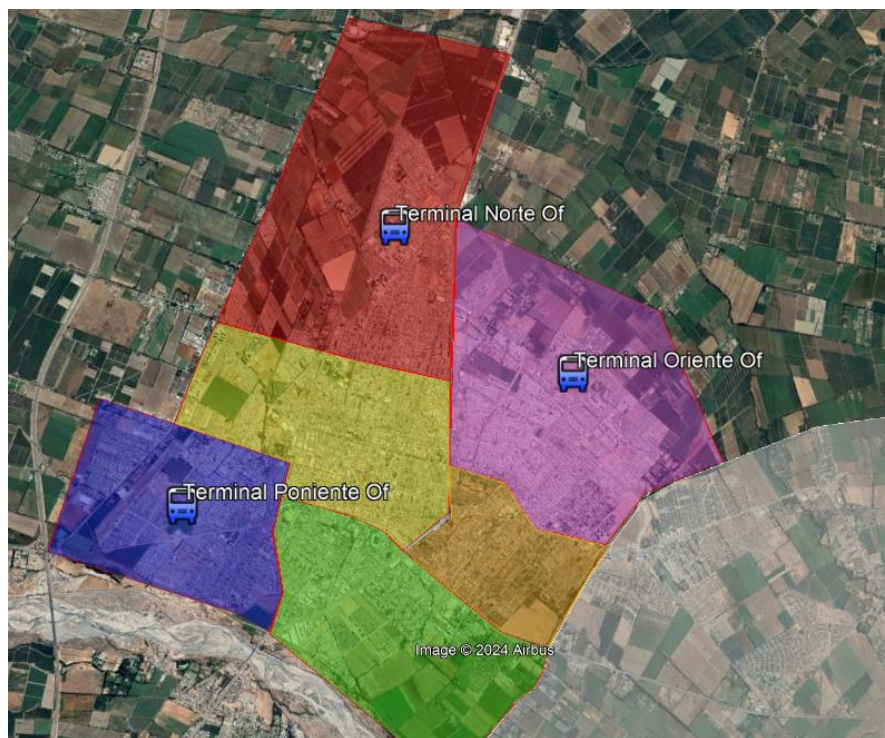


Figura 4.6: Zonas de Rancagua y la ubicación de los terminales
Fuente: Zonificación y terminales factibles DET - Google Earth Pro.

4.1.2 Análisis estadísticos descriptivo

A modo de visualizar datos estadísticos de las distancias de las subidas al terminal por zona, se identificaron el promedio de las distancias, la desviación estándar, así como los valores máximos y mínimos. La tabla 4.3 presenta en detalle cada uno de estos valores.

	<i>Zona norte</i>	<i>Zona oriente</i>	<i>Zona poniente</i>
Promedio	870,68 mt	998,92 mt	851,68 mt
Desviación estandar	462,58	478,39	329,06
Máximo	1.947 mt	2.192 mt	1.797 mt
Mínimo	89 mt	221 mt	178 mt

Fuente: Elaboración propia.

La zona oriente presenta el mayor promedio de distancia (998,92 metros), lo que indica que, en promedio, los pasajeros de esta zona tendrán que recorrer una mayor distancia para llegar al terminal en comparación con las zonas norte y poniente. La zona poniente tiene el menor promedio de distancia (851,68 metros).

La desviación estándar más alta se encuentra en la zona oriente (478,39 metros), lo que sugiere una mayor variabilidad en las distancias de los pasajeros a este terminal. Esto implica que algunos pasajeros en esta zona están cerca o y otros lejos del terminal en comparación con el promedio. La zona poniente tiene la desviación estándar más baja (329,06 metros), indicando una menor variabilidad en las distancias de los pasajeros.

Las distancias máximas y mínimas reflejan los extremos del recorrido que los pasajeros deben realizar para llegar al terminal. La zona oriente tiene la mayor distancia máxima (2.192 metros), mientras que la zona norte presenta la menor distancia mínima (89 metros).

Para realizar histogramas con las distancias terminal, se tomaron intervalos de 125 metros para cada análisis, considerando que una cuadra mide aproximadamente esa distancia. Además, se contabilizó la cantidad de veces que se camina en cada intervalo.

En la tabla 4.4 se expone la frecuencia de personas que caminarían desde su subida hasta al terminal norte, identificando que el 16,5% del personal que sube entre el 11 y el 24 de marzo de 2024, deberá caminar 375 metros o 4 cuadras para llegar al terminal. Asimismo, en la figura 4.7 se muestra un histograma de la distribución de las distancias.

<i>Cuadras</i>	<i>Intervalos (metros)</i>	<i>Cantidad de personas</i>	<i>Porcentaje de caminatas</i>
1 Cuadra	[0-125[	435	7%
2 Cuadras	[125-250[	78	1%
3 Cuadras	[250-375[	375	6%
4 Cuadras	[375-500[	1.019	17%
5 Cuadras	[500-625[	518	8%
6 Cuadras	[625-750[	77	1%
7 Cuadras	[750-875[	548	9%
8 Cuadras	[875-1000[	416	7%
9 Cuadras	[1000-1125[	580	9%
10 Cuadras	[1125-1250[	697	11%
11 Cuadras	[1250-1375[	359	6%
12 Cuadras	[1375-1500[	626	10%
13 Cuadras	[1500-1625[	207	3%
14 Cuadras	[1625-1750[	13	0%
15 Cuadras	[1750-1875[	144	2%
16 Cuadras	[1875-2000[	69	1%
17 Cuadras	[2000-2125[	0	0%
Total de caminatas		6.161	100%

Fuente: Elaboración propia.

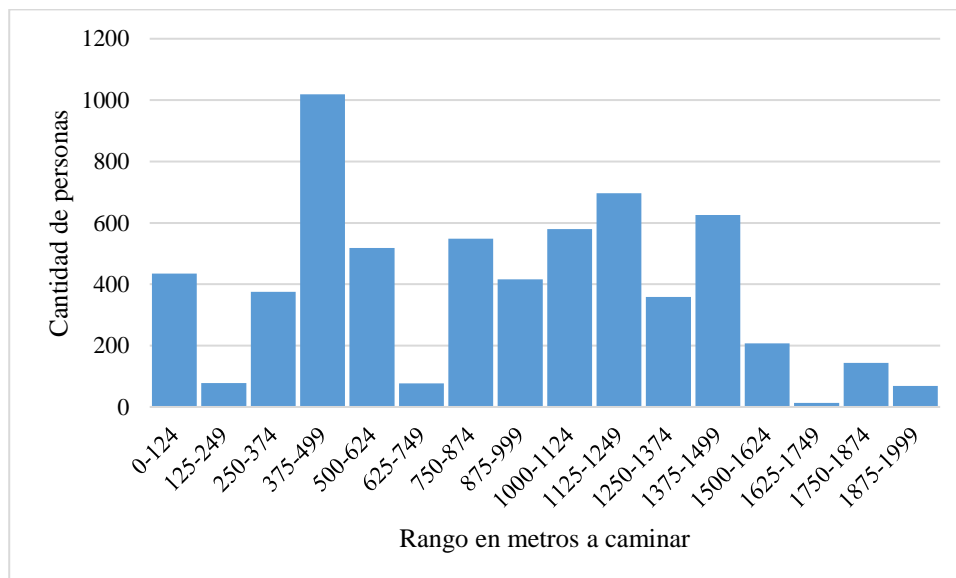


Figura 4.7: Histograma de las distancias de las subidas al terminal norte

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en la tabla 4.5 se muestra la frecuencia de personas que caminarían desde su subida hasta al terminal oriente. Se observa que el 12,5% de la demanda, es decir, 1.295 veces, los trabajadores deberán caminar 500 metros o 5 cuadras para llegar al terminal. Sin embargo, otro 12% de la demanda tendrá que caminar 3 cuadras y un 11,7% caminará 11 cuadras. En la figura 4.8 se presenta el histograma de la distribución de estas distancias.

<i>Cuadras</i>	<i>Intervalos</i>	<i>Cantidad de caminatas</i>	<i>Porcentaje de caminatas</i>
1 Cuadra	[0-125[	0	0%
2 Cuadras	[125-250[	236	2%
3 Cuadras	[250-375[	1.238	12%
4 Cuadras	[375-500[	49	0%
5 Cuadras	[500-625[	1.295	12%
6 Cuadras	[625-750[	977	9%
7 Cuadras	[750-875[	619	6%
8 Cuadras	[875-1000[	695	7%
9 Cuadras	[1000-1125[	880	8%
10 Cuadras	[1125-1250[	643	6%
11 Cuadras	[1250-1375[	1213	12%
12 Cuadras	[1375-1500[	573	6%
13 Cuadras	[1500-1625[	1.005	10%
14 Cuadras	[1625-1750[	49	0%
15 Cuadras	[1750-1875[	513	5%
16 Cuadras	[1875-2000[	74	1%
17 Cuadras	[2000-2125[	37	0%
18 Cuadras	[2125-2250[	293	3%
19 Cuadras	[2250-2375[	0	0%
Total de caminatas		10.389	100%

Fuente: Elaboración propia.

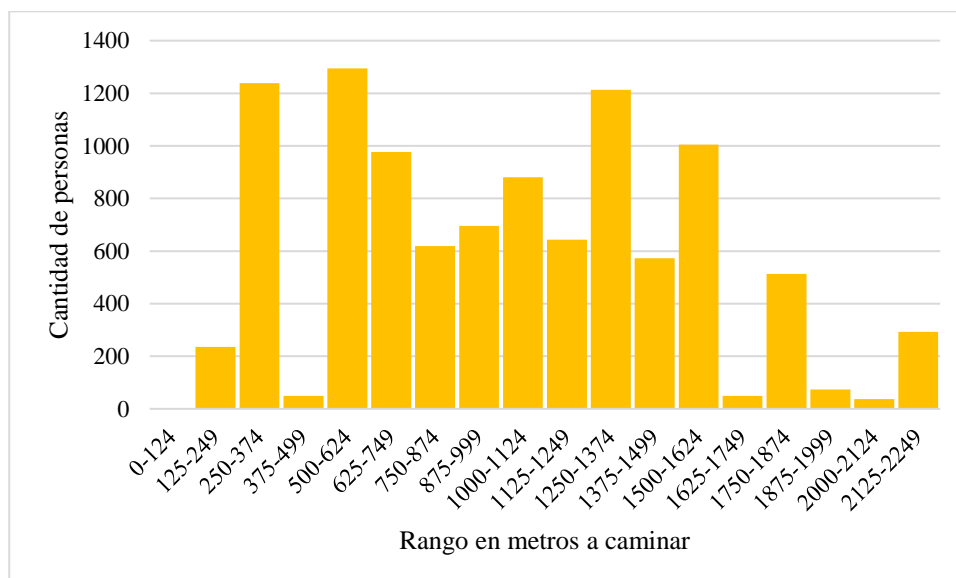


Figura 4.8: Histograma de las distancias de las subidas al terminal oriente

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la tabla 4.6 se observa la distribución de la frecuencia de personas que caminarían desde su subida hasta al terminal poniente. Se revela que el 17,8% de la demanda que sube en las fechas filtradas en el estudio, particularmente en la zona poniente, deberá caminar 375 metros o 4 cuadras para llegar al terminal, es decir, 1.555 caminatas. Sin embargo, el 74% de la demanda

caminará entre 5 y 10 cuadras. En la figura 4.9 se indica el histograma de la distribución de la zona poniente.

Tabla 4.6: Frecuencia de caminatas al terminal poniente

<i>Cuadras</i>	<i>Intervalos</i>	<i>Cantidad de caminatas</i>	<i>Porcentaje de caminatas</i>
1 Cuadra	[0-125[	0	0%
2 Cuadras	[125-250[	14	0%
3 Cuadras	[250-375[	80	1%
4 Cuadras	[375-500[	1.555	17%
5 Cuadras	[500-625[	1.101	12%
6 Cuadras	[625-750[	1.392	15%
7 Cuadras	[750-875[	979	11%
8 Cuadras	[875-1000[	1.362	15%
9 Cuadras	[1000-1125[	1.113	12%
10 Cuadras	[1125-1250[	914	10%
11 Cuadras	[1250-1375[	121	1%
12 Cuadras	[1375-1500[	152	2%
13 Cuadras	[1500-1625[	57	1%
14 Cuadras	[1625-1750[	276	3%
15 Cuadras	[1750-1875[	158	2%
16 Cuadras	[1875-2000[	0	0%
Total de caminatas		9.274	100%

Fuente: Elaboración propia.

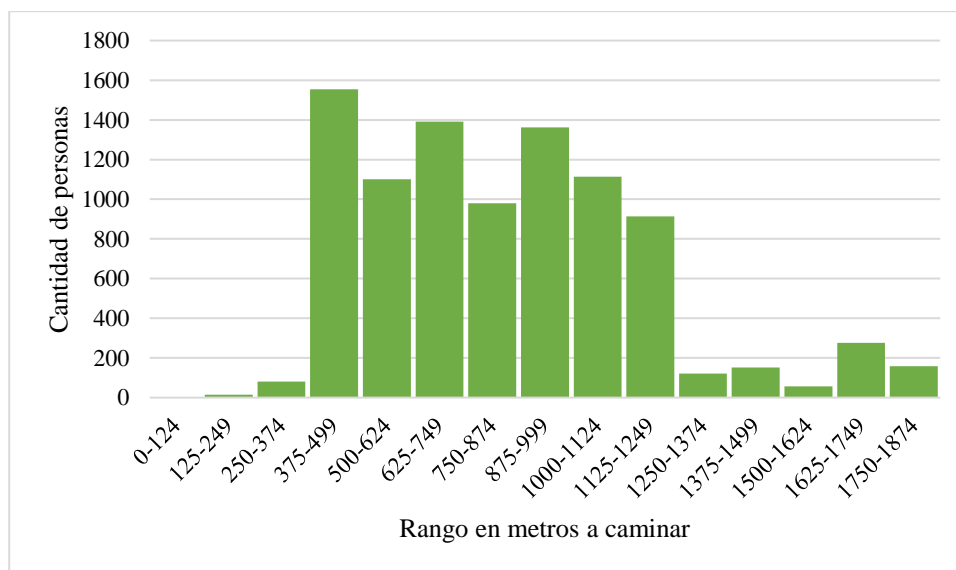


Figura 4.9: Histograma de las distancias de las subidas al terminal poniente

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Ahorro de kilometraje, tiempo y de emisiones de CO₂

Para evaluar el ahorro en kilómetros y tiempo, se analizó la demanda de marzo, filtrando específicamente los días 26, 29 y 30 de marzo. Esta selección se hizo para observar el ahorro en un día de semana, un viernes y un día del fin de semana, respectivamente. Luego, se determinó la proporción de ahorro y se aplicó dicho porcentaje a cada día del mes, clasificando entre lunes a

jueves, viernes y fines de semana, con el objetivo de obtener el ahorro total mensual en kilómetros, tiempo y emisiones de CO₂.

Se creó una tabla detallando los servicios y recorridos con sus variantes, y las zonas por las que transitan (filtrando solo las zonas oriente, norte y poniente), junto con el código del bus asignado, una tabla por día. En la tabla 4.7 se presenta una parte de la tabla original como ejemplo de esto.

Posteriormente, se identificaron manualmente los kilómetros ahorrados desde el inicio de servicio (trayecto) hasta el terminal, eliminando esos metros del recorrido total, ya que los buses iniciarían recorrido desde el terminal. Además, se calcularon los kilómetros ahorrados desde la sede de Link hasta el terminal. En ambos casos se utilizó la herramienta Medir en Google Earth Pro. En las figuras 4.10 y 4.11 ejemplifica lo dicho anteriormente respectivamente.

Tabla 4.7: Servicios, recorridos, variante y zona recorrida con bus asignado				
<i>Servicio</i>	<i>Recorrido</i>	<i>Variante</i>	<i>Zona recorrida con el código del bus</i>	
MALLA CALETONES T1	201	1	Zona Oriente Bus 714	
	202	2	Zona Norte Bus 732	
	203	1	Zona Oriente Bus 791	
		5	Zona Oriente Bus 715	
		12	Zona Oriente Bus 813	
		15	Zona Oriente Bus 546	
	204	6	Zona Poniente Bus 560 Bus 770	
		9	Zona Poniente Bus 811	
		14	Zona Poniente Bus 787	
		18	Zona Poniente Bus 841	
	MALLA CALETONES TA	202	2	Zona Norte Bus 801
		203	1	Zona Oriente Bus 541
		204	1	Zona Poniente Bus 550

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.10: Trayecto eliminado del inicio del servicio al terminal
Fuente: Recorrido y terminal norte factibles DET - Google Earth Pro.



Figura 4.11: Trayecto eliminado de sede Link al terminal
Fuente: Recorrido – Operador tecnológico.

También se calculó el tiempo ahorrado utilizando datos proporcionados por el operador tecnológico, que registra los recorridos de los buses mediante GPS. Para este cálculo, se seleccionó el día de estudio en el horario en que el servicio inicia el recorrido para recoger a los pasajeros. Se

analizó cada viaje, registrando el tiempo que le tomó al bus salir de la sede de Link al terminal (o el punto más cercano) y del inicio de la ruta al terminal.

En la tabla 4.8 se muestra el total de kilómetros y tiempo ahorrado del martes 26, viernes 29 y sábado 30 de marzo. Tanto desde el inicio de servicio, el cual es un dato relevante para Codelco, a causa de que la División paga el kilometraje desde el inicio del servicio hasta el destino (trayecto efectivo). Como también se muestra desde la sede de Link, valor importante para la empresa contratista, ya que estos costean los kilómetros desde la salida de la sede hasta el punto de partida del recorrido.

<i>Día</i>	<i>Codelco</i>		<i>Link</i>	
	<i>Kilómetros</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Kilómetros</i>	<i>Tiempo (min)</i>
Martes 26-03	453,52	1.717	1.303,07	4.072,5
Viernes 29-03	309,52	1.154	891,9	2847
Sábado 30-03	324,63	1.199	931,11	2969

Fuente: Elaboración propia.

Según la base de datos de los manifiestos de marzo de 2024, se obtuvieron los kilometrajes efectivos y el tiempo de conducción de este periodo. Con estos datos se determinaron los kilómetros realizados por día: el martes 26 se recorrieron 22.916 kilómetros y 32.924 minutos de manejo, el viernes 29 se recorrieron 23.238 kilómetros y 32.905 minutos, y el sábado 30 los buses transitaron 17.607 kilometrajes y 25.296 minutos de conducción.

A partir de esto, se calculó el porcentaje de ahorro según el total de cada día. En la tabla 4.9 se muestra la proporción de disminución de kilómetros y tiempo de conducción efectivos según el tipo de día.

<i>Tipo de día</i>	<i>Porcentaje kilómetros</i>	<i>Porcentaje tiempo (minutos)</i>
Lunes-jueves	1,94%	5,21%
Viernes	1,33%	3,51%
Sábado	1,84%	4,74%

Fuente: Elaboración propia.

Dado que los porcentajes de ahorro varían según el tipo de día, se asume que estos porcentajes se mantendrán constantes durante todo el mes de marzo. Utilizando la base de datos de los manifiestos de marzo de 2024, que contiene los kilómetros efectivos realizados y las horas de conducción desde el inicio de servicio, se aplicaron estos porcentajes de ahorro, diferenciados según si es un día de semana de lunes a jueves, viernes o fin de semana. En la tabla 4.10 se presenta el total del kilometraje y tiempo ahorrado. Es importante mencionar que en el **Anexo 3: Kilómetros y tiempo ahorrado por cada día de marzo**, se encuentra la tabla con los kilómetros

y tiempos efectivos realizados cada día de marzo, junto con su respectivo ahorro según el porcentaje asumido para ese día.

Tabla 4.10: Kilómetros y tiempo ahorrado en el mes de marzo 2024	
<i>Kilómetros</i>	<i>Tiempo (min)</i>
10.754,13	42.932,38

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar el porcentaje de ahorro en relación con el total según la base de datos de los manifiestos, se determina que se ahorra un 1,71% en kilometraje efectivo y un 4,81% en tiempo de conducción efectivo.

Gracias a la optimización de los kilómetros realizados, es posible calcular la cantidad de emisiones de CO₂ que se puede disminuir con esta propuesta para marzo 2024. En la ecuación 4.1, se determina la cantidad de CO₂ ahorrado en el caso de Codelco.

$$\text{Emisión ahorrado de } CO_{2\text{Codelco}} = \text{kilómetros ahorrados}_{\text{Codelco}} * 1,35 \text{ kg de } CO_2 \quad (4.1)$$

$$\text{Emisión ahorrado de } CO_{2\text{Codelco}} = 10.754 \text{ km} * 1,35 \text{ kg de } CO_2 = 14.518 \text{ kg de } CO_2$$

Esto equivale a una disminución del 1,71% en gases contaminantes al medio ambiente.

4.1.4 Distribución de la flota

Muchos recorridos pasan por más de una zona, por lo que se identificaron los recorridos independientemente de su variante, pero observando si inician en las zonas norte, oriente o poniente. El criterio utilizado es el siguiente: si un recorrido pasa por el norte, independientemente del resto de las zonas que recorra, este iniciará su trayecto desde el terminal de ese sector. Si un recorrido pasa por poniente (los recorridos que pasan por poniente no recorren el norte), este bus iniciará su servicio desde el terminal poniente. Finalmente, si un bus no recorre por el poniente ni el norte, pero sí por el oriente, este puede iniciar desde el terminal oriente, sin embargo, si el recorrido incluye el centro de Rancagua, debido a que los servicios van de izquierda a derecha, este recorrido seguirá iniciando desde la sede Link. En el resto de los casos, como Machalí, Maitenes, Manzanal y sur, el bus saldrá de la sede de Link.

En la figura 4.12 se visualiza las zonas de Rancagua.

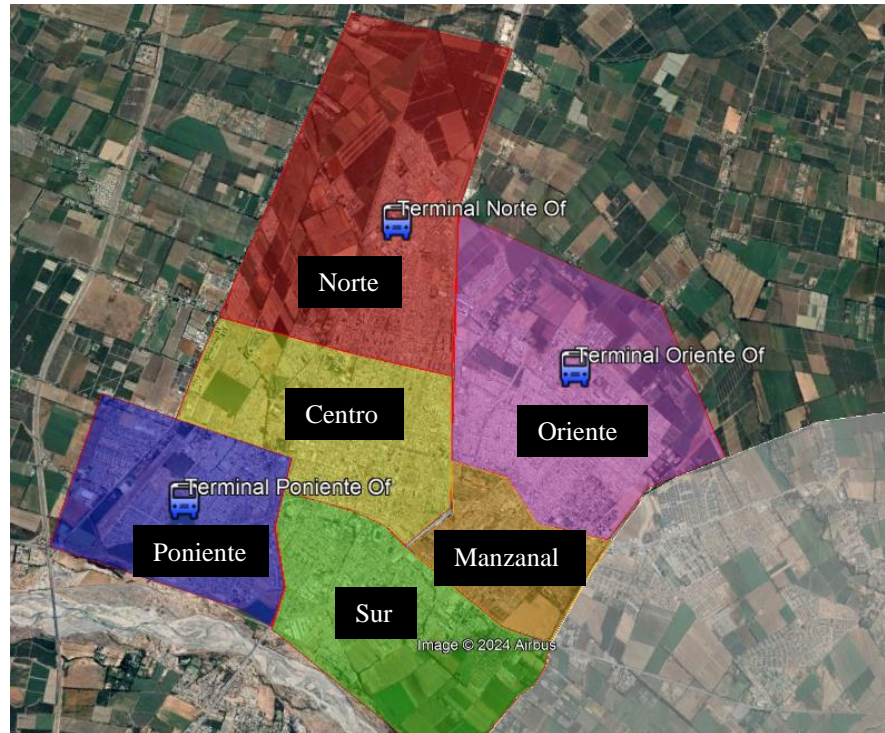


Figura 4.12: Zonas de Rancagua

Fuente: Zonificación y terminales factibles DET - Google Earth Pro.

Esta observación permitió identificar la cantidad de buses que podrían partir desde los terminales y cuáles no. Por ejemplo, de los 193 buses que pasan por las zonas norte, oriente y poniente el martes 26 de marzo, solo 156 pueden y conviene que salgan de un terminal en estos sectores. El resto deberán continuar con su recorrido actual, partiendo desde la sede de Link. En la tabla 4.11 se indica la cantidad exacta de buses que saldrían de cada terminal y de la sede de la empresa contratista para los días 26, 29 y 30 de marzo de 2024.

<i>Día</i>	<i>Origen</i>	<i>Norte</i>	<i>Oriente</i>	<i>Poniente</i>	<i>Resto de las zonas</i>	<i>Total origen</i>	<i>Total día</i>
Martes 26-03	Terminal	53	46	57	0	156	320
	Sede Link	9	0	4	151	164	
Viernes 29-03	Terminal	42	27	35	0	104	211
	Sede Link	3	0	6	98	107	
Sábado 30-03	Terminal	40	31	37	0	108	209
	Sede Link	4	0	5	92	101	

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores obtenidos, se determinó el porcentaje de buses asignados por terminal según el tipo de día, asumiendo nuevamente que los recorridos son similares dependiendo si es de lunes a jueves, viernes o fin de semana. Utilizando estos porcentajes correspondientes para cada día de la semana, se calculó la cantidad total de buses en un mes que se asignarían por terminal y los que seguirán partiendo desde la sede Link. Esto se muestra en la tabla 4.12. En el **Anexo 4:**

Distribución de la flota por cada día de marzo 2024, se expone la tabla completa de asignación de buses por terminal para cada día de marzo.

<i>Periodo de tiempo</i>	<i>Buses T. norte</i>	<i>Buses T. oriente</i>	<i>Buses T. poniente</i>	<i>Sede Link</i>
Marzo 2024	1.408	1.136	1.407	4.113

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de la figura 4.13 se detalla el porcentaje de buses que iniciarían su servicio desde los terminales de las zonas norte, oriente o poniente, y los que seguirían funcionando como actualmente lo hacen.

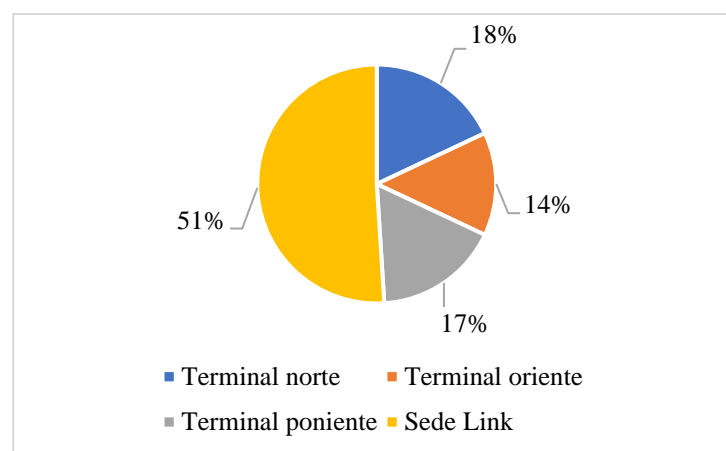


Figura 4.13: Proporción de buses distribuidos a los terminales y a sede Link

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Fomento del trabajo en la sede de Millán y el trabajo remoto

Para abordar la disponibilidad de vehículos en momentos de alta demanda y el impacto medioambiental generado por las emisiones de CO₂ de los buses, se propone fomentar el trabajo presencial en la sede de Millán de la DET o, alternativamente, el trabajo remoto para aquellos trabajadores cuya labor no requiere presencia física en las zonas altas. Es importante destacar que la sede Millán, siendo la casa matriz de El Teniente, solo es accesible mediante auto particular o transporte público.

Esta iniciativa busca reducir la demanda de transporte hacia las zonas de difícil acceso, disminuyendo así la carga sobre el sistema de transporte y contribuyendo a una mayor flexibilidad laboral. Para ello, se realizará un análisis de datos de la demanda del mes de marzo de 2024, identificando a los trabajadores operacionales que son indispensables en las zonas altas y diferenciándolos de los empleados administrativos o de mantenimiento que no necesitan asistir presencialmente a estas áreas. Posteriormente, se simulará en todos los días hábiles del mes, y se

asignará un porcentaje de estos empleados para que se desplacen a la sede de Millán de la DET o trabajen de forma remota, para así observar el impacto en la flota.

Al promover estas modalidades de trabajo, se optimizará el uso de recursos, se mejorará la calidad de vida de los empleados al reducir los tiempos de desplazamiento y, al disminuir la flota, también se reducirán las emisiones de CO₂.

4.2.1 Identificación de cargos

En primer lugar, se utilizó la base de datos de la demanda del transporte DET del mes de marzo 2024 para identificar en qué turno subieron los trabajadores según el horario programado. Para simplificar y obtener un filtro más eficiente de los Tip (ID de su tarjeta de identificación laboral) de los empleados, se consideraron solo los turnos que suben a la zona alta en los servicios de los buses que trasladan a personal de la Gerencia de Planta, Gerencia de Fundición y Gerencia de Mina, dado que estos servicios transportan a personal que realiza labores operacionales para Codelco.

Existen tres tipos de turnos:

1. Turnero: Incluyen los turnos A, B y C, cada uno de 8 horas de duración.
2. Día y Noche: Incluyen el turno 1 y el turno 2, cada uno de 12 horas de duración.
3. Turno H: Este grupo incluye a los trabajadores con labores administrativas o de mantención que suben a las zonas altas, aunque su presencia no es indispensable en dichos lugares. El Turno H sigue un horario de oficina, con inicio de jornada a las 8 am de lunes a viernes.

Los trabajadores que operan bajo los turnos de Día y Noche y Turnero son considerados operacionales, lo que significa que son indispensables en las zonas altas para la producción de la mina.

En la tabla 4.13 se indican el destino y los horarios de inicio de los servicios en cuestión, por cada tipo de turno, proporcionando una visión clara de la distribución del personal según sus funciones y necesidades operativas.

<i>Servicios</i>	<i>Destino</i>	<i>TAH1</i>	<i>TB</i>	<i>T2</i>	<i>TC</i>
Mina (Gerencia Mina)	Colón Alto	5:50 – 6:00	14:00	17:45	22:00
Traslape (Gerencia Fundición)	Caletones	5:50 – 5:00	13:50	18:15	21:50
Molinos (Gerencia Planta)	Colón Bajo	6:20 – 6:36	14:40	18:15	22:20

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la base de datos de la demanda del mes de marzo 2024, se analizaron solo los datos relevantes para los viajes hacia la zona alta de la DET. Se identificó al personal que subió durante los fines de semana, lo que indica que estas personas no pertenecen al turno H. Además, se filtraron los servicios correspondientes a la Gerencia Mina (Malla Mina TAH1, Malla Mina TB, Malla Mina T2 y Malla Mina TC), Gerencia Fundición (Traslape TA, Traslape TB, Traslape TC, Malla Caletones TA, Malla Caletones T1 y Malla Caletones T2) y Gerencia Planta (Malla Molinos TAH1, Malla Molinos EECC, Malla Molinos TB, Malla Molinos TC y Malla Molinos T2).

Se elaboró una tabla que resume la cantidad de personal que no sube los sábados y domingos, es decir, aquellos en turnos H, a lo largo del mes, además de filtrar todos los servicios que suben en los turnos TAH1 (5:50 a 6:36 AM). La tabla muestra la demanda desglosada por tipo de gerencia. En la tabla 4.14 se presenta este resumen detallado.

La cantidad de personal por tipo de turno y por zona de ascenso se visualiza en la tabla 4.15. Aproximadamente el 37,8% del personal que utiliza el servicio de transporte de la DET corresponde a turnos H, mientras que el resto se distribuye entre Turneros y turnos Día y Noche.

<i>Días de marzo</i>	<i>G. Fundición</i>	<i>G. Mina</i>	<i>G. Planta</i>	<i>Total día</i>
01-03-2024	423	684	870	1.977
04-03-2024	567	897	1.078	2.542
05-03-2024	588	887	1.137	2.612
06-03-2024	622	977	1.190	2.789
07-03-2024	624	954	1.139	2.717
08-03-2024	521	742	970	2.233
11-03-2024	603	962	1.124	2.689
12-03-2024	607	1.038	1.078	2.723
13-03-2024	610	989	1.136	2.735
14-03-2024	616	988	1.130	2.734
15-03-2024	543	757	932	2.232
18-03-2024	561	995	1.064	2.620
19-03-2024	627	1.053	1.140	2.820
20-03-2024	665	1.019	1.110	2.794
21-03-2024	705	1.018	1.116	2.839
25-03-2024	711	978	1.082	2.771
26-03-2024	726	1.041	1.078	2.845
27-03-2024	763	1.014	1.096	2.873
28-03-2024	684	887	1.018	2.589
29-03-2024	25	66	65	156
Total gerencia	11.791	17.946	20.553	
Total turnos H				50.290

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.15: Demanda marzo 2024 según zona de ascenso, por gerencia y por tipo de turno					
<i>Tipo de turno</i>	<i>Zonas</i>	<i>Fundición</i>	<i>Mina</i>	<i>Planta</i>	<i>Total zona</i>
TURNOS H	Zona Centro	1.688	2.394	3.195	7.277
	Zona Machalí	2.618	4.731	4.721	12.070
	Zona Maitenes	352	287	289	928
	Zona Manzanal	734	1.590	1.894	4.218
	Zona Norte	968	2.262	2.568	5.798
	Zona Oriente	2.411	2.235	2.879	7.5
	Zona Poniente	1.616	2.475	2.758	6.849
	Zona Sur	1.404	1.972	2.249	5.625
	Total gerencia	11.791	17.946	20.553	50.290
TURNOS Y DÍA Y NOCHE	Zona Centro	2.866	4360	3.346	10.572
	Zona Machalí	3.830	10.017	4.532	18.379
	Zona Maitenes	735	865	864	2.464
	Zona Manzanal	1.087	3.229	1.654	5.970
	Zona Norte	2.314	4.386	2.000	8.700
	Zona Oriente	3.799	4.953	4.108	12.860
	Zona Poniente	3.411	6.279	3.065	12.755
	Zona Sur	2.101	5.028	3.803	10.932
	Total gerencia	20.143	39.117	23.372	82.632
Total demanda					132.922

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Simulación

Una vez identificados los turnos del personal, se llevó a cabo una simulación utilizando el día con mayor demanda de subidas en marzo de 2024. El 27 de marzo se registraron 10.319 subidas de pasajeros, siendo este el día con mayor actividad. La simulación se centró en los turnos H que utilizaron el servicio de transporte de la DET ese día.

De los 10.319 pasajeros, 2.873 pertenecen a los turnos H. Inicialmente, se simuló que el 40% de estos trabajadores fueran asignados a trabajo presencial en la sede de Millán de Codelco o a teletrabajo de manera aleatoria. Para esto, se empleó la herramienta complementaria de “Análisis de datos” en Excel, específicamente la función de “muestra”, para seleccionar aleatoriamente un 40% de personas, diferenciándolos por gerencia y por zona de ascenso. En la tabla 4.16 se exponen los resultados de la primera simulación desglosados por gerencia y por zona de ascenso (27-03-2024 entre las 5:50 a 6:36 AM).

Este proceso se realizó también para reasignar el 30%, 20%, y 10% de los trabajadores, con el fin de evaluar el impacto en la flota y determinar a partir de qué porcentaje de reasignación se vuelve eficiente y conveniente. Los resultados de las demás simulaciones se presentan en el **Anexo 5: Reasignación del 30%, 20% y 10% de los turnos H aleatorios**.

Tabla 4.16: 40% de asignación de los turnos H a sede Millán/teletrabajo			
<i>Zona</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Fundición</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Mina</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Planta</i>
Zona Centro	57	49	72
Zona Machalí	60	124	107
Zona Maitenes	11	4	2
Zona Manzanal	17	31	46
Zona Norte	24	57	52
Zona Oriente	65	56	58
Zona Poniente	33	47	59
Zona Sur	37	38	39
Total reasignación	304	406	435

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se aplicó la fórmula 4.2 a la cantidad de personas seleccionadas para trabajo en la sede de Millán o teletrabajo en todos los posibles porcentajes de asignación, para determinar la cantidad de buses que se ahorrarían. Es importante destacar que, si se obtiene un resultado decimal, se redondea hacia el número entero más pequeño para no eliminar completamente un bus utilizado por los demás turnos (Turneros y Día y Noche).

$$\text{Cantidad de bus ahorrado} = \frac{\text{cantidad de personal reasignado}_{i,j}}{48} \quad (4.2)$$

Donde,

$i = \text{Tipo de gerencia } \{1: G. Fundición, 2: G. Mina, 3: G. Planta\}$

$j = \text{Zona de ascenso } \{1: Centro, 2: Machalí, 3: Maitenes, 4: Manzanal, 5: Norte, 6: Oriente, 7: Poniente, 8: Sur\}$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.17, detallándose por zona, por tipo de gerencia en el día 27 de marzo 2024 entre las 5:50 a 6:36 AM.

Se puede observar que con la simulación de un 40% de turnos H en sede Millán/ teletrabajo, se logra optimizar 14 máquinas, particularmente 3 que pasen por la zona centro, 5 de Machalí, 2 del norte, 3 del oriente y 1 del poniente. Siendo el único con un impacto significativo en el ahorro de flota, debido que en el caso de 30% se ahorraría solo 4 buses, el de 20% 2 máquinas y por último el de 10% no se podría optimizar ningún bus. En la figura 4.14 se indica en un gráfico circular la comparación del impacto de la flota para simulación del 40% para el día 27 de marzo 2024 entre las 5:50 a 6:36 AM.

Tabla 4.17: Flota ahorrada por porcentaje de asignación a sede Millán/teletrabajo

<i>Porcentaje de reasignación</i>	<i>Zona</i>	<i>G. Fundición</i>	<i>G. Mina</i>	<i>G. Planta</i>	<i>Total buses ahorrado</i>
40%	Zona Centro	1	1	1	3
	Zona Machalí	1	2	2	5
	Zona Maitenes	0	0	0	0
	Zona Manzanal	0	0	0	0
	Zona Norte	0	1	1	2
	Zona Oriente	1	1	1	3
	Zona Poniente	0	0	1	1
	Zona Sur	0	0	0	0
	Total general	3	5	6	14
30%	Zona Centro	0	0	1	1
	Zona Machalí	1	1	1	3
	Zona Maitenes	0	0	0	0
	Zona Manzanal	0	0	0	0
	Zona Norte	0	0	0	0
	Zona Oriente	0	0	0	0
	Zona Poniente	0	0	0	0
	Zona Sur	0	0	0	0
	Total general	1	1	2	4
20%	Zona Centro	0	0	0	0
	Zona Machalí	0	1	1	2
	Zona Maitenes	0	0	0	0
	Zona Manzanal	0	0	0	0
	Zona Norte	0	0	0	0
	Zona Oriente	0	0	0	0
	Zona Poniente	0	0	0	0
	Zona Sur	0	0	0	0
	Total general	0	1	1	2
10%	Zona Centro	0	0	0	0
	Zona Machalí	0	0	0	0
	Zona Maitenes	0	0	0	0
	Zona Manzanal	0	0	0	0
	Zona Norte	0	0	0	0
	Zona Oriente	0	0	0	0
	Zona Poniente	0	0	0	0
	Zona Sur	0	0	0	0
	Total general	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

En términos realistas, los recorridos de los buses generalmente atraviesan más de una zona. Por lo tanto, se determina que solo el 50% de la cantidad de buses ahorrados según la simulación no subirán a la zona alta en los horarios o servicios del turno TAH1. Con esto, se reducirían 7 buses en el caso de reasignar el 40% de los turnos H.

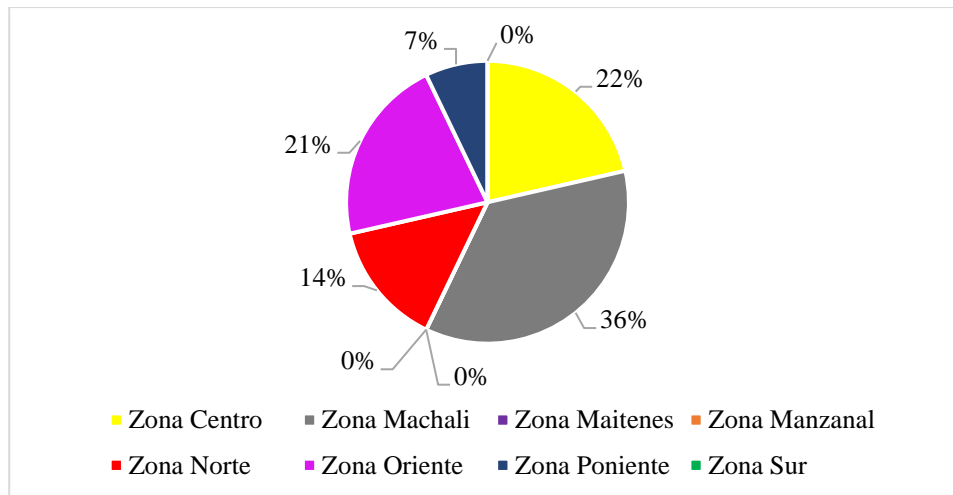


Figura 4.14: Impacto flota por 40% de reasignación de los turnos H
Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Ahorro de flota

Calculando la reasignación a la sede Millán o a teletrabajo de los turnos H que hacen uso del servicio de transporte DET en los días hábiles de marzo, se identifica que, con una simulación del 40%, se ahorrarían 225 buses de los 50.290 buses destinados a subir a la zona alta durante el mes de marzo de 2024. En la tabla 4.18 se muestra un resumen de la cantidad de buses ahorrados por gerencia y zona en total durante el mes.

Al igual que en la simulación del 27 de marzo de 2024, solo el 50% de los buses identificados como ahorrados realmente no subirán a la zona alta. En el caso de los días hábiles de marzo, se reducirán 113 buses. Considerando que se utilizaron 2.028 buses para transportar el turno TAH1, esto representa una reducción del 5,57% de la flota durante el mes de marzo.

Zonas	Gerencia Fundición	Gerencia Mina	Gerencia Planta	Total
Zona Centro	2	12	19	33
Zona Machalí	15	33	31	79
Zona Maitenes	0	0	0	0
Zona Manzanal	0	0	3	3
Zona Norte	0	11	17	28
Zona Oriente	12	10	18	40
Zona Poniente	0	13	17	30
Zona Sur	0	2	10	12
Total general	29	81	115	225

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Ahorro de kilometraje y de emisiones de CO₂

Según el manifiesto de marzo de 2024, el promedio de kilómetros recorridos por un bus en un solo viaje fue de 52 kilómetros, independiente de la zona de inicio de servicio. Con este dato, es posible

calcular los kilómetros y las emisiones de CO₂ reducidos para los días hábiles de marzo, según con los datos obtenidos anteriormente.

Utilizando la fórmula 4.3, se calcula el kilometraje ahorrado en los días hábiles de marzo de 2024, basándose en los datos obtenidos de los buses ahorrados.

$$\text{kilometraje ahorrado} = \text{buses ahorrado} * \text{kilometros por un viaje promedio} \quad (4.3)$$

$$\text{kilometraje ahorrado} = 113 * 52 \text{ km} = 5.876 \text{ km}$$

Respecto a la reducción del impacto ambiental, la ecuación 4.4 se utilizara para calcular la disminución de las emisiones de CO₂ con el dato de los kilómetros ahorrados.

$$\text{Emisión de CO}_2 \text{ ahorrados} = \text{kilometraje ahorrado} * 1,35 \text{ kg de CO}_2 \quad (4.4)$$

$$\text{Emisión de CO}_2 \text{ ahorrados} = 5.876 * 1,35 \text{ kg de CO}_2 = 7.933 \text{ kg de CO}_2$$

Al comparar los kilómetros recorridos y la huella de carbono en los días hábiles de marzo sin considerar la simulación, se puede deducir el porcentaje de reducción en ambos aspectos. Las ecuaciones 4.5 y 4.6 desglosan los datos actuales de las emisiones.

$$\text{Kilómetros recorridos días hábiles} = 2.028 \text{ buses} * 52 \text{ km} = 105.456 \text{ km} \quad (4.5)$$

$$\text{Emisión de CO}_2 = 105.456 * 1,35 \text{ kg de CO}_2 = 142.366 \text{ kg de CO}_2 \quad (4.6)$$

La propuesta de reasignar un 40% de los turnos H a la sede de Millán o a trabajo remoto, resulta en una reducción mensual aproximada del 5,57% en kilómetros recorridos y emisiones de CO₂.

Capítulo 5: Análisis de resultados

Se presentan y examinan en este capítulo los resultados obtenidos a lo largo de esta memoria de título. Este capítulo se enfoca en interpretar los datos recopilados y evaluar el impacto potencial de las estrategias propuestas sobre el sistema de transporte de personal en la División El Teniente de Codelco. A través de un análisis detallado, se busca determinar en qué medida estas propuestas contribuyen a mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad, alineándose con los objetivos estratégicos de la empresa. Además, se identifican las áreas clave de éxito y los desafíos que podrían surgir durante la implementación, proporcionando una visión integral de los beneficios y limitaciones asociados a las soluciones planteadas.

5.1 Análisis

La instalación de terminales satelitales en las zonas norte, oriente y poniente de Rancagua se propuso para abordar varias debilidades y amenazas identificadas en el sistema de transporte de personal de la División El Teniente. Esta estrategia busca mejorar la disponibilidad de vehículos en momentos de alta demanda, permitiendo una mejor distribución de la flota y reduciendo los tiempos de viaje. Además, al facilitar una gestión más autónoma y localizada de los recorridos, se mejora la comunicación interna con los empleados y se optimiza la capacidad de los vehículos durante las horas peak. De esta manera, los terminales no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también permiten una adaptación más ágil a posibles cambios en las jornadas laborales.

La promoción del trabajo en la sede de Millán o del teletrabajo se plantea como una medida para reducir la demanda de transporte hacia las zonas altas de la DET. Esta propuesta responde a la necesidad de aliviar la presión sobre la disponibilidad de vehículos en momentos de alta demanda y de disminuir los gases de CO₂. Al reasignar a un porcentaje significativo de empleados a labores en la sede de Millán o teletrabajo, se disminuye la cantidad de flota, lo que también contribuye a una menor frecuencia de problemas de mantenimiento. Además, esta estrategia permite una adaptación más flexible a posibles cambios o imprevistos que la empresa pueda enfrentar, como paradas de planta, problemas climáticos, entre otros.

Al estudiar las nuevas estrategias para el modelo actual de transporte de personal de la DET, se identificó que ambas propuestas generan beneficios significativos para Codelco. La tabla 5.1 presenta un resumen de los porcentajes optimizados en la propuesta 1, incluyendo las variables de kilometraje, tiempo y emisiones de CO₂. Por otro lado, la tabla 5.2 muestra los porcentajes de ahorro en la alternativa 2, abarcando datos de kilómetros, huella de carbono y cantidad de flota. Estos resultados destacan los ahorros obtenidos en beneficio de la DET.

Destacar que en ambos casos se amplió el porcentaje de optimización al mes de marzo. Para la alternativa 1, se consideraron todos los recorridos del mes que pasan por las zonas norte, poniente y oriente de Rancagua, ya que estos son los que impactarán la operación en los terminales de dichas áreas. En el caso de la propuesta 2, se filtraron los servicios de la mañana durante marzo, dado que los turnos H hacen mayor uso del sistema de transporte DET en ese horario. Además, al ser un turno administrativo, solo se consideraron los días de lunes a viernes.

Tabla 5.1: Resumen de lo ahorrado por la propuesta 1		
<i>Propuesta 1</i>		
<i>Variables</i>	<i>Porcentaje ahorrado</i>	<i>Dato ahorrado</i>
Kilómetros	1,71%	10.754,13 km
Tiempo	4,81%	42.923,38 min
Emisión de CO ₂	1,7%	14.518 kg de CO ₂

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.2: Resumen de lo ahorrado por la propuesta 2		
<i>Propuesta 2</i>		
<i>Variables</i>	<i>Porcentaje ahorrado</i>	<i>Dato ahorrado</i>
Kilómetros	5,57%	5.876 km
Flota	5,57%	113 buses
Emisión de CO ₂	5,57%	7.933 kg de CO ₂

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Ventajas comparativas

La propuesta 1 ofrece mayores ahorros en kilómetros y tiempo de conducción, lo cual podría traducirse en menor desgaste de los vehículos y potencialmente menos costos de mantenimiento y operación.

La propuesta 2 proporciona una mayor reducción relativa en kilómetros recorridos, flota y emisiones de CO₂. Esto sugiere un enfoque más eficiente en términos de sostenibilidad y reducción de costos relacionados con el combustible y el impacto ambiental.

La alternativa 2 parece ser más beneficiosa en términos de sostenibilidad y eficiencia operativa, con mayores porcentajes de ahorro en kilómetros, flota y emisiones de CO₂. Estos ahorros más elevados pueden llevar a una mayor reducción de costos operativos y un impacto ambiental más positivo.

La alternativa 2 parece ser más beneficiosa en términos de sostenibilidad y eficiencia operativa, con mayores porcentajes de ahorro en kilómetros, flota y emisiones de CO₂. Estos ahorros más elevados pueden llevar a una mayor reducción de costos operativos y un impacto ambiental más

positivo. Sin embargo, requiere de un mayor estudio para tomar una decisión definitiva. Por lo tanto, este estudio está abierto a una evaluación de proyecto a futuro.

Capítulo 6: Conclusión

En esta memoria de título se analizó en detalle el sistema de transporte de personal de la División El Teniente de Codelco, identificando áreas clave de mejora tanto en la eficiencia operativa como en la sostenibilidad. Se evaluaron diversas estrategias, entre las que destacan la implementación de terminales satelitales en zonas estratégicas de Rancagua y la promoción del trabajo en la sede de Millán, así como el teletrabajo. El análisis incluyó un estudio detallado de la distribución de la flota, los tiempos de viaje, y la demanda de transporte en diferentes horarios, con el objetivo de proponer soluciones que optimicen la operación y reduzcan el impacto ambiental.

La instalación de terminales satelitales en zonas estratégicas de Rancagua permitiría una mejor distribución de la flota y una reducción de los tiempos de viaje. Esto no solo mejoraría la disponibilidad de vehículos en momentos de alta demanda, sino que también optimizaría la capacidad de los vehículos durante las horas peak y facilitaría una gestión más autónoma y localizada de los recorridos.

Por otro lado, la promoción del trabajo en la sede de Millán y del teletrabajo reduciría la demanda de transporte hacia las zonas altas de la DET, disminuyendo así las emisiones de CO₂ y los problemas de mantenimiento de la flota. Esta estrategia no solo alivia la presión sobre la disponibilidad de vehículos en momentos de alta demanda, sino que también permite una adaptación más flexible a posibles cambios o imprevistos que la empresa pueda enfrentar.

Ambas propuestas presentan beneficios sustanciales. La implementación de terminales satelitales se enfoca en la mejora de la eficiencia operativa, mientras que el fomento del trabajo en la sede de Millán y teletrabajo se centra en la reducción de la demanda de transporte y la disminución de emisiones. Sin embargo, la propuesta de terminales satelitales, aunque atractiva en términos de eficiencia, podría requerir una mayor inversión inicial y un análisis detallado de su viabilidad. Por otro lado, la adopción del teletrabajo y el trabajo en Millán, aunque beneficiosa, requiere un cambio cultural y organizacional para ser efectivamente implementada.

Para profundizar en estas estrategias, se recomienda llevar a cabo estudios más detallados sobre la viabilidad económica y operativa de los terminales satelitales, así como una evaluación del impacto del trabajo en la sede de Millán y del teletrabajo en la productividad y la satisfacción de los empleados. Además, se sugiere analizar alternativas tecnológicas que puedan complementar estas propuestas, como la implementación de sistemas de transporte más ecológicos o la integración de herramientas digitales para optimizar la planificación de rutas.

Los resultados obtenidos en esta memoria de título abordan de manera directa la problemática planteada, proporcionando soluciones concretas a las ineficiencias detectadas en el sistema de transporte de personal. Por ejemplo, la propuesta de implementar terminales satelitales responde a la problemática de los tiempos de viaje prolongados y la saturación en los puntos de acceso, optimizando así la distribución de los buses y reduciendo el desgaste operativo. De igual manera, el fomento del trabajo en la sede de Millán y del teletrabajo se presenta como una solución a la sobrecarga del sistema, contribuyendo a la reducción de emisiones y al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad de Codelco. Estos resultados, en conjunto, no solo mejoran la eficiencia operativa del sistema, sino que también se alinean con la visión estratégica de Codelco para liderar en sostenibilidad dentro de la industria minera.

Referencias

- Albornoz, V. M., & Johns, E. H. (2011). Localización de paraderos de detención y diseño óptimo de rutas . *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 457-472.
- Biblioteca del Congreso Nacional. (30 de agosto de 2004). *REGLAMENTA EL TRANSPORTE PRIVADO REMUNERADO DE PASAJEROS, MODIFICA EL DECRETO N° 212, DE 1992, REGLAMENTO DE LOS SERVICIOS NACIONALES DE TRANSPORTE PUBLICO DE PASAJEROS Y DEJA SIN EFECTO DECRETO QUE INDICA*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=230180>
- Biblioteca del Congreso Nacional. (29 de octubre de 2009). Obtenido de Ley de Tránsito no. 18290: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1007469>
- Cáceres, R. G., Gutiérrez, M. P., Gómez, H. B., Dávila, L. L., & Ramírez, M. H. (2004). *METODOLOGÍA MARCO DE REFERENCIA PARA LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES*. Bogotá (Colombia): Pontificia Universidad Javeriana.
- Campos, Y. G. (octubre de 2021). *Estrategias y avances en la promoción de la electromovilidad*. Obtenido de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32602/1/Estrategias_y_avances_en_la_promocion_de_la_electromovilidad_VF.pdf
- Codelco. (2024). *Corporación Nacional del Cobre, Chile*. Obtenido de <https://www.codelco.com/operaciones/el-teniente/nosotros/division-el-teniente#:~:text=Comenz%C3%B3%20a%20ser%20explotado%20en,sobre%20el%20nivel%20del%20mar.>
- Código del Trabajo. (1996). *Código del Trabajo, artículo 28*. Obtenido de Dirección del Trabajo: <https://www.dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-propertyvalue-145765.html>
- Código del Trabajo. (2014). *Código del Trabajo, artículo 25*. Obtenido de Dirección del Trabajo: <https://www.dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-propertyvalue-145736.html>
- Código del Trabajo. (2016). *Código del Trabajo, artículo 38*. Obtenido de Dirección del Trabajo: <https://www.dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-propertyvalue-145752.html>
- Comisión de Transportes. (2010). *Libro Verde de Transporte y Cambio Climático*. Madrid: COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.

- Corporación Nacional del Cobre de Chile. (s.f.). *100% electromovilidad en las minas subterráneas*. Obtenido de <https://www.codelco.com/100-electromovilidad-en-minas-subterraneas>
- Espinoza, N. M., & Gutierrez, S. S. (2021). *El teletrabajo y su relación con la productividad de los colaboradores administrativos en empresas mineras*. Lima: UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS.
- Garzón, E. A., Caballero, S. O., & Martínez, J. L. (2017). Solution Approach for a Large-Scale Personnel Transport System for a Large Company in Latin America. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 623-645.
- Jie, L., Sen, C. Y., Hao, L., Andreasson, I., & Zuylen, H. v. (2010). Optimizing the fleet size of a Personal Rapid Transit system: A case study in port of Rotterdam. *13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*, 19-22.
- Meyer, M. D. (2016). Transportation Planning Handbook. En M. D. Meyer, *Transportation Planning Handbook* (págs. 16-31). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (octubre de 2021). *Eestratgia Nacional de Electromovilidad*. Obtenido de https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad_ministerio-de-energia.pdf
- Mueller, K., & Sgouridis, S. P. (2011). Simulation-based analysis of personal rapid transit systems: service and energy performance assessment of the Masdar City PRT case. *Journal of Advanced Transportation* .
- Mutual de seguridad; PONS seguridad vial; CEA Club Europeo de Automovilistas de Chile. (2020). *Guía de buenas prácticas de contratación y administración de servicios de transporte de personal*. Obtenido de <https://www.conaset.cl/manuales/>
- Ortúzar, J. d. (2012). *Modelos de demanda de transporte*. Santiago, Chile: Ediciones UC.
- Rampedi, M., & Genc, B. (2012). An investigation into the optimization of personnel transportation to level 15 and below at Khuseleka No. 1 Shaft, Anglo Platinum. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*.
- Servicio Nacional de Capacitación y Empleo (SENCE); Centro de Políticas Públicas de la Universidad Católica;OTIC SOFOFA. (diciembre de 2021). *FACTIBILIDAD Y DETERMINANTES DEL TELETRABAJO A NIVEL DE OCUPACIONES EN CHILE Y*

EN LA REGIÓN METROPOLITANA. Obtenido de

https://politicaspUBLICAS.uc.cl/content/uploads/2021/01/Informe_Teletrabajo-1-3.pdf

Valenzuela, F. S. (2021). *Emisiones de Co2 Asociadas a Los Procesos de Fabricación y Uso de Buses con Motor Diesel y Eléctricos del Sistema de Transporte Público de La Ciudad de Santiago de Chile*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

Vernier, D. (2021). *Teletrabajo y emisiones de Huella de Carbono: nuevas consideraciones al momento de medir*. Obtenido de Proyecta Impacto:

<https://www.proyectaimpacto.com/2022/01/teletrabajo-y-emisiones-de-huella-de-carbono-nuevas-consideraciones-al-momento-de-medir/>

Zanón, M. A., Gutiérrez, M. A., & Pérez-Marín, A. M. (2014). *El Seguro Basado en El Uso. Gerencia de riesgo y seguro*.

ANEXOS

Anexo 1: Macrozonas de Rancagua y Machalí con sus paraderos con mayor demanda

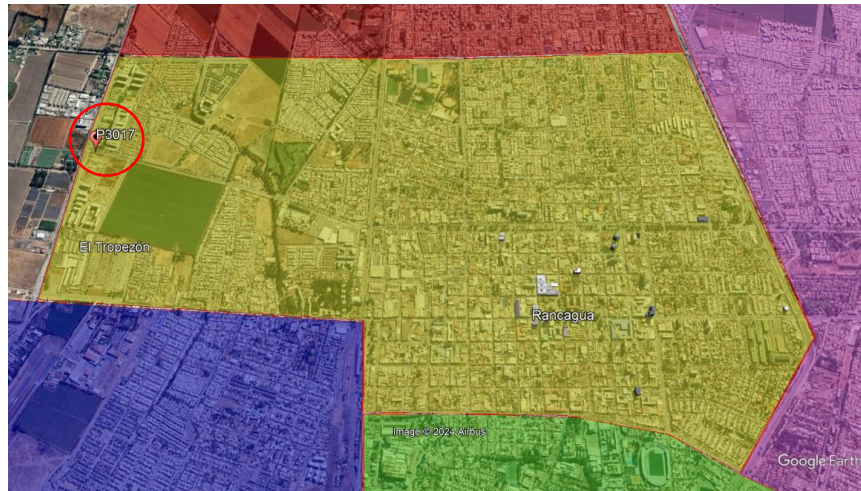


Figura 8.1: Paradero P3017 de la zona centro de Rancagua
Fuente: Paraderos y Zonificación DET - Google Earth Pro.

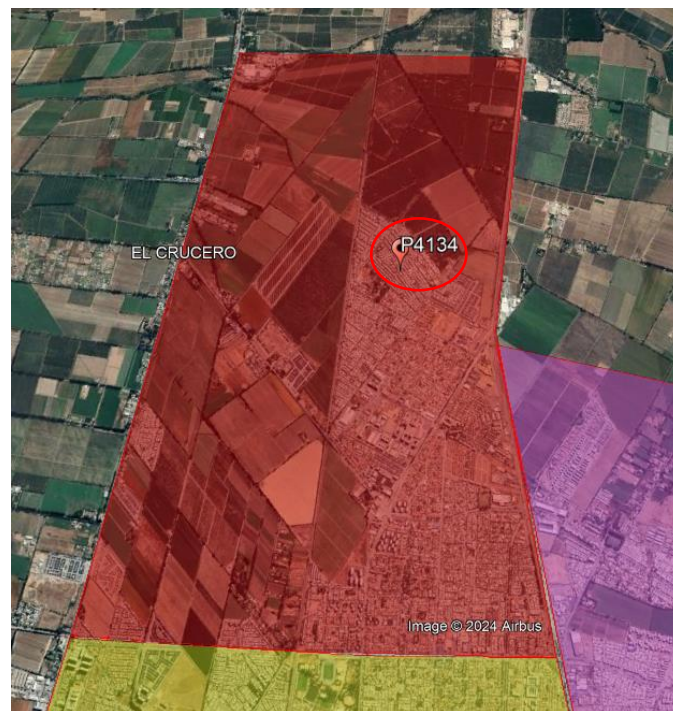


Figura 8.2: Paradero P4134 de la zona norte de Rancagua
Fuente: Paraderos y Zonificación DET - Google Earth Pro.

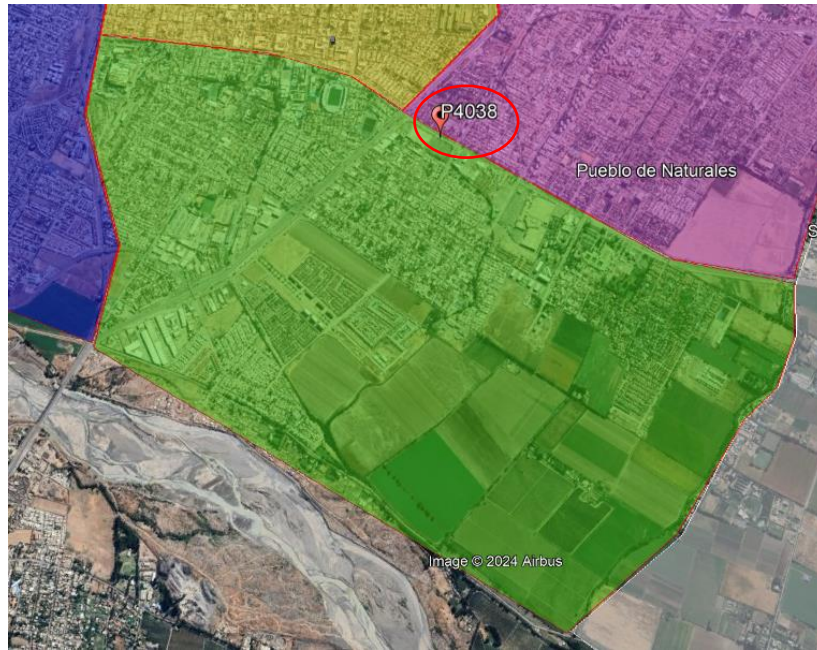


Figura 8.3: Paradero P4038 de la zona sur de Rancagua
Fuente: Paraderos y Zonificación DET - Google Earth Pro.

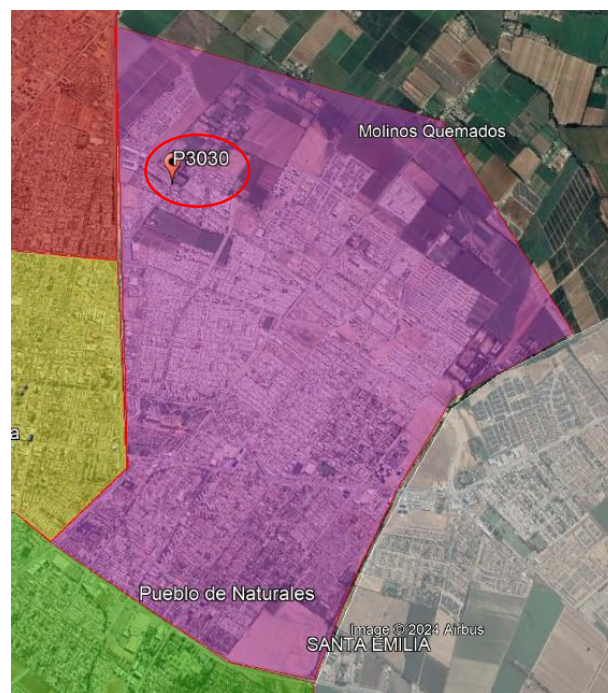


Figura 8.4: Paradero P3030 de la zona oriente de Rancagua
Fuente: Paraderos y Zonificación DET - Google Earth Pro.

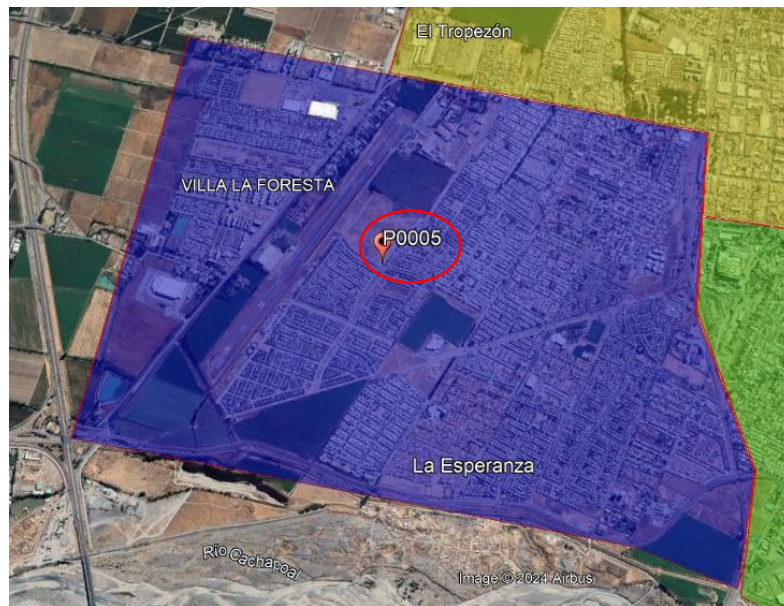


Figura 8.5: Paradero P0005 de la zona poniente de Rancagua
Fuente: Paraderos y Zonificación DET - Google Earth Pro.

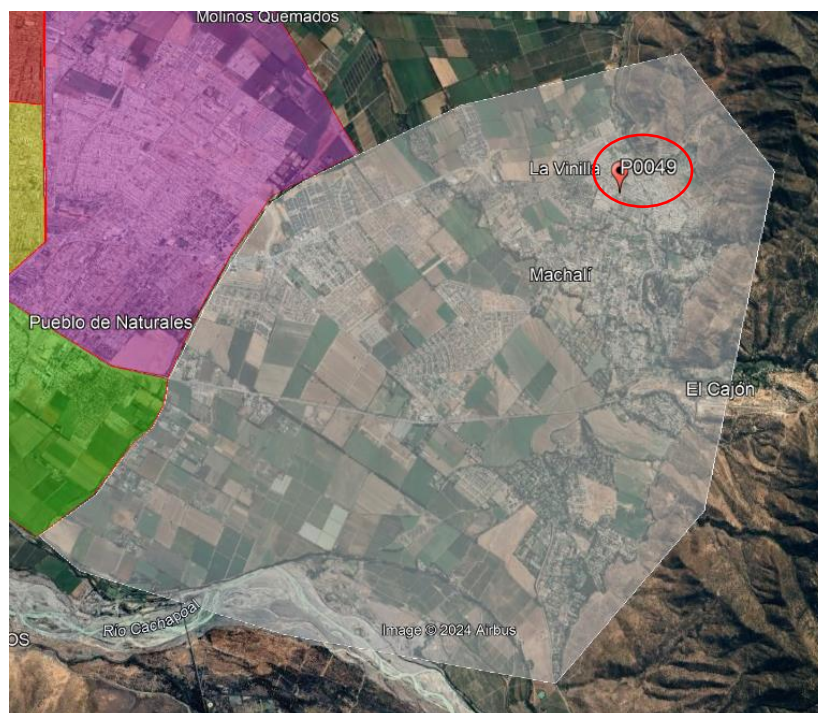


Figura 8.6: Paradero P0049 de Machalí
Fuente: Paraderos y Zonificación DET - Google Earth Pro.



Figura 8.7: Paradero P4151 en Coya

Fuente: Paraderos y Zonificación DET - Google Earth Pro.

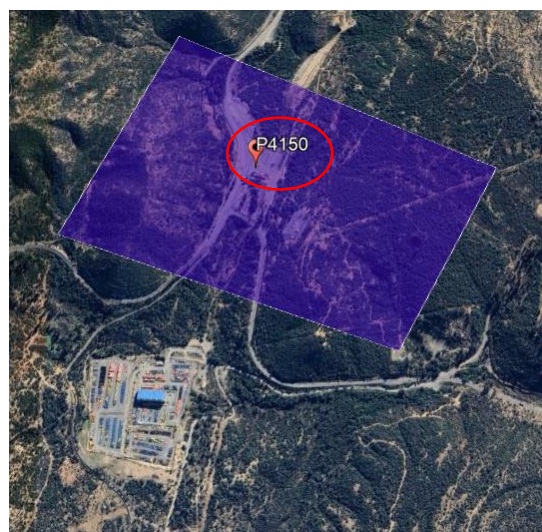


Figura 8.8: Paradero P4150 de Maitenes

Fuente: Paraderos y Zonificación DET - Google Earth Pro.

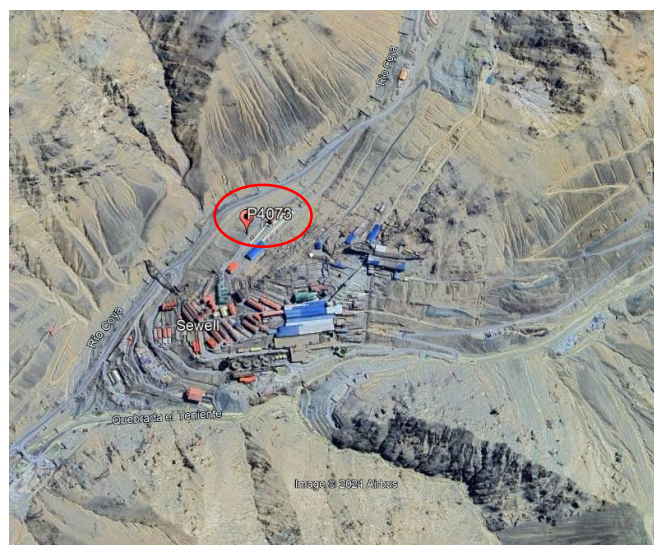
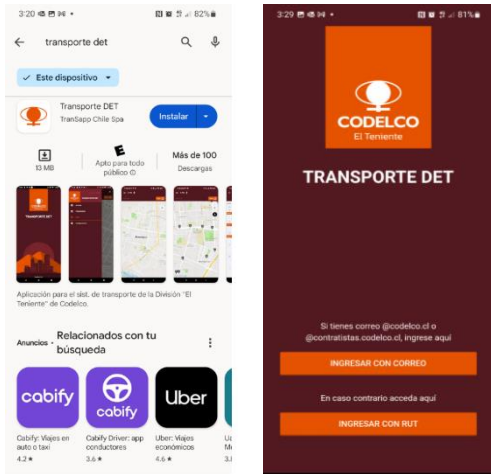


Figura 8.9: Paradero P4073 de la zona alta de la DET

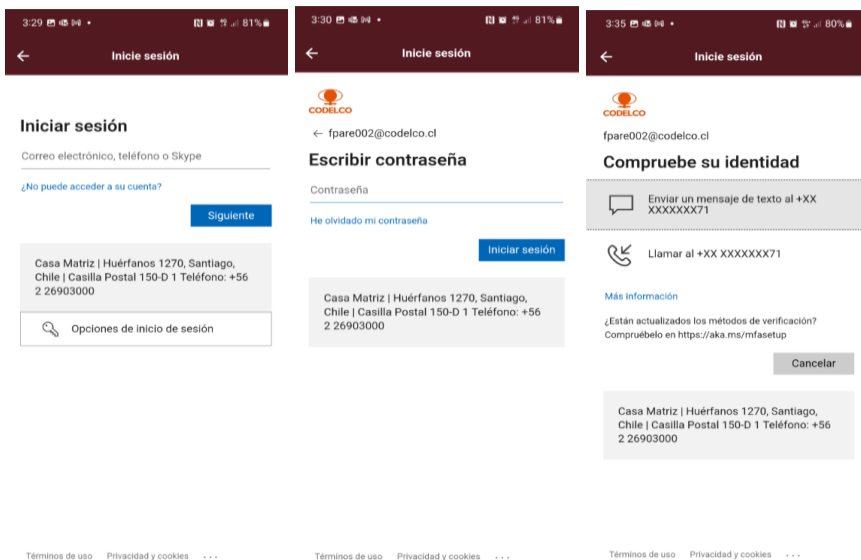
Fuente: Paraderos y Zonificación DET - Google Earth Pro.

Anexo 2: Uso de la aplicación Transporte DET

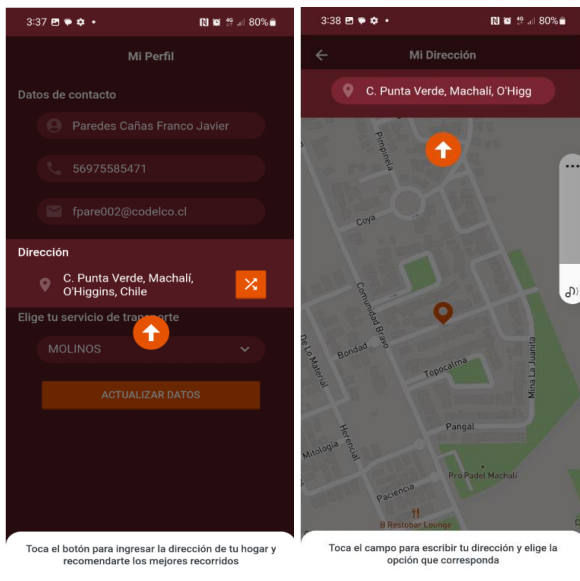
Paso 1: Para comenzar, debes realizar la descarga en Play Store o App Store buscando “Transporte DET”



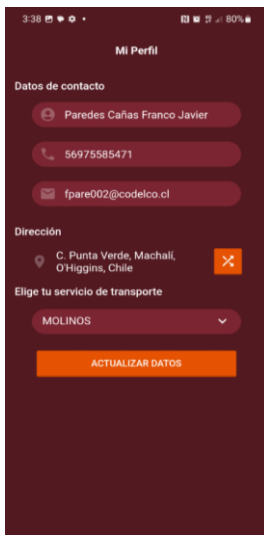
Paso 2: Una vez instalada, puedes ingresar con tu correo @codelco.cl o @contratistas.codelco.cl con tu clave. Si no posees correo institucional y tienes programación en Cuenta Cascos, puedes ingresar con tu RUT y presionar “recuperar contraseña” para que llegue la nueva contraseña a tu correo.



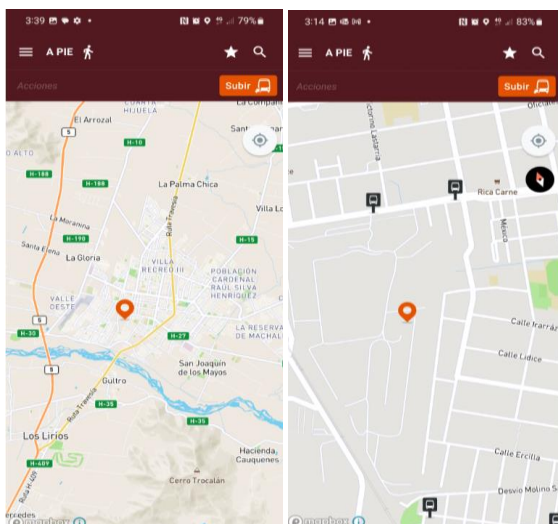
Paso 3: Para registrar tu perfil solicitará información sobre tu domicilio y el servicio de transporte que utilizas regularmente con las siguientes opciones: Mina, Molinos, Traslape, Sewell, Rajo, Teniente 8, Caletones CTA y GOM (Gerencia Obras Mina).



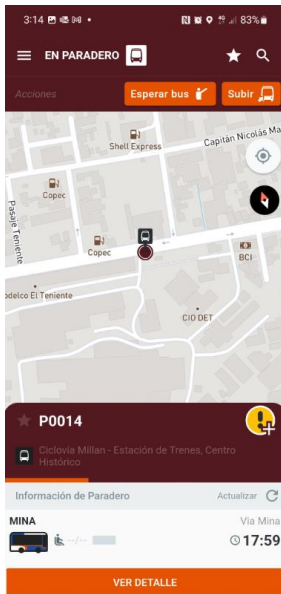
Paso 4: Al finalizar el registro debes verificar si tus datos de contacto son los correctos.



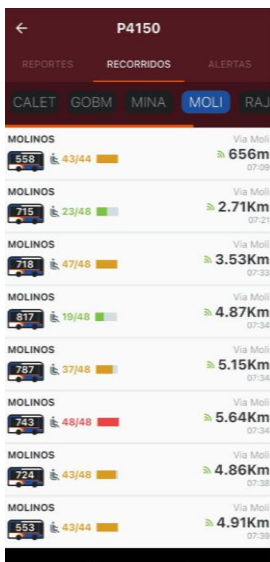
Paso 5: Una vez registrado, la aplicación muestra los paraderos más cercanos a tu ubicación.



Paso 6: Al seleccionar un paradero el mapa muestra la posición geográfica de los buses con el servicio registrado en tu perfil.



Paso 7: Para mayor información, puedes presionar el botón “ver detalle” y acceder a los buses que pasarán por dicho paradero donde puedes identificar la disponibilidad de asientos, tiempos de pasada por el paradero y distancia.



Anexo 3: Kilómetros y tiempo ahorrado por cada día de marzo

Tabla 8.1: Kilometraje y tiempo ahorrado por días de marzo					
Día marzo	Tipo de día	Kilómetros manifiestos	Tiempo manifiesto	Kilómetros ahorrados	Tiempo ahorrado
1	Viernes	22.272	34.775	432,0768	1.220,6025
2	Sábado	17.142	26.553	227,9886	1.258,6122
3	Domingo	17.185	23.988	228,5605	1.137,0312
4	Lunes	22.457	32.221	413,2088	1.678,7141
5	Martes	22.498	30.480	413,9632	1.588,008
6	Miércoles	22.584	34.587	415,5456	1.801,9827
7	Jueves	22.443	33.368	412,9512	1.738,4728
8	Viernes	22.290	33.069	432,426	1.160,7219
9	Sábado	17.276	26.423	229,7708	1.252,4502
10	Domingo	17.335	24.459	230,5555	1.159,3566
11	Lunes	22.554	29.782	414,9936	1.551,6422
12	Martes	22.525	30.018	414,46	1.563,9378
13	Miércoles	22.602	29.429	415,8768	1.533,2509
14	Jueves	22.821	30.117	419,9064	1.569,0957
15	Viernes	22.693	35.989	440,2442	1.263,2139
16	Sábado	17.417	21.277	231,6461	1.008,5298
17	Domingo	17.265	23.439	229,6245	1.111,0086
18	Lunes	22.768	32.207	418,9312	1.677,9847
19	Martes	22.916	32.924	421,6544	1.715,3404
20	Miércoles	22.839	30.375	420,2376	1.582,5375
21	Jueves	23.197	30.343	426,8248	1.580,8703
23	Sábado	23.238	32.905	309,0654	1.559,697
24	Domingo	17.607	25.296	234,1731	1.199,0304
25	Lunes	17.915	25.302	329,636	1.318,2342
26	Martes	23.318	34.524	429,0512	1.798,7004
27	Miércoles	23.349	32.956	429,6216	1.717,0076
28	Jueves	23.349	34.618	429,6216	1.803,5978
29	Viernes	22.693	35.989	440,2442	1.263,2139
30	Sábado	17.417	21.277	231,6461	1.008,5298
31	Domingo	17.265	23.439	229,6245	1.111,0086
Total		629.230	892.129	10.754,13	42.932,38

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Distribución de la flota por cada día de marzo 2024

Tabla 8.2: Distribución flota por los días de marzo						
<i>Día marzo</i>	<i>Tipo de día</i>	<i>Buses total día</i>	<i>Buses T. norte</i>	<i>Buses T. oriente</i>	<i>Buses T. poniente</i>	<i>Sede Link</i>
01-03-2024	Viernes	305	60	39	50	156
02-03-2024	Sábado	186	35	27	32	92
03-03-2024	Domingo	185	35	27	32	91
04-03-2024	Lunes	303	50	43	53	157
05-03-2024	Martes	305	50	43	54	158
06-03-2024	Miércoles	314	51	45	55	163
07-03-2024	Jueves	312	51	44	55	162
08-03-2024	Viernes	301	59	38	49	155
09-03-2024	Sábado	183	35	27	32	89
10-03-2024	Domingo	187	35	27	33	92
11-03-2024	Lunes	311	51	44	55	161
12-03-2024	Martes	309	51	44	55	159
13-03-2024	Miércoles	311	51	44	55	161
14-03-2024	Jueves	321	53	46	57	165
15-03-2024	Viernes	309	61	39	51	158
16-03-2024	Sábado	187	35	27	33	92
17-03-2024	Domingo	188	35	27	33	93
18-03-2024	Lunes	310	51	44	55	160
19-03-2024	Martes	310	51	44	55	160
20-03-2024	Miércoles	312	51	44	55	162
21-03-2024	Jueves	314	51	45	55	163
23-03-2024	Sábado	147	28	21	26	72
24-03-2024	Domingo	204	39	30	36	99
25-03-2024	Lunes	322	53	46	57	166
26-03-2024	Martes	322	53	46	57	166
27-03-2024	Miércoles	321	53	46	57	165
28-03-2024	Jueves	320	52	46	56	166
29-03-2024	Viernes	213	42	27	35	109
30-03-2024	Sábado	210	40	31	37	102
31-03-2024	Domingo	242	46	35	42	119
Total		8.064	1.408	1.136	1.407	4.113

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Reasignación del 30%, 20% y 10% de los turnos H aleatorios

Los resultados de las simulaciones por porcentaje de reasignación se detallan por tipo gerencia y por zona de ascenso del día 27 de marzo 2024.

Tabla 8.3: 30% de asignación de los turnos H a sede Millán/ teletrabajo

<i>Zona</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Fundación</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Mina</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Planta</i>
Zona Centro	35	44	48
Zona Machalí	58	87	84
Zona Maitenes	7	5	4
Zona Manzanal	13	21	24
Zona Norte	16	31	44
Zona Oriente	42	34	45
Zona Poniente	32	41	40
Zona Sur	25	41	38
Total reasignación gerencia	228	304	327

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.4: 20% de asignación de los turnos H a sede Millán/teletrabajo

<i>Zona</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Fundación</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Mina</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Planta</i>
Zona Centro	25	36	44
Zona Machalí	29	53	61
Zona Maitenes	8	5	2
Zona Manzanal	9	14	20
Zona Norte	15	23	23
Zona Oriente	35	23	20
Zona Poniente	22	25	27
Zona Sur	9	24	21
Total reasignación gerencia	152	203	218

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.5: 10% de asignación de los turnos H a sede Millán/teletrabajo

<i>Zona</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Fundación</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Mina</i>	<i>Asignación aleatoriamente G. Planta</i>
Zona Centro	12	13	21
Zona Machalí	16	28	24
Zona Maitenes	2	2	0
Zona Manzanal	4	8	11
Zona Norte	6	11	15
Zona Oriente	16	14	17
Zona Poniente	12	16	13
Zona Sur	8	10	8
Total reasignación gerencia	76	102	109

Fuente: Elaboración propia.

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

Departamento	: Departamento de Ingeniería Industrial
Carrera	: Ingeniería Civil Industrial
Nombre del memorista	: Ailin Nicole Pastene Sandoval
Título de la memoria	: Estrategias Para El Sistema de Transporte de Personal en La División El Teniente de Codelco
Fecha de la presentación oral	:
Profesor(es) Guía	: Eduardo Salazar Hornig
Profesor(es) Revisor(es)	: Benjamín Trehwela
Concepto	: Transporte y estrategia
Calificación	:

Resumen (máximo 200 palabras)

En esta memoria de título se analizó en detalle el sistema de transporte de personal de la División El Teniente de Codelco, identificando áreas clave de mejora tanto en la eficiencia operativa como en la sostenibilidad. Se evaluaron diversas estrategias, entre las que destacan la implementación de terminales satelitales en zonas estratégicas de Rancagua y la promoción del trabajo en la sede de Millán, así como el teletrabajo. El análisis incluyó un estudio detallado de la distribución de la flota, los tiempos de viaje, y la demanda de transporte en diferentes horarios, con el objetivo de proponer soluciones que optimicen la operación y reduzcan el impacto ambiental.