



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



**OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN  
MEDIANTE LA PROPUESTA DE BANDAS HORARIAS PARA CARGA Y  
DESCARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.**

**POR**

**Sebastián Ignacio Valenzuela Villalón**

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

**Profesor Guía  
Luis Claudio García Santander**

**Profesional Supervisor  
Juan Toledo**

**Diciembre 2022  
Concepción (Chile)**

© 2022 Sebastián Ignacio Valenzuela Villalón  
Ninguna parte de esta tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso por escrito del autor.



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Eléctrica

Profesor Patrocinante:  
Luis C. García Santander

# Optimización de la operación del Sistema de Distribución mediante la propuesta de bandas horarias para carga y descarga de vehículos eléctricos.



Sebastián Ignacio Valenzuela Villalón

Informe de Memoria de Título  
para optar al Título de

Ingeniero Civil Eléctrico

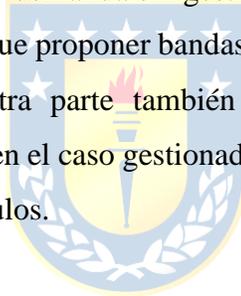
Diciembre 2022

## Resumen

En esta memoria se realiza una propuesta de bandas horarias donde es conveniente que los vehículos eléctricos puedan ser cargados o descargados con el fin de disminuir los efectos adversos de la inclusión de dichos vehículos en la red de distribución. Para esto, se caracteriza el perfil de demanda actual de cuatro zonas ubicadas en Osorno, Chile, y se analiza dicho perfil según el nivel de demanda eléctrica. Esta caracterización y clasificación se realiza mediante algoritmos de agrupamiento mediante el *software* MATLAB.

Además, se realiza una predicción de la demanda futura dada por la demanda de vehículos eléctricos al año 2050, donde se espera que estos alcancen el 62 % de penetración con respecto al total de vehículos. Esta predicción contempla la cantidad de vehículos y patrones de comportamiento derivados de encuestas de movilidad. Junto a lo anterior, se estima el perfil de demanda cuando existe una tarifa en base a horarios.

Finalmente, se obtiene un perfil de demanda sin gestión y gestionado y se simula en DigSilent PowerFactory, lo que permite concluir que proponer bandas horarias logra reducir hasta un 16,9 % la demanda máxima del sistema. Por otra parte también se concluye que se puede utilizar la infraestructura actual por tres años más en el caso gestionado y que el mayor problema a futuro viene dado por las cargas rápidas de los vehículos.





*A mi futura esposa, Angela Victoria Moreno Castro.*

## Agradecimientos

Quiero empezar diciendo que tengo una hermosa familia que me ha acompañado mientras he estado estudiando. Mis padres, Alejandro Valenzuela e Ingrid Villalón, se han esforzado por ayudarme a progresar, ya sea otorgándome todo el tiempo posible para que pudiera estudiar tranquilo, proveyéndome los materiales que necesitaba y apoyo cuando me sentía estresado y brindándome su amor para seguir adelante.

Así también, agradezco a mi hermana, Macarena Valenzuela, quién en ocasiones revisaba mis trabajos para ver si tenía todo bien escrito, usando su talento como profesora de lenguaje, especialista en edición de contenidos.

Agradezco también a mi futura esposa, Angela Victoria Moreno Castro, a quién conocí cerca del último año de mi carrera y quien ha sido lo mejor que me ha pasado en la vida.

Estoy agradecido de mis amigos: Nelson, Enzo y Sandro, quienes me distraían prácticamente todos los días después de estudiar. Los juegos *online* y las conversaciones nocturnas no podían faltar con ellos. También agradezco a Jerkhof, Geraldine, Pablo, Danitza, Ignacio y Sofía, quienes me acompañaron toda la carrera y con quienes formé lazos más allá de compartir ramos.

También agradezco al Padre Celestial quien me permite seguir con vida y poder servir en la iglesia al mismo tiempo que me impulsa a estudiar, desarrollarme como profesional y crecer.

Agradezco a quienes me han ayudado en el desarrollo de esta memoria. Al profesor Luis García Santander, quién me guio, orientó y generó los contactos con los que pude obtener información. Agradezco a SAESA, en particular, a Aníbal Icarte y Juan Toledo, por ayudarme a comprender el modelo de Osorno y por la información que la empresa me brindó. Agradezco también a todas las personas que me ayudaron con todo tipo de información.

Por último, me agradezco a mí mismo, porque pude seguir estudiando a pesar de los problemas, de la falta de tiempo, de querer hacer otras cosas; me agradezco porque puedo estar hoy escribiendo mientras termino esta memoria.

# Tabla de Contenidos

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABREVIACIONES .....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
1.2. TRABAJOS PREVIOS .....	1
1.2.1 Estado del Arte .....	2
1.2.2 Discusión .....	9
1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO .....	9
1.4. OBJETIVOS .....	10
1.4.1 Objetivo General .....	10
1.4.2 Objetivos Específicos .....	10
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	10
1.6. TEMARIO Y METODOLOGÍA .....	11
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
2.1. VEHÍCULOS Y CARGA DE BATERÍAS .....	13
2.1.1 Vehículos eléctricos .....	13
2.1.2 Sistema de carga .....	14
2.1.3 Modos de Carga .....	14
2.1.4 Tipos de conectores .....	17
2.1.5 Tecnología de cargadores de vehículos .....	17
2.2. PERFIL DE DEMANDA .....	18
2.3. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y MANEJO DE LA DEMANDA .....	19
2.3.1 Sistema de Distribución .....	19
2.3.2 Gestión de demanda (DSM) .....	19
2.4. TARIFAS ELÉCTRICAS .....	20
2.4.1 Tarifa TOU (Time-of-Use) .....	20
2.4.2 Tarifa CCP (Critical Peak Pricing) .....	20
2.4.3 Tarifa RTP (Real Time Pricing) .....	21
2.4.4 Tarifa Net Billing .....	21
2.5. TARIFAS ELÉCTRICAS EN CHILE .....	21
2.5.1 Tarifa BT1a y BT1b .....	21
2.5.2 Tarifa TRAT1 .....	22
2.5.3 Tarifa TRBT2 y TRAT2 .....	22
2.5.4 Tarifa TRBT3 y TRAT3 .....	22
2.5.5 Tarifa BT2 y AT2 .....	22
2.5.6 Tarifa BT3 y AT3 .....	22
2.5.7 Tarifa BT4 y AT4 .....	22
2.5.8 Tarifa BT5 y AT5 .....	23
2.6. TARIFAS ELÉCTRICAS EXCLUSIVAS DE VE .....	23
2.6.1 Tarifas de VE para la carga residencial .....	23
2.6.2 Tarifas de VE para la carga pública .....	24
<b>CAPÍTULO 3. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN CHILE .....</b>	<b>26</b>
3.1. INTRODUCCIÓN .....	26
3.2. NORMATIVA CHILENA .....	26
3.3. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS ACTUALES .....	27
3.4. PRONÓSTICOS DE CRECIMIENTO .....	30
3.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	32
<b>CAPÍTULO 4. MODELOS DE CARGA Y DESCARGA DE VEHÍCULOS .....</b>	<b>35</b>

4.1.	MODELO DE CARGA Y DESCARGA DE BATERÍA.....	35
4.1.1	<i>Modelo de carga desde la red.....</i>	35
4.1.2	<i>Modelo de inyección a la red (V2G).....</i>	37
4.2.	PATRONES DE COMPORTAMIENTO.....	38
4.2.1	<i>Horas de inicio y término de viajes.....</i>	39
4.2.2	<i>Determinación del patrón.....</i>	40
<b>CAPÍTULO 5. PERFILES DE DEMANDA.....</b>		<b>44</b>
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	44
5.2.	ZONA DE ESTUDIO.....	44
5.3.	PERFIL DE DEMANDA DE VE.....	45
5.3.1	<i>Perfil de demanda vehículos particulares.....</i>	46
5.3.2	<i>Perfil de demanda de transporte público.....</i>	49
5.4.	PERFIL DE DEMANDA DEL LUGAR DE ESTUDIO.....	51
5.4.1	<i>Algoritmo de agrupamiento.....</i>	52
5.4.2	<i>Curvas representativas.....</i>	55
<b>CAPÍTULO 6. OBTENCIÓN DE BANDAS HORARIAS.....</b>		<b>57</b>
6.1.	INTRODUCCIÓN.....	57
6.2.	CRECIMIENTO VEGETATIVO.....	57
6.3.	BANDAS HORARIAS PARA EL MES DE ENERO.....	58
6.3.1	<i>Curvas representativas y bandas horarias en enero.....</i>	58
6.3.2	<i>Demanda sin gestión para enero.....</i>	61
6.4.	BANDAS HORARIAS PARA EL MES DE JULIO.....	63
6.4.1	<i>Curvas representativas y bandas horarias en julio.....</i>	63
6.4.2	<i>Demanda sin gestión para julio.....</i>	67
6.5.	DESPLAZAMIENTO DE DEMANDA CON GESTIÓN EN BASE A BANDA HORARIA.....	69
6.5.1	<i>Caso alimentador Manuel Montt en enero.....</i>	70
6.5.2	<i>Caso alimentador Manuel Montt en julio.....</i>	76
6.5.3	<i>Otros alimentadores en meses de enero y julio.....</i>	77
6.5.4	<i>Resultados.....</i>	78
<b>CAPÍTULO 7. SIMULACIÓN EN DIGSILENT.....</b>		<b>80</b>
7.1.	INTRODUCCIÓN.....	80
7.2.	ALIMENTADOR MANUEL MONTT: JULIO.....	80
7.2.1	<i>Simulación sin penetración de VE.....</i>	81
7.2.2	<i>Situación sin gestión horaria.....</i>	81
7.2.3	<i>Situación con tarifa horaria a las 13:00 horas.....</i>	82
7.2.4	<i>Situación con tarifa horaria a las 3:00 horas.....</i>	82
7.2.5	<i>Conclusiones para la zona del alimentador.....</i>	83
7.3.	ALIMENTADOR CHUYACA: ENERO.....	84
7.3.1	<i>Simulación sin penetración de VE.....</i>	85
7.3.2	<i>Situación sin gestión horaria.....</i>	85
7.3.3	<i>Situación con tarifa horaria a las 13:00 horas.....</i>	86
7.3.4	<i>Situación con tarifa horaria a las 03:00 horas.....</i>	86
7.3.5	<i>Conclusiones para la zona del alimentador.....</i>	87
7.4.	ALIMENTADOR LOS CARRERA: JULIO.....	87
7.4.1	<i>Conclusiones para la zona del alimentador.....</i>	87
7.5.	ALIMENTADOR ANTONIO VARAS: JULIO.....	88
7.5.1	<i>Conclusiones para la zona del alimentador.....</i>	88
7.6.	LÍMITE DE LA INFRAESTRUCTURA ACTUAL.....	89
<b>CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES.....</b>		<b>93</b>
8.1.	SUMARIO.....	93
8.2.	CONCLUSIONES.....	95
8.3.	TRABAJO FUTURO.....	95
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>97</b>

<b>ANEXO A.</b>	<b>CARGA DE LOS VE: SOC, POTENCIA Y TIEMPO DE CARGA. ....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO B.</b>	<b>BANDAS HORARIAS PARA LOS CARRERA Y ANTONIO VARAS EN ENERO Y JULIO</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO C.</b>	<b>HORARIOS PARA CARGA/DESCARGA EN ALIMENTADORES Y DEMANDA GESTIONADA.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO D.</b>	<b>SIMULACIONES EN DIGSILENT PARA LOS CARRERA Y ANTONIO VARAS .....</b>	<b>121</b>
	ALIMENTADOR LOS CARRERA: JULIO.....	121
	<i>Simulación sin penetración de VE</i> .....	121
	<i>Situación sin gestión horaria</i> .....	122
	<i>Situación con tarifa horaria a las 13:00 horas</i> .....	122
	<i>Situación con tarifa horaria a la hora 01:00</i> .....	123
	ALIMENTADOR ANTONIO VARAS: JULIO .....	123
	<i>Simulación sin penetración de VE</i> .....	124
	<i>Situación sin gestión horaria</i> .....	124
	<i>Situación con tarifa horaria a las 13:00 horas</i> .....	125
	<i>Situación con tarifa horaria a las 22:00 horas</i> .....	125



## Lista de Tablas

Tabla 3-1: Especificaciones de Vehículos de Pasajeros y de Carga (Elaboración Propia).....	32
Tabla 3-2: Especificaciones de vehículos de transporte público (Elaboración Propia). ....	33
Tabla 3-3: Carga normal de vehículos más utilizados (Elaboración Propia).....	33
Tabla 3-4: Carga rápida de vehículos más utilizados (Elaboración Propia). ....	33
Tabla 4-1: Motivos, duración y cantidad de viajes (Elaboración Propia). ....	39
Tabla 5-1: Cantidad de clientes conectados por alimentador (Elaboración Propia). ....	46
Tabla 5-2: Cantidad pronosticada de vehículos eléctricos por alimentador (Elaboración Propia). ...	46
Tabla 5-3: Tiempo de carga de los vehículos elegidos (Elaboración Propia).....	47
Tabla 5-4: Porcentajes de penetración de VE (Elaboración Propia). ....	47
Tabla 5-5: Buses contemplados para el estudio. ....	49
Tabla 5-6: Cantidad de taxis eléctricos considerados en Osorno Oriente (Elaboración Propia). ....	50
Tabla 6-1: Crecimiento total de demanda al año 2050 calculada en base a la información entregada por SAESA (Elaboración Propia). ....	57
Tabla 6-2: Horarios de carga y descarga de VE para enero en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia). ....	59
Tabla 6-3: Horarios de carga y descarga de VE para enero en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia). ....	61
Tabla 6-4: Horarios de carga y descarga de VE para julio en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia). ....	65
Tabla 6-5: Horarios de carga y descarga de VE para julio en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia). ....	67
Tabla 6-6: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo (Elaboración Propia).....	71
Tabla 6-7: Demanda máxima presente a nivel de alimentador para los meses de enero y julio con y sin gestión horaria de VE (Elaboración Propia).....	78
Tabla 6-8: Demanda dada por los VE a las 13:00 horas con y sin gestión horaria (Elaboración Propia).....	79
Tabla 7-1: Demanda por tipo de carga situación sin gestión en M. Montt, año 2050 (Elaboración Propia). ....	81
Tabla 7-2: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 13 horas en M. Montt, año 2050 (Elaboración Propia).....	82
Tabla 7-3: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 3:00 horas en M. Montt, año 2050 (Elaboración Propia).....	83
Tabla 7-4: Resumen de resultados de la simulación en M. Montt (Elaboración Propia).....	83
Tabla 7-5: Demanda por tipo de carga situación sin gestión en Chuyaca, año 2050 (Elaboración Propia). ....	85
Tabla 7-6: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 13 horas en Chuyaca, año 2050 (Elaboración Propia).....	86
Tabla 7-7: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a la hora 01:00 en Chuyaca, año 2050 (Elaboración Propia).....	86
Tabla 7-8: Resumen de resultados de la simulación en Chuyaca (Elaboración Propia). ....	87
Tabla 7-9: Resumen de resultados de la simulación en Los Carrera (Elaboración Propia). ....	88
Tabla 7-10: Resumen de resultados de la simulación en Antonio Varas (Elaboración Propia).....	89
Tabla 7-11: Año en que se supera la capacidad de la infraestructura disponible sin gestión de la carga de vehículos (Elaboración Propia).....	90

Tabla 7-12: Año en que se supera la capacidad de la infraestructura disponible al existir gestión de la carga de vehículos (Elaboración Propia).....	90
Tabla B-1: Horarios de carga y descarga de VE para enero en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).....	112
Tabla B-2: Horarios de carga y descarga de VE para enero en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).....	113
Tabla B-3: Horarios de carga y descarga de VE para julio en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).....	115
Tabla B-4: Horarios de carga y descarga de VE para julio en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).....	116
Tabla C-1: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Los Carrera para enero (Elaboración Propia).....	117
Tabla C-2: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Los Carrera para julio (Elaboración Propia).....	117
Tabla C-3: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Antonio Varas para enero (Elaboración Propia).....	117
Tabla C-4: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Antonio Varas para julio (Elaboración Propia).....	117
Tabla C-5: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Chuyaca para enero (Elaboración Propia).....	118
Tabla C-6: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Chuyaca para julio (Elaboración Propia).....	118
Tabla D-1: Demanda por tipo de carga situación sin gestión en Los Carrera, año 2050 (Elaboración Propia).....	122
Tabla D-2: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 13 horas en Los Carrera, año 2050 (Elaboración Propia).....	122
Tabla D-3: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a la hora 01:00 en Chuyaca, año 2050 (Elaboración Propia).....	123
Tabla D-4: Demanda por tipo de carga situación sin gestión en A. Varas, año 2050 (Elaboración Propia).....	124
Tabla D-5: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 13 horas en A. Varas, año 2050 (Elaboración Propia).....	125
Tabla D-6: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 22:00 horas en Chuyaca, año 2050 (Elaboración Propia).....	125

## Lista de Figuras

Figura 2-1: Carga AC o DC de un vehículo eléctrico [16]. .....	14
Figura 2-2: Modo de carga 1 [16]. .....	15
Figura 2-3: Modo de Carga 2 [16]. .....	15
Figura 2-4: Modo de Carga 3 [16]. .....	16
Figura 2-5: Modo de Carga 4 [16]. .....	16
Figura 2-6: Tipos de conectores según modo de carga en AC y DC [18].....	17
Figura 2-7: Ejemplo de un perfil de demanda (Elaboración Propia). .....	18
Figura 2-8: Tarifas de Southern California Edison para VE de verano e invierno [33]. .....	23
Figura 2-9: Tarifa EV-B para la carga de VE dada por PG&E [34]. .....	24
Figura 2-10: Horarios y precios para cargadores de EVgo en la ciudad de California [35]. .....	24

Figura 2-11: Tarifas públicas de carga de VE dadas por Seattle City Light [36].	25
Figura 3-1: Metas de electromovilidad [1].	26
Figura 3-2: Ventas acumuladas de BEV (Elaboración propia).	28
Figura 3-3: Ventas acumuladas de HEV (Elaboración propia).	28
Figura 3-4: Ventas acumuladas PHEV (Elaboración propia).	29
Figura 3-5: Gráfico representativo de cada marca y modelo de vehículo BEV y PHEV existente en Chile [47].	29
Figura 3-6: Gráfico representativo de cada marca y modelo de vehículo puramente eléctrico en Chile [47].	30
Figura 3-7: Proyecciones de vehículos eléctricos dados por E2BIZ [47].	31
Figura 3-8: Curvas de penetración de vehículos eléctricos para distintos parámetros de sensibilidad [51].	32
Figura 4-1: Esquema de carga rápida de vehículos (Elaboración Propia).	37
Figura 4-2: Tiempos de inicio y llegada de vehículos y su disponibilidad de carga [59].	38
Figura 4-3: Cantidad y horas de inicio y término de viajes (Elaboración Propia).	40
Figura 4-4: Cantidad y hora del término de viaje de vuelta a casa (Elaboración Propia).	41
Figura 4-5: Patrón de llegada al trabajo, universidad, centro de salud o centro comercial (Elaboración Propia).	41
Figura 4-6: Patrón de carga rápida (Elaboración Propia).	42
Figura 4-7: Patrón de llegada de buses a la terminal (Elaboración Propia).	43
Figura 4-8: Consumo pronosticado por vehículos eléctricos en California [64].	43
Figura 5-1: Líneas de transmisión y subestaciones en la ciudad de Osorno y alrededores.	44
Figura 5-2: Líneas de transmisión y subestaciones ubicadas en la zona urbana de Osorno.	45
Figura 5-3: Perfil de demanda de vehículos particulares sin gestión de carga en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).	48
Figura 5-4: Perfil de demanda según tipo de carga sin gestionar en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).	48
Figura 5-5: Cantidad de vehículos conectados simultáneamente según tipo de carga sin gestión en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).	48
Figura 5-6: Demanda Total de vehículos particulares en Osorno Oriente (Elaboración Propia).	49
Figura 5-7: Demanda dada por los buses sin gestión (Elaboración Propia).	50
Figura 5-8: Demanda del total de taxis sin gestión (Elaboración Propia).	51
Figura 5-9: Funcionamiento algoritmo K-Means (Elaboración Propia).	53
Figura 5-10: Funcionamiento Algoritmo Fuzzy C-Means (Elaboración Propia).	55
Figura 5-11: Datos de consumo real de una semana en el alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).	56
Figura 5-12: A la izquierda: Demanda correspondiente al mes de enero. A la derecha: Curvas resultantes del algoritmo (Elaboración Propia).	56
Figura 6-1: Demanda en el mes de enero en alimentador Manuel Montt y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia).	58
Figura 6-2: División de periodos para el mes de enero en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).	59
Figura 6-3: Demanda en el mes de enero en alimentador Chuyaca y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia).	60
Figura 6-4: División de periodos para el mes de enero en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).	60
Figura 6-5: Demanda sin gestión en el mes de enero alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).	61

Figura 6-6: Demanda sin gestión en el mes de enero alimentador Chuyaca (Elaboración Propia)...	62
Figura 6-7: Demanda sin gestión en el mes de enero alimentador Los Carrera (Elaboración Propia). .....	62
Figura 6-8: Demanda sin gestión en el mes de enero alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia). .....	63
Figura 6-9: Demanda en el mes de julio en alimentador Manuel Montt y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia). .....	64
Figura 6-10: División de periodos para el mes de enero en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia). .....	65
Figura 6-11: Demanda en el mes de julio en alimentador Chuyaca y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia). .....	66
Figura 6-12: División de periodos para el mes de enero en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia). .....	66
Figura 6-13: Demanda sin gestión en el mes de julio alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia). .....	67
Figura 6-14: Demanda sin gestión en el mes de julio alimentador Chuyaca (Elaboración Propia)...	68
Figura 6-15: Demanda sin gestión en el mes de julio alimentador Los Carrera (Elaboración Propia). .....	68
Figura 6-16: Demanda sin gestión en el mes de julio alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia). .....	69
Figura 6-17: Desplazo del 80 % de las cargas lentas a horas de menor consumo en alimentador M. Montt en enero (Elaboración Propia). .....	70
Figura 6-18: Desplazo de carga a horas de Valle y Valle Bajo en alimentador M. Montt en enero (Elaboración Propia). .....	71
Figura 6-19: Desplazamiento de demanda e inyección V2G para enero en alimentador M. Montt (Elaboración Propia). .....	72
Figura 6-20: Desplazamiento de la carga de buses para enero en alimentador M. Montt (Elaboración Propia). .....	73
Figura 6-21: Demanda total con desplazamiento de cargas para enero en alimentador M. Montt (Elaboración Propia). .....	74
Figura 6-22: Cantidad de conexiones simultáneas consideradas en alimentador Manuel Montt según patrones de comportamiento (Elaboración Propia). .....	74
Figura 6-23: Perfil de demanda para cada desplazamiento realizado (Elaboración Propia).....	75
Figura 6-24: Demanda de los VE sin gestión y con bandas horarias (Elaboración Propia).....	75
Figura 6-25: Demanda total con gestión horaria si se implementan cargadores con almacenamiento en alimentador M. Montt (Elaboración Propia). .....	76
Figura 6-26: Demanda total con gestión horaria para enero en alimentador M. Montt (Elaboración Propia). .....	77
Figura 7-1: Cargadores públicos y rápidos contemplados para la simulación en M. Montt (Elaboración Propia). .....	81
Figura 7-2: Cargadores públicos y rápidos contemplados para la simulación en Chuyaca (Elaboración Propia). .....	85
Figura 7-3: Carga de la línea por año para una penetración del 40 % de VE en los alimentadores M. Montt, Chuyaca y Los Carrera (Elaboración Propia).....	91
Figura 7-4: Carga de la línea por año para una penetración del 30 % de VE utilizando bandas horarias en los alimentadores M. Montt, Chuyaca y Los Carrera (Elaboración Propia). .....	91
Figura 7-5: Carga de la línea por año para una penetración del 30 % de VE sin gestión en los alimentadores M. Montt, Chuyaca y Los Carrera (Elaboración Propia).....	92

Figura A-1: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga lenta Hyundai Ioniq para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia). .....	105
Figura A-2: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga rápida Hyundai Ioniq para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia). .....	105
Figura A-3: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga lenta Nissan Leaf para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia). .....	105
Figura A-4: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga rápida Nissan Leaf para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia). .....	106
Figura A-5: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga lenta DS Crossback para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia). .....	106
Figura A-6: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga rápida DS Crossback para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia). .....	106
Figura A-7: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga FOTON U12 para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia). .....	107
Figura A-8: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga lenta BYD e5 para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia). .....	107
Figura A-9: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga rápida BYD e5 para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia). .....	107
Figura A-10: Perfil de demanda de vehículos particulares sin gestión de carga en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia). .....	108
Figura A-11: Perfil de demanda según tipo de carga sin gestionar en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia). .....	108
Figura A-12: Cantidad de vehículos conectados simultáneamente según tipo de carga sin gestión en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia). .....	108
Figura A-13: Perfil de demanda de vehículos particulares sin gestión de carga en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia). .....	109
Figura A-14: Perfil de demanda según tipo de carga sin gestionar en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia). .....	109
Figura A-15: Cantidad de vehículos conectados simultáneamente según tipo de carga sin gestión en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia). .....	109
Figura A-16: Perfil de demanda de vehículos particulares sin gestión de carga en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia). .....	110
Figura A-17: Perfil de demanda según tipo de carga sin gestionar en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia). .....	110
Figura A-18: Cantidad de vehículos conectados simultáneamente según tipo de carga sin gestión en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia). .....	110
Figura B-1: Demanda en el mes de enero en alimentador Los Carrera y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia). .....	111
Figura B-2: División de periodos para el mes de enero en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia). .....	111
Figura B-3: Demanda en el mes de enero en alimentador Antonio Varas y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia). .....	112
Figura B-4: División de periodos para el mes de enero en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia). .....	113
Figura B-5: Demanda en el mes de julio en alimentador Los Carrera y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia). .....	114
Figura B-6: División de periodos para el mes de julio en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia). .....	114

Figura B-7: Demanda en el mes de julio en alimentador Antonio Varas y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia). .....	115
Figura B-8: División de periodos para el mes de julio en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia). .....	116
Figura C-1: Demanda total con desplazamiento de cargas para enero en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia). .....	118
Figura C-2: Demanda total con desplazamiento de cargas para enero en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia). .....	118
Figura C-3: Demanda total con desplazamiento de cargas para enero en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia). .....	119
Figura C-4: Demanda total con desplazamiento de cargas para julio en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia). .....	119
Figura C-5: Demanda total con desplazamiento de cargas para julio en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia). .....	119
Figura C-6: Demanda total con desplazamiento de cargas para julio en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia). .....	120
Figura D-1: Cargadores públicos y rápidos contemplados para la simulación en Los Carrera (Elaboración Propia). .....	121
Figura D-2: Cargadores públicos y rápidos contemplados para la simulación en A. Varas (Elaboración Propia). .....	123



## Nomenclatura y Abreviaciones

AC	: Corriente Alterna ( <i>Alternating Current</i> ).
Agencia SE	: Agencia de Sostenibilidad Energética.
ANAC	: Asociación Nacional Automotriz de Chile.
CNE	: Comisión Nacional de Energía.
DC	: Corriente Continua ( <i>Direct Current</i> ).
DSM	: Gestión de la demanda ( <i>Demand Side Management</i> ).
eBus	: Bus eléctrico ( <i>electric Bus</i> ).
km	: kilómetro.
kW	: kilowatt.
kWh	: kilowatt-hora.
pu	: por unidad.
MTT	: Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.
SAESA	: Sociedad Austral de Electricidad Sociedad Anónima.
SECTRA	: Secretaría de Planificación de Transporte.
SoC	: Estado de Carga ( <i>State of Charge</i> ).
TOU	: <i>Time Of Use</i> .
V2B	: Vehículo a edificio ( <i>Vehicle to Building</i> ).
V2G	: Vehículo a la Red ( <i>Vehicle to Grid</i> ).
V2H	: Vehículo a la casa ( <i>Vehicle to Home</i> ).
V2X	: Vehículo a todo ( <i>Vehicle to Everything</i> ).
VE	: Vehículo Eléctrico.



# Capítulo 1. Introducción

---

## 1.1. Introducción General.

Las medidas frente al cambio climático incluyen la adopción de nuevas tecnologías para disminuir el impacto en el medio ambiente. Entre dichas medidas se tiene la incorporación de vehículos cuyas emisiones de CO<sub>2</sub> sean mínimas, como son los VE. En el caso de Chile el gobierno presentó en el año 2021 la estrategia nacional de electromovilidad, la cual establece que al año 2035 todos los automóviles en venta deben ser cero emisiones [1].

La incorporación masiva de VE trae sus propios desafíos relacionados con el consumo de energía. Este medio de transporte cuenta con cierta capacidad de almacenamiento en sus baterías y una autonomía asociada. Se puede afirmar que la mayoría de estos automóviles son utilizados a diario y tienen un consumo de energía proporcional a su desplazamiento [2]. Dicha energía consumida debe ser cargada a la batería con frecuencia.

Los efectos de agregar una demanda como esta al sistema no están lejos de ser nocivos, puesto que la infraestructura disponible tiene una capacidad fija, la cual no considera la incorporación de una demanda de esta magnitud [3].

Varios estudios han demostrado los efectos negativos que se producen al tener una carga descontrolada de esta nueva tecnología [4]. De la misma forma, existen análisis que proponen cómo evitar esta aglomeración de demanda, de manera que esta pueda ser distribuida en horarios donde el sistema eléctrico sea capaz de manejarla. Entre las evaluaciones hechas se encuentra la incorporación de tarifas de horario diferido, la incorporación de un tercero que controle los niveles de potencia de carga, la incorporación de cargadores inteligentes que distribuyan la potencia disponible de los cargadores, entre otras [5].

En esta memoria se enfrenta esta problemática mediante una propuesta de banda horaria en la cual los VE puedan cargarse sin afectar, en mayor medida, el estado de la red. Así también se propone un horario donde aquellos automóviles con tecnología V2G puedan inyectar energía a la red a fin de proporcionar un beneficio al sistema de distribución eléctrico.

## 1.2. Trabajos Previos

En esta sección se listan los principales artículos encontrados. Estos incluyen memorias de título, *papers*, libros y publicaciones relacionadas a la carga de VE, a los patrones de comportamiento

bajo un esquema tarifario y a los resultados obtenidos mediante la implementación de periodos de carga y descarga.

### 1.2.1 Estado del Arte

[2] G. Celli, G. G. Soma, F. Pilo, F. Lacu, S. Mocci, y N. Natale, «Aggregated electric vehicles load profiles with fast charging stations», en *2014 Power Systems Computation Conference*, ago. 2014, pp. 1-7. doi: 10.1109/PSCC.2014.7038402.

Al ver la importancia que presentará la demanda de VE en el futuro, los autores proponen analizar y estimar los perfiles de carga dados por las estaciones de carga rápida, las cuales se realizan en cargadores de 50 [kW], o de potencia superior, y están conectados a media tensión. Debido a esta gran potencia la carga se caracteriza por una alta demanda que tiene corta duración.

Cómo no se encuentran disponibles datos históricos sobre este tipo de carga, además de la aleatoriedad que presentan los usuarios de estos vehículos, los autores modelan el comportamiento de los conductores con el fin de determinar el estado de carga de las baterías. Además, se asume que la carga rápida será necesaria sólo cuando el estado de carga de la batería sea lo suficientemente bajo, ya que se considera, según encuestas, que la carga se realizará en cargadores residenciales preferentemente.

Finalmente, bajo las consideraciones tomadas, se entrega la estimación del perfil de demanda futuro de los cargadores rápidos para distintos casos de disponibilidad, así como para diferentes días de la semana o tipos de usuario. Con esta información se puede estimar el impacto que se tiene en la red de distribución.

El modelo presentado en este estudio se puede adaptar para los distintos tipos de carga, pero para ello se necesita especificar la potencia de carga y el comportamiento de los usuarios, entre otros parámetros.

[3] L. Pieltain Fernández, T. Gomez San Roman, R. Cossent, C. Mateo Domingo, y P. Frías, «Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, n.º 1, pp. 206-213, feb. 2011, doi: 10.1109/TPWRS.2010.2049133.

Los autores presentan un estudio para analizar el impacto que se presentará en la red por la penetración de VE en el futuro. Este estudio se concentra en la posible inversión que deben enfrentar los proveedores de energía y las pérdidas que estarán presentes en la red debido a esta inclusión.

Para esto se estudian dos casos: el primer caso en una zona urbana y el segundo en una zona urbana ubicada en una localidad industrial. Dichos casos actúan como situaciones base a las cuales se les incorporará una cierta cantidad de VE. Los escenarios de penetración a estudiar son del 35 %, 51 % y 62 %.

Al realizar el estudio se consideraron distintos factores de simultaneidad, así como distintos tipos de carga, distintas potencias de carga, y cantidades diferentes de vehículos que cargaban tanto en horas valles como en horas *peak*. Además, se asumió el patrón de carga y las horas de conducción. También se consideró el caso donde la carga de vehículos se desplaza desde horas *peak* a horas valle y donde el factor de simultaneidad es menor a uno.

Se concluye que siempre existirá una inversión futura en la red para adecuarse a la incorporación de VE. Sin embargo, si el factor de simultaneidad decrece por alguna estrategia de carga implementada, se puede evitar entre un 60 % a un 70 % de costos en refuerzos calculados en el peor caso. Adicionalmente a lo anterior, si la carga se puede desplazar desde horas *peak* a horas *off-peak* se puede evitar entre un 5 % y 15 % extra en costos de inversión. Por esto, la definición de bandas horarias es clave para reducir la demanda máxima en la red.

Dentro de las utilidades de este estudio se encuentran las consideraciones que se tienen para modelar el impacto de la penetración de automóviles, así como la manera que se tiene para definir exactamente cuántos vehículos equivalen al porcentaje de penetración. También se encuentra la forma en la que se modela la inyección de energía por parte de vehículos con tecnología V2G y la potencia con la cual se cargarán y descargarán.

**[4] D. H. Covián, «Impacto de esquemas tarifarios en perfiles horarios de demanda asociada a vehículos eléctricos particulares en redes de distribución chilenas», p. 95, 2021.**

Esta memoria intenta estimar un posible perfil de demanda dado por la incorporación de VE a nivel residencial. Para esto, se modela la demanda de dichos vehículos y se analiza el comportamiento que estos tendrían bajo distintos esquemas tarifarios de uso horario. Entre estos esquemas se encuentran tarifas TOU de dos y tres bloques, tarifas CPP y una condición sin control, la cual no presenta incentivos o sanciones para la carga de vehículos en algún periodo de tiempo.

Bajo estas suposiciones, la demanda de los vehículos se desplaza según las bandas horarias dadas por los esquemas tarifarios considerados. Dicho desplazamiento se realiza en base a los costos que los usuarios presentarían al adoptar las tarifas. Con los perfiles obtenidos se analiza cual sería el impacto que se tendrá en la red de distribución.

Si bien se obtienen perfiles de demanda considerando la incorporación de vehículos, esta memoria no propone nuevos horarios, sino que utiliza tarifas preestablecidas por otros países para su estudio. Esta memoria no solo sirve como una aproximación de cómo sería la demanda futura, sino que la metodología presentada para desplazar la carga junto a las consideraciones que la memoria ocupa para su análisis y su modelo de demanda de energía para cargar baterías son eficaces y adaptables para analizar cualquier tarifa de horario diferida propuesta.

[5] **G. E. G. Fuentes, «Optimización de estrategia descentralizada de carga para vehículo eléctricos en una red de distribución», p. 78, 2018.**

Este estudio busca optimizar la carga descentralizada de VE, es decir, sin la necesidad de que una entidad esté controlando cómo se debería cargar el vehículo. Se busca la optimización a través de incentivos para que los usuarios carguen sus vehículos en momentos donde la red no se vea mayormente afectada.

Para esto, se modela la situación de carga de vehículos en las residencias considerando aspectos como la hora de viaje y llegada de los usuarios, así como el estado de la batería y la potencia a la cual se conectan los vehículos.

Finalmente, se comparan sus resultados con otros estudios realizados con anterioridad, donde previamente se concluía que la carga centralizada era la mejor opción. Sin embargo, la autora propone dividir el lugar de estudio en tres sectores, con lo cual arbitrariamente selecciona tres horarios distintos con distinto precio con el fin de prevenir la conexión simultánea de los vehículos en horas nocturnas. Con los resultados obtenidos se concluye que este método funciona de mejor manera para evitar congestiones en la red.

La utilidad de esta memoria se encuentra en la forma en la que modela la demanda de VE a añadir, así como en el método que tiene para comparar los resultados. Además, el proponer dividir las horas por sectores resulta ser efectivo y es algo que se debe tener en cuenta en una proposición de bandas horarias.

[6] **K. Mahmud, M. J. Hossain, y J. Ravishankar, «Peak-Load Management in Commercial Systems With Electric Vehicles», *IEEE Syst. J.*, vol. 13, n.º 2, pp. 1872-1882, jun. 2019, doi: 10.1109/JSYST.2018.2850887.**

Los autores del *paper* proponen estudiar la reducción del *peak* de demanda para un sector comercial a través de la inyección de energía y la elección del momento adecuado para cargar

vehículos. Para esto, se tiene en cuenta un sistema que posee VE capaces de usar la tecnología V2G, paneles solares y bancos de baterías. Estos tres operan en conjunto para un instante dado a través de un equipo que controla cuándo los vehículos se deben cargar o inyectar energía.

Por otro lado, se asume que sólo ciertos usuarios permitirán que su vehículo aporte a la inyección de energía a la red. El usuario que participa puede definir como parámetro: 1) el estado de carga que desea tener en el vehículo cuando termine su conexión o 2) la distancia que estima recorrer, en cuyo caso el controlador calculará el estado de carga que debe tener la batería.

Los autores determinan que es posible reducir la demanda máxima a través de este control. Este artículo es provechoso puesto que el control de los vehículos con V2G se realiza bajo una tarifa con diferenciación horaria. Además, la utilidad del artículo se encuentra en la metodología con la cual se analiza el impacto que tiene inyectar energía. Dicha metodología provee un modelo que ayuda a evaluar cuándo se debe realizar el aporte de energía a la red y también entrega parámetros y consideraciones a tener en cuenta para que los usuarios deseen efectuar dicha inyección.

[7] M. Biviji, C. Uçkun, G. Bassett, J. Wang, y D. Ton, «Patterns of electric vehicle charging with time of use rates: Case studies in California and Portland», en *ISGT 2014*, feb. 2014, pp. 1-5. doi: 10.1109/ISGT.2014.6816454.

Los autores determinan patrones de comportamiento de carga de los clientes residenciales que poseen VE mediante el análisis de datos reales. El estudio considera distintas tarifas *Time-of-Use* que han contratado dichos clientes, así como el comportamiento de aquellos que tienen una tarifa plana. Estos patrones se presentan para cada día de la semana, haciendo la distinción entre día de semana y fin de semana, puesto que hay una clara diferencia en las cargas de esos días. El objetivo es determinar si efectivamente los clientes son capaces de mover su demanda a un horario de menor consumo cuando estos han contratado algún tipo de tarifa.

Se concluye que la carga de los vehículos de aquellos clientes que contratan tarifas TOU ocurre mayormente en los horarios *off-peak* y que coincide cuando es más barata la energía, lo cual desplaza la demanda significativamente y comprueba la efectividad de las tarifas de horario diferido, ya que los clientes responden de la manera esperada.

Este artículo es provechoso pues entrega información acerca del comportamiento de los usuarios de VE bajo tarifas tipo TOU. Dicha información puede ser utilizada como consideraciones al momento de decidir el porcentaje de personas que efectivamente obedecerán la tarifa propuesta con el fin de tener un resultado más acertado.

[8] M. Charwand y M. Gitizadeh, «Optimal TOU tariff design using robust intuitionistic fuzzy divergence-based thresholding», *Energy*, vol. 147, pp. 655-662, mar. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2017.11.121.

Usando un método estadístico basado en lógica difusa, los autores analizan un perfil de demanda para encontrar momentos donde la demanda es excesiva. El objetivo es agrupar de manera óptima periodos de tiempo para determinar *peaks* y valles de demanda, para luego definir los precios a los que la energía se venderá en dichos periodos. También asevera que pocos autores se enfocan en calcular periodos de tiempo como un asunto prioritario.

A través de un caso de estudio, los autores ponen a prueba su modelo para datos reales. En dicho análisis establecen cuatro posibles casos para separar las bandas horarias: 1) tres bandas horarias que tengan el mismo periodo, 2) tres bandas horarias que tengan periodos de tiempo basados en su probabilidad de ocurrir, 3) dos bandas horarias con el mismo periodo de tiempo y 4) dos bandas horarias con distinta duración.

Por simulación del comportamiento de los clientes se determina que en cada uno de esos casos la diferencia entre el valle y el máximo de la curva de demanda disminuye. Esto verifica la ventaja de diferenciar por precios los horarios de consumo. Sin embargo, no se estudia el caso de incorporar VE o un estudio a futuro con mayor demanda.

La utilidad de este documento recae en sus propuestas de bandas, las cuales no necesariamente deben ser de la misma duración, lo que es un punto para considerar al momento de preparar los periodos horarios a tratar.

[9] K. Wang, M. Zhang, Z. Wang, R. Li, F. Li, y H. Wu, «Time of Use Tariff Design for Domestic Customers from Flat Rate by Model-based Clustering», *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 652-655, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.11.935.

En este *paper* los autores diseñan una tarifa tipo *Time-of-Use* a partir de una tarifa plana. Ellos aseveran que la factibilidad de una tarifa TOU depende de dos factores: 1) que refleje de manera fidedigna las variaciones del precio de la energía y el estrés de la red para que los clientes muevan su consumo a otro horario y 2) que también asegure los beneficios de implementar dicha tarifa. Para esto se analiza un caso donde los clientes poseen un sistema de almacenaje de baterías.

Los autores aseveran que el desafío de implementar un diseño de este tipo de tarifas recae en cómo enfrentar el conflicto de orientarlas para mejorar el costo del usuario final u orientarlas para reducir la demanda del sistema a estudiar.

De sus resultados se concluye que orientar la tarifa para costo o demanda es efectivo, puesto que ambas pueden cumplir su propio objetivo beneficiando el otro en gran manera.

La utilidad de este estudio se encuentra en la demostración de variedad de objetivos que puede cumplir una definición de bandas horarias. Además, se entrega un modelo estadístico con el cual se puede trabajar un perfil de demanda para obtener distintos periodos horarios.

[10] **G. Van Krieking, C. De Cauwer, N. Sapountzoglou, T. Coosemans, y M. Messagie, «Peak shaving and cost minimization using model predictive control for uni- and bi-directional charging of electric vehicles», *Energy Rep.*, vol. 7, pp. 8760-8771, nov. 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.11.207.**

Los autores se enfocan en realizar un modelo predictivo de la demanda de VE en una estación de carga, a través de un algoritmo que considera que estos tienen la posibilidad de ser cargados de forma bidireccional. Su objetivo es reducir los *peaks* de demanda y rellenar los valles de consumo.

Para esto se modelan los SoC de los vehículos, así como la utilización de datos reales para predecir la demanda de estos a través de redes neuronales. El modelo tiene en cuenta el número de cargadores y la potencia disponible.

Como se tienen datos reales disponibles de la carga sin control, en la cual los vehículos se cargan a máxima potencia hasta que alcanzan su carga completa, se compara el modelo con dichos datos para ver la diferencia de estrategias y comprobar la efectividad del modelo.

Entre las conclusiones se destaca que el algoritmo no sólo ayuda a disminuir el costo y aplanar la curva de demanda desplazando la carga a las horas de valle, sino que gracias a la tecnología V2G se alcanza una demanda máxima menor que el mayor *peak* de demanda antes de introducir VE.

Este artículo es de utilidad, ya que entrega una manera de modelar tanto la carga de los vehículos como el estado de carga de las baterías. Así también, el algoritmo presentado comprende la disposición de los vehículos con tecnología V2G de inyectar la energía a la red, por lo que se entrega una manera de modelar la descarga de dichos vehículos.

[11] **M. Ding, X. Wang, J. Wang, Z. Yang, H. Zhong, y J. Yang, «A dynamic period partition method for time-of-use pricing with high-penetration renewable energy», en 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), nov. 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/EI2.2017.8245547.**

Este *paper* propone una metodología para seleccionar horarios con el fin de implementar una tarifa TOU que sea representativa para la región de estudio. El principal problema es la

representatividad que tiene la tarifa cuando hay grandes fuentes de energía renovable aportando en ciertos horarios, las cuales no están disponibles en otro momento por su naturaleza.

El estudio plantea el uso del algoritmo Fuzzy C-Means para clasificar las horas de consumo en tres categorías: valle, plano y punta. Además de esto, los autores usan la carga neta del sistema como variable de entrada a este algoritmo. Esto varía el resultado de clasificación de horarios.

Los resultados demuestran que considerar la carga neta del sistema logra mejorar el aprovechamiento de las energías renovables, cambiando las horas valle a horarios donde existe gran aporte de estas. Asimismo, como la generación por energía renovable está ligada al clima, se plantea que la tarifa sea creada con un día de anticipación.

Este artículo es de provecho puesto que muestra una manera de clasificar periodos de tiempo según la demanda gracias a un algoritmo de agrupación. Así como la generación de energía renovable afecta la clasificación de periodos, también una masiva integración de VE en una red puede causar un efecto similar, por lo que es un factor para tener en consideración cuando los periodos sean propuestos en esta memoria. También es de provecho el impacto que tiene la integración de energía renovable, la cual es un símil de un posible impacto por la integración de VE en la red.

**[12] H. Yang, Y. Gao, Y. Ma, y D. Zhang, «Optimal Modification of Peak-Valley Period Under Multiple Time-of-Use Schemes Based on Dynamic Load Point Method Considering Reliability Loss», *IEEE Transactions on Power Systems*, pp. 1-1, 2021, doi: 10.1109/TPWRS.2021.3131519.**

Este *paper* muestra una manera de dividir los periodos horarios en base a la demanda existente a través del agrupamiento de distintas curvas de demanda de varios días. Entre estas divisiones se tienen en cuenta diversos parámetros, como lo es la cantidad de curvas de demanda a evaluar y el agrupamiento de estas para su posterior estudio.

El estudio presenta diversos algoritmos iterativos con los cuales se busca minimizar o maximizar ciertas funciones objetivo dependiendo del caso. Entre estas funciones se encuentra una llamada *Global peak-valley Difference*, la cual tiene como objetivo el aplanado de la curva de demanda. Entre los casos a optimizar se encuentran el agrupamiento de distintas curvas de carga, la cantidad de horas por periodo, el costo correspondiente a cada periodo, entre otros.

La efectividad del método es comparada con el algoritmo de agrupamiento K-means, el cual es un algoritmo de agrupamiento con el que se pueden obtener partición de periodos. Se logra una

mejora en los efectos que se esperan de una tarifa tipo TOU, como lo es la reducción de demanda en hora punta y el aumento de demanda en horas de valle.

Este trabajo es de utilidad debido a que entrega metodologías para clasificar las curvas a trabajar, así como métodos para asignar precios y de partición de periodos. También se pueden adaptar ciertas partes del método para ser combinado con algún otro algoritmo.

### **1.2.2 Discusión**

Tras analizar los artículos es evidente que se ha enfrentado el problema de la carga de VE, ya sea estudiando los impactos negativos que estos tienen en la red o estudiando maneras de controlar la demanda. También se han estudiado los posibles perfiles de demanda simulando la carga que los vehículos tienen bajo distintos modos de carga, y se ha estudiado el efecto que tiene la tecnología V2G.

La literatura analizada tiene en común su preocupación por el incremento de la demanda máxima y en todos los estudios se asevera que debe existir un control con el fin de no superar la capacidad de la red y evitar costos por reforzarla.

Si bien se ha estudiado el impacto o comportamiento que tiene la demanda bajo ciertas condiciones tarifarias, estos estudios no se han dedicado a establecer nuevas bandas horarias. A pesar de que existen estudios que han demostrado maneras de obtener periodos horarios, estos no son obtenidos teniendo en cuenta la posible incorporación de una tecnología que afecte en gran manera al perfil de demanda.

La ventaja que presenta este trabajo es el enfoque que se da principalmente a la definición de periodos horarios para un tipo de demanda en específico, en base a la predicción del aumento de la demanda dada por la gran cantidad de VE que se incorporarán a la red.

### **1.3. Hipótesis de Trabajo**

La predicción del incremento de la demanda futura, dada por la incorporación de vehículos eléctricos, y la simulación del comportamiento de esta bajo restricciones tarifarias logran definir bandas horarias que disminuyan el aumento de la demanda máxima y el desplazamiento de dicha demanda a horarios de menor consumo.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1 Objetivo General

Definir periodos horarios que logren desplazar la demanda dada por la carga de vehículos eléctricos, así como horarios para la inyección de energía a la red, con el fin de disminuir el impacto en la misma debido al aumento de la demanda y evitar los costos relacionados a reforzar la red de distribución.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer un modelo para la carga de baterías de vehículos eléctricos.
- Implementar la carga de vehículos bajo distintos modos de carga y ubicación de los cargadores.
- Predecir un perfil de demanda para la carga sin control de los automóviles e incorporarlo a una demanda base de una localidad.
- Establecer particiones horarias en base a la penetración de vehículos pronosticada.
- Analizar el esquema de carga sin control y el desplazamiento de esta demanda bajo la consideración del comportamiento del usuario dado por las restricciones de las particiones horarias.

## 1.5. Alcances y Limitaciones

Este trabajo comprende la creación de un horario para carga y descarga de una localidad en específico debido a que la demanda varía según la zona donde se esté realizando el estudio. Además, el estudio considera porcentajes de penetración de vehículos dados por las aproximaciones realizadas por estudios anteriores.

Esta memoria sólo considera la creación de bandas horarias exclusivas para carga y descarga de VE. Los horarios propuestos no consideran la valorización del precio de la energía, sino que solo indican si los periodos son de incentivo o sanción de carga y descarga.

En esta memoria se considera sólo cierta cantidad de modelos de vehículos a ser simulados, ya que muchos de ellos presentan características similares. Se tendrá una cantidad reducida de vehículos los cuales corresponden a los VE más utilizados en Chile. Junto a esto, se consideran cargadores que permitan la carga lenta y rápida máxima de los vehículos, se asumen patrones de conducción fijos para simplificar el estado de carga de las baterías y también se considera que cierto porcentaje arbitrario de usuarios obedecerán los horarios impuestos por la distribuidora. Estos

patrones se basan en encuestas realizados a dueños de VE y algunos son asumidos debido a la falta de información o la confidencialidad de esta.

Esta memoria no considera la reconversión de vehículos de combustión interna en vehículos eléctricos, sino que toma un pronóstico de la penetración de VE al año 2050 y estima la demanda total generada por ciertos vehículos particulares y de transporte público.

## **1.6. Temario y Metodología**

En el capítulo 1 se entrega información general de esta memoria; se realiza una introducción y una revisión del estado del arte; se presenta la hipótesis de trabajo y se plantean los objetivos a tratar.

En el capítulo 2 se establece el marco teórico con el que se trabaja en esta memoria y se estudia sobre los aspectos y características importantes de los VE y su forma de carga. También se define como opera el sistema de distribución y se presentan distintos esquemas tarifarios. En específico, se resalta la existencia de tarifas exclusivas para la carga de VE.

En el capítulo 3 se despliega información sobre la situación actual del país con respecto a la inclusión de VE y se revisa la normativa y las metas actuales del Estado. Además, se verifican los pronósticos de penetración de VE en el mercado y se eligen los modelos de vehículos a tratar durante el desarrollo de esta memoria.

En el capítulo 4 se plantean los modelos de carga y descarga con los que se trabaja en esta memoria. Además, se trabaja la información obtenida en cuanto a la circulación de los vehículos en la actualidad y se establecen patrones de comportamiento con los que se modelará la carga de los EV.

En el capítulo 5 se establecen los perfiles de demanda de los VE a trabajar, tanto particulares como públicos, en base a los patrones y los pronósticos de penetración establecidos previamente. Junto a lo anterior, se presentan los algoritmos de agrupamiento que permitirán clasificar las curvas y los perfiles de demanda de la ciudad de Osorno entregados por SAESA.

En el capítulo 6 se trabajan las mediciones de cuatro alimentadores de la ciudad de Osorno con los algoritmos de agrupamiento; se presentan los horarios en los cuales sería óptimo que los VE realicen su carga; se suma a la demanda base de la localidad la demanda sin gestionar estimada y se presentan mejoras a los horarios previamente establecidos.

En el capítulo 7 se realizan simulaciones de la carga de los vehículos bajo los esquemas horarios y se comparan con un caso base; y se realizan simulaciones para encontrar el límite de la capacidad de la red de media tensión. Estas simulaciones se realizan mediante un modelo de la red de media tensión de Osorno en DigSilent PowerFactory. Se presentan resultados sobre congestiones en

las líneas y transformadores de distribución; y además, se demuestran las ventajas de que los vehículos desplacen su demanda para aliviar el estrés de la red.

El capítulo 8 corresponde a las conclusiones de todo el estudio realizado, dando un sumario del trabajo y opciones de trabajo a futuro.



## Capítulo 2. Marco Teórico

---

### 2.1. Vehículos y carga de baterías

#### 2.1.1 Vehículos eléctricos

Además de los vehículos convencionales o de motor de combustión interna existen vehículos eléctricos de distintos tipos. Entre los VE se encuentran los listados a continuación.

##### A. *Vehículos eléctricos puros (BEV)*

Los BEV son vehículos cuyo motor es alimentado sólo con baterías, las cuales son recargadas al ser enchufadas a una toma de corriente o cargador eléctrico. Estos poseen distintas capacidades de batería y modo de carga, con lo cual su autonomía y tiempo de recarga depende del modelo de vehículo [13].

##### B. *Vehículos Híbridos Convencionales (HEV)*

Estos vehículos tienen dos motores que los impulsan. Uno de estos es un motor a combustión y el otro es un motor eléctrico. El motor eléctrico es alimentado a través de baterías, las cuales se recargan a través del motor de combustión interna. El vehículo es principalmente impulsado por el motor de combustión interna y el motor eléctrico es auxiliar [13].

##### C. *Vehículos Híbridos Enchufables (PHEV)*

Al igual que los vehículos híbridos convencionales estos contienen dos motores, uno de combustión y otro eléctrico. La diferencia radica en que las baterías pueden ser recargadas por el motor de combustión interna y por la conexión del vehículo a la red eléctrica [14].

##### D. *Vehículos con inyección a la red (V2G)*

Estos son VE que pueden realizar inyecciones de energía a la red a través de un cargador bidireccional; lo que significa que el automóvil es usado como un sistema de almacenamiento mientras se encuentra en reposo. Estos vehículos no están limitados a entregar energía a la red, puesto que también pueden entregar la energía a una casa (V2H), a otro VE (V2V), a un edificio (V2B) y, en general, a cualquier sistema que lo permita (V2X) [15].

De los tipos de vehículos mencionados los que causan mayor impacto en la red son los vehículos puramente eléctricos, puesto que la capacidad de la batería de estos es mayor que la de los híbridos y exigen cargas recurrentes, las cuales pueden ser de baja o muy alta potencia.

### 2.1.2 Sistema de carga

La conexión del vehículo puede realizarse a través de la conexión a corriente alterna o corriente continua [16], lo cual es de suma importancia, ya que estas cargas tienen distintos límites de potencia de carga. La Figura 2-1 muestra la conexión a las baterías para la carga en AC o DC. La diferencia entre estos tipos de carga se explica a continuación.

#### A. Carga en corriente alterna (AC)

Si la carga del vehículo es en corriente alterna esta debe pasar por un convertidor AC/DC incorporado en el vehículo. Esta carga se caracteriza por ser más lenta que la carga en corriente continua y la potencia con la que carga el vehículo depende netamente del convertidor y la capacidad del cargador. Dichos convertidores pueden tener potencias entre los 3 [kW] y 22 [kW].

#### B. Carga en corriente continua (DC)

La carga en corriente continua se realiza a través de un enchufe dedicado. En este caso el convertidor AC/DC se encuentra en el cargador, por lo que está al exterior del vehículo. Esta carga se caracteriza por ser rápida, puesto que la limitante de potencia está dada por la disponibilidad de potencia en el cargador externo y por las características de la batería del vehículo, como sería la capacidad de disipación térmica.

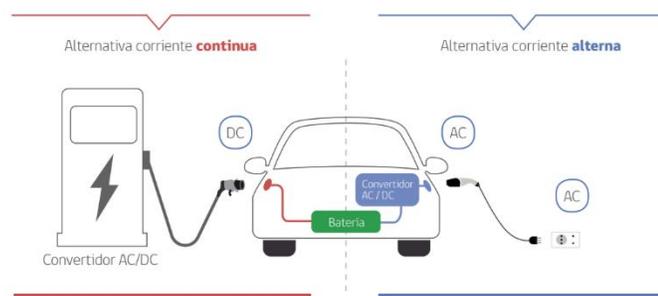


Figura 2-1: Carga AC o DC de un vehículo eléctrico [16].

### 2.1.3 Modos de Carga

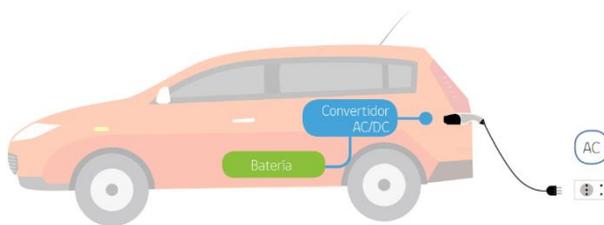
Para que un vehículo pueda recargar sus baterías debe ser conectado a la red eléctrica. Actualmente existen cuatro modos de carga dependiendo de las capacidades del vehículo, del cargador

al cual se conecta y de la potencia a la que se somete [16].

### A. *Modo de carga 1*

El primer modo de carga es conocido como carga convencional o lenta, la cual es realizada comúnmente en el hogar. Se realiza a través de un enchufe no dedicado para la carga de un VE, es decir, se conecta directamente a una toma de corriente alterna común de cualquier instalación, por lo que se debe utilizar el convertidor AC/DC incorporado en el vehículo. El cable utilizado no contiene protecciones ni sistemas de control. La Figura 2-2 muestra cómo se realiza la carga bajo estas condiciones.

Esta carga alcanza potencias entre 1,1 a 3,3 [kW] y corrientes de hasta 10 [A]. Por su naturaleza, se estima que la carga de un vehículo puede llegar a durar entre 6 y 10 horas.

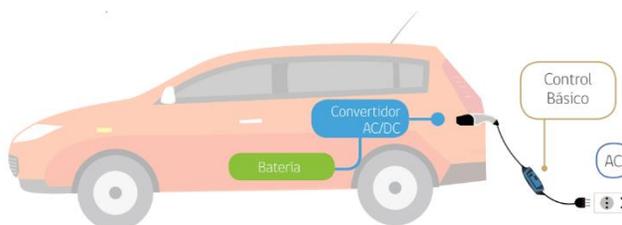


**Figura 2-2: Modo de carga 1 [16].**

### B. *Modo de carga 2*

El segundo modo de carga se conoce como carga normal. Al igual que en el modo de carga 1, este se realiza a través de la conexión del vehículo con una toma de corriente alterna estándar, con la diferencia de que esta puede ser tanto monofásica como trifásica y el cable con el que se realiza la conexión incorpora protección y un sistema de control de carga. En la Figura 2-3 se visualiza la conexión con un cable especializado.

La potencia de recarga que alcanza el vehículo llega hasta los 3 [kW] si la conexión es monofásica, y en caso de ser trifásica se logran potencias de hasta 11 [kW].

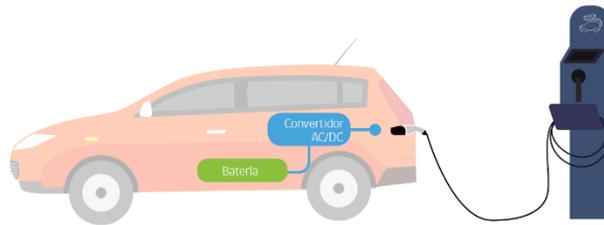


**Figura 2-3: Modo de Carga 2 [16].**

### C. *Modo de carga 3*

El tercer modo de carga es conocido como carga semirápida. Esta es una carga en corriente alterna y la conexión del vehículo con la red se realiza por un enchufe dedicado, el cual es un cargador tipo caja de pared o tipo poste. La conexión con el cargador es realizada por medio de un cable especial; el cargador tiene incorporado un sistema inteligente de gestión de carga que se comunica con el vehículo y posee sistemas de seguridad que no permiten que exista tensión en el cable hasta que el cargador esté debidamente conectado. La Figura 2-4 muestra la conexión de un vehículo a un cargador tipo poste.

La carga se realiza a través del convertidor AC/DC del vehículo y, gracias al cargador dedicado, se alcanzan potencias de carga de hasta 44 [kW] en conexiones trifásicas.

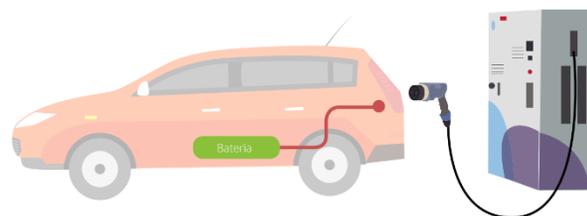


**Figura 2-4: Modo de Carga 3 [16].**

### D. *Modo de carga 4*

El cuarto modo de carga es conocido como carga rápida. La carga se realiza en corriente continua y, por lo tanto, la conexión es directa con las baterías del vehículo. El cargador externo contiene un convertidor AC/DC, el cual es de mayor potencia que los convertidores incorporados en los vehículos, razón por la cual la carga sólo está limitada por la potencia del cargador y la capacidad de las baterías. Esta carga está destinada a detenciones cortas, por lo que sólo se realiza en lugares públicos, como estaciones de carga rápida. La Figura 2-5 muestra la conexión del vehículo a un cargador externo y cómo este se conecta directamente a las baterías.

La potencia que puede ser proveída por estos cargadores alcanza los cientos de kilowatts. Debido a esto, un vehículo puede cargar el 80 % de sus baterías en menos de 30 minutos.



**Figura 2-5: Modo de Carga 4 [16].**

## 2.1.4 Tipos de conectores

Los conectores que permiten la carga de energía con la red son de distinto tipo. Estos dependen del modelo del vehículo al cual se conectan y también del modo de carga al cual están destinados. Cada uno de ellos tiene un rango de potencia y una forma de comunicarse con el vehículo [17]. Los conectores utilizados actualmente se muestran en la Figura 2-6, donde se especifica su funcionamiento para cargas en AC o DC. Algunos de estos están adaptados para que puedan ser utilizados en AC y DC.

<b>CA</b> Conectores para corriente alterna	 Schuko	 Tipo 1 (J1772)	 Tipo 2 (Mennekes)	 GB/T	 TESLA
<b>CC</b> Conectores para corriente continua	 CCS	 CCS2	 CHAdeMO	 GB/T	 TESLA

Figura 2-6: Tipos de conectores según modo de carga en AC y DC [18].

## 2.1.5 Tecnología de cargadores de vehículos

Como se ha mencionado en 2.1.3, existen distintos tipos de cargadores que pueden satisfacer la demanda de los VE. Con respecto a los cargadores residenciales existen aplicaciones para teléfonos que permiten controlar la carga del vehículo. Estos permiten programar horarios de carga o descarga según las necesidades del usuario. Como ejemplo se tienen los cargadores vendidos por la empresa ChargePoint [19] o los cargadores comercializados por la empresa de automóviles eléctricos Tesla [20].

Para poder permitir la inyección de energía por parte del vehículo a la red, conocido como V2G, los cargadores necesitan ser bidireccionales. La bidireccionalidad permite convertir la energía almacenada en las baterías del VE a corriente alterna para ser entregada a la red. Modelos de vehículo como el Nissan Leaf permiten este tipo de inyecciones y la potencia suministrada es controlada mediante su aplicación para móviles llamada NissanConnect EV [21].

La característica principal de los cargadores en DC o rápidos es que estos pueden llegar a proveer grandes potencias. Esto lleva a que los dueños de los cargadores deban realizar contratos por dichas potencias. Una solución para las redes que son débiles o para reducir costos asociados a grandes potencias contratadas son los cargadores que poseen un sistema de almacenamiento de baterías, como

son los cargadores *Boost Charger* comercializados por la empresa FreeWire. Estos cargadores se conectan a la red de distribución y consumen energía en baja potencia para cargar las baterías internas hasta completar su capacidad (para el modelo Boost Charger 150 utiliza 27 [kW] y almacena 160 [kWh]).

Cuando un VE se conecta al cargador las baterías pueden proveer hasta 150 [kW] de potencia o pueden cargar dos vehículos de forma paralela con 75 [kW] cada uno, mientras que de la red sólo se utilizan 27 [kW] [22].

## 2.2. Perfil de Demanda.

Los consumos energéticos se pueden clasificar en curvas de demanda, las cuales son una representación gráfica de cómo varía la demanda según el tiempo. Estas curvas relacionan un periodo de tiempo de consumo con la potencia utilizada durante dicho periodo. Un ejemplo de un perfil de demanda se puede apreciar en la Figura 2-7, donde se grafica una demanda durante un día completo.

De las curvas de demanda se puede extraer información; como la demanda promedio existente en el periodo de tiempo comprendido, la demanda máxima y mínima del objeto de estudio y la energía consumida durante cierto lapso.



**Figura 2-7: Ejemplo de un perfil de demanda (Elaboración Propia).**

Estas demandas pueden clasificarse según patrones de consumo, puesto que los clientes presentan características similares. Estos patrones de consumo se conocen como perfiles de carga típicos. Usualmente se puede clasificar a los clientes como residenciales, comerciales e industriales.

La demanda también depende de la estación del año, puesto que históricamente se pueden diferenciar los perfiles de demanda dados en verano y en invierno.

## 2.3. Sistema de distribución y manejo de la demanda

### 2.3.1 Sistema de Distribución

El sistema eléctrico se separa en tres actividades: la generación de energía, el transporte de esta a subestaciones y la distribución, la cual hace posible que llegue la energía a los clientes finales [23].

Los sistemas de distribución están ubicados en las cercanías o dentro de las ciudades o áreas industriales. Estos reciben la energía de un sistema de transmisión en alto voltaje que, luego, es disminuido a través de transformadores [24].

El sistema de distribución es un conjunto de instalaciones cuyo propósito es transmitir la energía eléctrica desde el proveedor a los clientes. Esto incluye las líneas, transformadores de distribución, alimentadores, subestaciones, etc.

La red de distribución puede ser clasificada en dos grupos: la red de distribución primaria y la red de distribución secundaria. La red de distribución primaria es la parte de la red que opera a un voltaje mayor que la red de distribución secundaria y está destinada, principalmente, a alimentar fabricas o industrias; además de alimentar pequeñas subestaciones que, a su vez, alimentan al sistema de distribución secundario. En Chile el voltaje nominal de la red secundaria tiene un valor nominal de 23 [kV] o inferior [25].

La red de distribución secundaria alimenta principalmente a los clientes residenciales, donde en Chile el voltaje por fase de es 220 [V]. También es posible tener una alimentación trifásica de 380 [V].

### 2.3.2 Gestión de demanda (DSM)

La gestión de demanda “*Demand Side Management*” (DSM) es una estrategia utilizada por las compañías eléctricas cuyo fin es el control de la demanda eléctrica de los consumidores, modificando su nivel y patrón de consumo a través de incentivos y/o sanciones [26]. Esto puede incluir precios elevados cuando el consumo es mayor y precios reducidos cuando el consumo es bajo [27].

El objetivo es que los consumos previamente realizados en horas de mayor demanda sean desplazados a periodos donde la demanda es menor, como las horas nocturnas. Esto aplana la curva de demanda y mejora el uso dado al sistema de distribución [28].

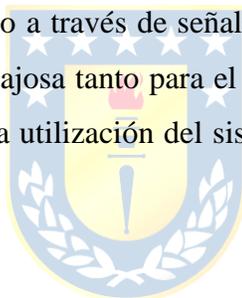
Las ventajas de este sistema son tanto para los clientes como para los proveedores. Entre estas ventajas están:

- Reducción de los precios del mercado, ya que las unidades auxiliares de mayor costo no actúan tan frecuentemente por la reducción de picos de demanda.
- Reducción de costo de la red eléctrica.
- Aumento de la confiabilidad de la red.
- Clientes ahorran dinero en su consumo al existir tarifas por diferenciación horaria.
- Beneficios al medio ambiente, puesto que se puede incentivar el consumo cuando se produce energía con fuentes renovables.

Entre las estrategias existentes para la gestión de la demanda se encuentran los esquemas tarifarios.

## 2.4. Tarifas eléctricas

Las tarifas eléctricas son un ejemplo de la gestión de la demanda desde el lado de los clientes. Estas incentivan o sancionan el consumo a través de señales de precios en ciertas horas del día. El objetivo es que esta regulación sea ventajosa tanto para el cliente como para la red, así los clientes podrían abaratar costos y se mejoraría la utilización del sistema de distribución. A continuación, se listan algunos tipos de tarifas [29] [30].



### 2.4.1 Tarifa TOU (*Time-of-Use*)

La tarifa de tiempo de uso designa ciertos periodos horarios de consumo, los cuales se clasifican comúnmente como horas valles, horas planas y horas punta. Es posible definir periodos de sólo dos clasificaciones, como horas de valle y punta, o de más de tres periodos, como sería la definición de horas extremadamente de punta o extremadamente de valle. Esta división de periodos no necesariamente es fija, es decir, puede cambiar según la época del año o diariamente según sea la necesidad de la distribuidora.

### 2.4.2 Tarifa CCP (*Critical Peak Pricing*)

La tarifa CCP consiste en asignar un precio específico en las horas donde la demanda es exagerada con el fin de reducir inmediatamente el consumo de los clientes. Esta tarifa puede ser complementaria a una tarifa TOU y no necesariamente está presente cada día, sino que puede actuar como un mecanismo de emergencia para sancionar el uso indebido de la red en momentos donde la demanda máxima alcanza valores excepcionales.

### **2.4.3 Tarifa RTP (*Real Time Pricing*)**

La tarifa de asignación de precio en tiempo real señala precios por cada hora del día, los cuales varían cada día. Esto se realiza prediciendo la demanda en tiempo real y enviando las señales de precios a los clientes.

### **2.4.4 Tarifa Net Billing**

Las tarifas Net Billing permiten que los clientes autogeneren su propia energía y que la energía que no ocupen se pueda inyectar a la red, recibiendo una remuneración monetaria con respecto a su aporte de energía.

## **2.5. Tarifas eléctricas en Chile**

La Comisión Nacional de Energía, CNE, distingue cuatro tarifas distintas, las cuales son elegidas libremente por los clientes finales. Dichas tarifas difieren la manera en que se les cobra la demanda de energía y algunas presentan precios por consumo en horas de punta. Además, algunas de ellas se destinan para clientes residenciales y no residenciales. Estas tarifas se diferencian en BT y AT, donde BT corresponde a voltajes hasta 400 [V] y AT, sobre los 400 [V].

Se destaca la existencia de las horas de punta entregadas por el Ministerio de Energía en conjunto a la Comisión Nacional de Energía. Estas horas de punta corresponden a horas de mayor consumo de electricidad y se aplican para los meses de abril a septiembre en algunos esquemas tarifarios con el fin de sancionar el sobreconsumo en potencia, disminuir la carga del sistema y mejorar el funcionamiento de este. Las horas de punta del año 2021 se contemplaron desde las 18:00 a las 22:00 horas; este mismo horario se contempla para el año 2022 [31].

A continuación, se listan las tarifas establecidas por la CNE a las cuales pueden optar los clientes [32].

### **2.5.1 Tarifa BT1a y BT1b.**

Tarifa destinada a clientes residenciales con una potencia conectada menor o igual a 10 [kW], la cual sólo mide la energía consumida por el cliente y con esta medición se realiza el cobro. Además, incluye un cobro fijo mensual, y para BT1a presenta un cobro por consumo de energía adicional entre los meses de abril a septiembre si el cliente supera el límite de invierno y su consumo es mayor a 430 [kWh]. Para BT1b, si su demanda máxima se produce en meses que no tienen hora de punta, el cobro de invierno es igual a la energía consumida.

### **2.5.2 Tarifa TRAT1**

Esta tarifa es equivalente a la tarifa BT1, pero para clientes residenciales en alta tensión.

### **2.5.3 Tarifa TRBT2 y TRAT2.**

Tarifas destinadas a clientes residenciales con una potencia conectada menor o igual a 10 [kW]. Se cobra la potencia promedio de las 52 demandas más altas en horas de punta de los últimos 12 meses. También se cobra la demanda máxima correspondiente al promedio de las dos demandas más altas de los últimos 12 meses. Para las horas de punta se cobra la demanda máxima leída en horas de punta mensual en meses que contengan horas de punta y durante los meses sin hora de punta se cobra el promedio de las dos mayores demandas en hora de punta de los meses que contienen horas de punta.

### **2.5.4 Tarifa TRBT3 y TRAT3**

Estas tarifas son equivalentes a las tarifas TRBT2 y TRAT2, pero para clientes residenciales con potencias conectadas mayores a 10 [kW].

### **2.5.5 Tarifa BT2 y AT2**

Estas tarifas están destinadas a clientes no residenciales y separan los cobros entre energía consumida y potencia contratada. Esta última no se puede cambiar en un periodo de 12 meses.

### **2.5.6 Tarifa BT3 y AT3**

Estas tarifas, destinadas a clientes no residenciales, realizan cobros por energía consumida y potencia máxima leída. La potencia máxima corresponde al valor más alto entre la potencia leída del mes con el promedio de las dos potencias máximas leídas en los meses que tengan horas de punta.

### **2.5.7 Tarifa BT4 y AT4**

Estos esquemas tarifarios, destinados a clientes no residenciales, presentan cobros por la energía consumida, la demanda máxima del mes y por la potencia en horas de punta. Esta tarifa presenta una diferenciación según si la energía, potencia máxima y potencia en horas de punta son medidas o contratadas.

## 2.5.8 Tarifa BT5 y AT5

Estas tarifas son equivalentes a las tarifas TRBT2 y TRAT2, pero destinadas a clientes no residenciales.

## 2.6. Tarifas eléctricas exclusivas de VE

Distintos países han implementado ciertas tarifas exclusivas de VE tanto para la carga residencial como para la carga pública. La mayoría de estas tarifas son de tipo TOU. A continuación, se listan algunas de estas tarifas disponibles.

### 2.6.1 Tarifas de VE para la carga residencial

#### A. Empresa SOUTHERN CALIFORNIA EDISON

La empresa *SOUTHERN CALIFORNIA EDISON* presenta la tarifa TOU-D-PRIME, la cual pide como requisito tener un VE. Esta es destinada para la carga de los VE y posee una diferenciación de costo en ciertos horarios, los cuales varían según la estación del año, específicamente si es verano o invierno [33]. La Figura 2-8 muestra los cobros que se utilizan actualmente, donde la energía en horas de mayor consumo llega a ser 2,57 veces mayor que en las horas de menor consumo.

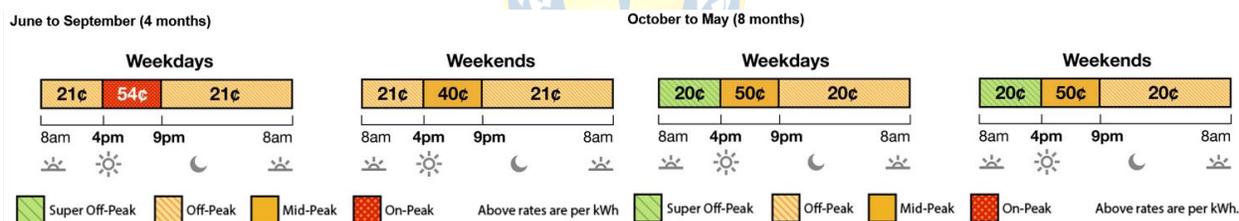


Figura 2-8: Tarifas de Southern California Edison para VE de verano e invierno [33].

#### B. Empresa PG&E

La empresa *PG&E*, del norte de California, presenta dos tarifas para la carga de los VE. Una de estas contempla el uso del mismo medidor para la casa y para el cargador del VE, llamada tarifa EV2-A, y la otra tarifa contempla un medidor separado para el cargador del VE, llamada tarifa EV-B [34].

Esta última, además de hacer una diferencia horaria, tiene una diferenciación entre día hábil y día festivo. La tarifa y sus cobros se pueden ver en la Figura 2-9.



**Figura 2-9: Tarifa EV-B para la carga de VE dada por PG&E [34].**

Los cobros por energía relacionados a las horas de mayor consumo llegan a ser 2.4 veces mayores que los realizados en horas de menor consumo.

## 2.6.2 Tarifas de VE para la carga pública

### A. Empresa EVgo

La empresa EVgo ha implementado desde septiembre de 2021 un plan de cobro tarifario según la hora de uso de los cargadores públicos de California. Esto es debido a que la red eléctrica de EVgo presenta cierta congestión en algunos horarios del día y porque se desea desplazar las cargas en horarios donde exista una mayor generación de electricidad mediante energía solar.

EVgo está probando en la ciudad de California, Estados Unidos, si usar una tarifa TOU en los cargadores es una solución al problema y, posiblemente, lleve este plan tarifario a otros estados según los resultados observados [35].

Los horarios elegidos para este cobro se encuentran en la Figura 2-10.



**Figura 2-10: Horarios y precios para cargadores de EVgo en la ciudad de California [35].**

La Figura 2-10 muestra que los cobros de energía son mayores entre las 16:00 y 21:00 horas. Por lo tanto, se puede deducir que este es el horario donde hay mayor uso de cargadores públicos,

puesto que corresponde al horario de salida común de trabajadores o de vuelta a casa como se verá en la sección 4.2.

### **B. Empresa Seattle City Light**

La distribuidora Seattle City Light ubicada en Washington, Estados Unidos, ha puesto en marcha un programa con el cual los cargadores públicos de VE tengan una tarifa distinta según el horario en que se cargan. Esto se hace mediante un cobro por kilowatt-hora diferenciando los cargadores rápidos de los lentos [36]. Estos precios se pueden ver en la Figura 2-11.

<b>EV FAST CHARGER</b>	<b>DAYTIME</b> (Mon-Sat, 7 am-7 pm)	<b>ALL OTHER HOURS</b>
SEATTLE	\$0.3300/kWh	\$0.1982/kWh
TUKWILA	\$0.3556/kWh	\$0.2135/kWh
BURIEN	\$0.3564/kWh	\$0.2140/kWh
SHORELINE	\$0.3564/kWh	\$0.2140/kWh

<b>LEVEL 2 CHARGER</b>	<b>ALL HOURS</b>
SEATTLE	\$0.1953/kWh
TUKWILA	\$0.2105/kWh
SHORELINE	\$0.2110/kWh

**Figura 2-11: Tarifas públicas de carga de VE dadas por Seattle City Light [36].**

Para los cargadores rápidos se tiene que el cobro es menor en horas nocturnas. Este llega a ser un 40 % más barato que en horas diurnas. Los cargadores normales tienen un precio fijo sin diferenciación horaria.

## Capítulo 3. Vehículos eléctricos en Chile

### 3.1. Introducción

Este capítulo aborda información sobre los vehículos existentes y los más usados en el país, así como los pronósticos que se tienen en cuanto a la penetración que tendrán estos en el mercado. También se definen los vehículos que se comprenden en el estudio de esta memoria.

### 3.2. Normativa Chilena

Las medidas frente al cambio climático incluyen la adopción de nuevas tecnologías para disminuir el impacto en el medio ambiente. Entre dichas medidas se tiene la incorporación de vehículos cuyas emisiones de CO<sub>2</sub> sean mínimas, como son los VE. En el caso de Chile un tercio del consumo energético se destina al transporte y de este tercio el 98 % corresponde a energía derivada del petróleo, por lo que este sector contribuye en un 20 % a la emisión de gases de invernadero [37]. Para enfrentar este problema el Estado de Chile presentó en el año 2021 la estrategia nacional de electromovilidad, la cual establece que al año 2035 todos los automóviles en venta deben ser cero emisiones [38]. La estrategia nacional de electromovilidad incluye entre sus metas los objetivos presentes en la Figura 3-1.

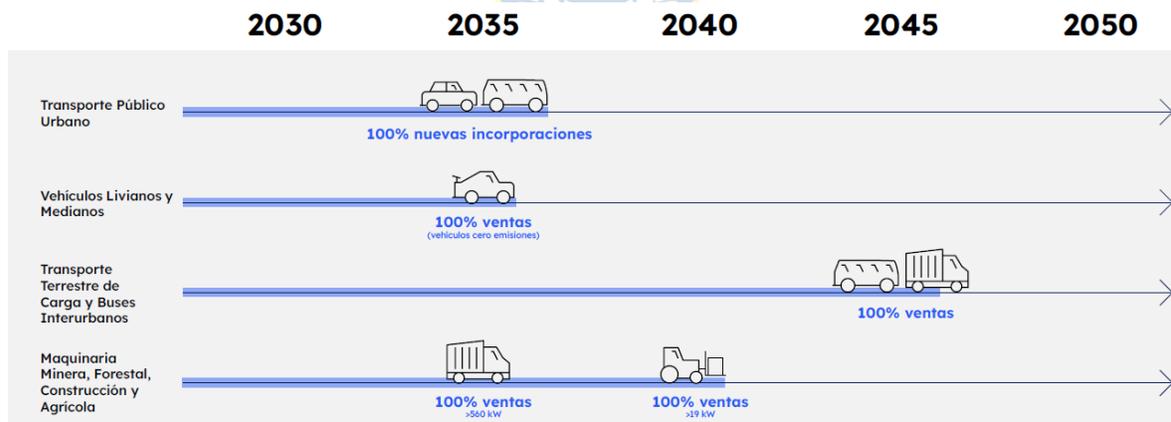


Figura 3-1: Metas de electromovilidad [1].

Las metas contemplan que al año 2035 el 100 % de las ventas de los vehículos de transporte público (por ejemplo, buses y taxis) y el 100 % de las ventas de maquinaria mayor (como camiones de extracción y maquinaria pesada minera) sean cero emisiones; que al año 2040 el 100 % de las ventas de maquinaria menor (como máquinas de construcción y agrícolas) sean cero emisiones; y que al año 2045 el 100 % de las ventas de transporte de carga y buses interurbanos sean cero emisiones.

En el mismo ámbito el Estado está desarrollando actualmente algunos planes para lograr la transición. Entre dichos planes está el programa “Mi taxi eléctrico”, el cual busca promover y apoyar a que dueños de taxis para que puedan cambiar su vehículo por uno eléctrico. Esto cubre el costo completo de un cargador residencial y su instalación, además de un cofinanciamiento para adquirir el VE [39].

El Estado se encuentra trabajando en una futura ley de conversión de vehículos de combustión interna a VE, puesto que la actual normativa no permite el recambio de un vehículo y realizar la homologación [40]. Sin embargo, es posible realizar la conversión de vehículos que circulen por calles privadas. Movener y Reborn Electric son algunas empresas chilenas capaces de realizar una conversión [41].

En relación con el transporte público, el Estado ha impulsado la incorporación de buses eléctricos en el país. El ministerio de Transporte y Telecomunicaciones ha realizado las gestiones para que puedan circular los buses eléctricos, convirtiendo a Santiago en la ciudad con más transporte público eléctrico del mundo luego de las ciudades Chinas [42].

Con respecto a la inclusión de la tecnología V2G existe una ley llamada “Promueve el almacenamiento de energía eléctrica y la electromovilidad”. Esta ley fue fomentada por el Ministerio de Energía, el Ministerio de Hacienda y el Ministerio de Interior y Seguridad Pública, y establece que a los vehículos con posibilidad de inyectar energía se les permita funcionar como sistemas de almacenamiento y que se remunere a aquellos usuarios que realicen un aporte energético con sus vehículos [43].

Actualmente la Agencia SE y el Ministerio de Energía, en conjunto con Nissan y EnelX, están trabajando para presentar un prototipo de cargador V2G. El automóvil elegido para implementar la carga bidireccional es el Nissan Leaf [44].

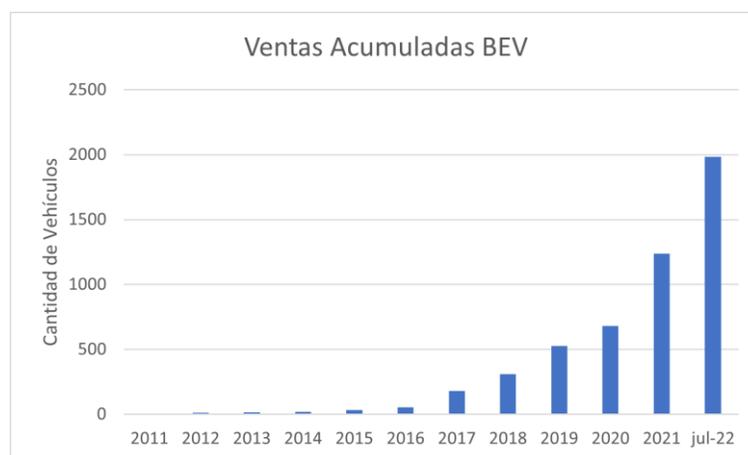
### **3.3. Vehículos eléctricos actuales**

La cantidad existente de VE en el país es pequeña en comparación con los vehículos convencionales, sin embargo, debido a los incentivos dados por el Estado, la conciencia por el cambio climático y otros factores se ve un rápido crecimiento en la incorporación de VE en los últimos años.

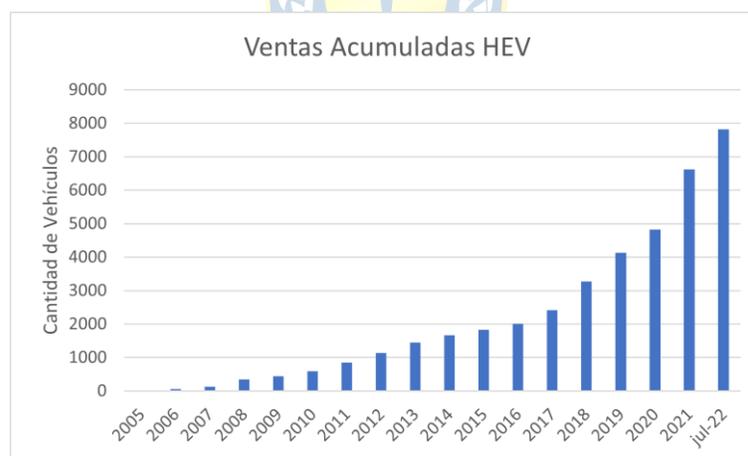
Según la información presente en los informes del mercado automotor, dados por ANAC en conjunto con los informes de ventas de vehículos cero y bajas emisiones, se tienen las siguientes cantidades de VE en el país [45] [46]:

- Desde 2011 hasta julio de 2022 se tienen en total 1.983 vehículos puramente eléctricos.
- Desde 2005 hasta julio de 2022 se tienen en total 7.816 vehículos híbridos.
- Desde 2014 hasta julio de 2022 se tienen en total 876 vehículos híbridos enchufables.

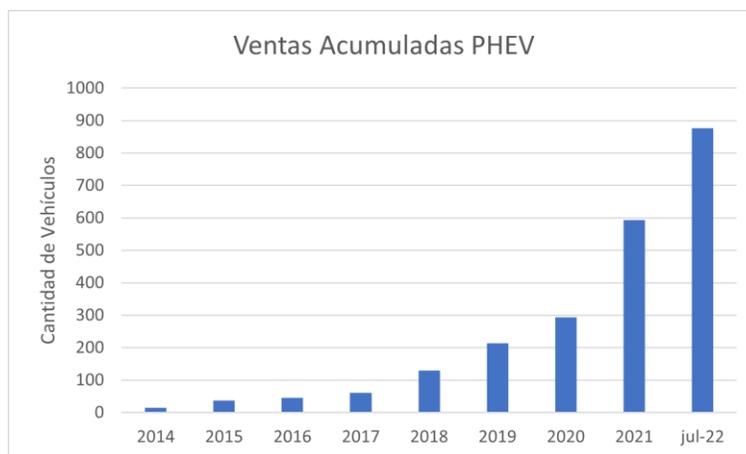
Las Figura 3-2, Figura 3-3 y Figura 3-4 muestran el crecimiento en el tiempo de la incorporación de los vehículos anteriormente mencionados.



**Figura 3-2: Ventas acumuladas de BEV (Elaboración propia).**



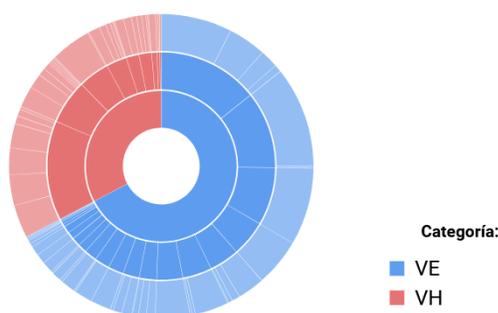
**Figura 3-3: Ventas acumuladas de HEV (Elaboración propia).**



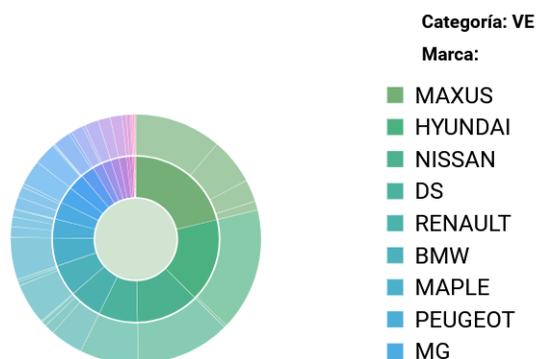
**Figura 3-4: Ventas acumuladas PHEV (Elaboración propia).**

Como se puede notar, desde la Figura 3-2 a la Figura 3-4, el crecimiento del parque automotriz de bajas emisiones es progresivo y en el año 2022 presenta aumentos significativos. A pesar de que sólo se contemplan los primeros siete meses del año, los vehículos puramente eléctricos vendidos hasta julio representan un 60 % de los vehículos existentes hasta 2021. Así mismo, los vehículos híbridos vendidos en 2022 representan el 15 % de los vehículos existentes hasta 2021 y los vehículos híbridos enchufables vendidos en 2022 representan un 35 % de los vehículos existentes hasta 2021.

La Agencia de Sostenibilidad Energética, a través de su página dedicada a electromovilidad, entrega una base de datos útil para visualizar la cantidad existente de vehículos de bajas y cero emisiones. Estos datos proveen las marcas y los modelos populares, así como la cantidad de BEV y PHEV actuales [47]. La Figura 3-5 presenta un gráfico circular con la cantidad de BEV y PHEV presentes en el país, mientras que la Figura 3-6 muestra la cantidad de vehículos puramente eléctricos que hay en el país según marca y modelo.



**Figura 3-5: Gráfico representativo de cada marca y modelo de vehículo BEV y PHEV existente en Chile [47].**



**Figura 3-6: Gráfico representativo de cada marca y modelo de vehículo puramente eléctrico en Chile [47].**

La Figura 3-5 muestra una mayor tendencia por la elección de vehículos BEV antes que PHEV. La información mostrada en este gráfico sólo considera estos tipos de vehículos puesto que sólo estos son los modelos que pueden interactuar con la red y que exigen la existencia de cargadores.

De la Figura 3-6 se puede visualizar una tendencia por ciertos modelos de vehículos eléctricos BEV. Entre los modelos mayormente elegidos se encuentran los automóviles Maxus (21 % del total), Hyundai (16 % del total), Nissan (12 % del total) y DS (8 % del total). En particular, para vehículos de pasajeros los modelos con mayores ventas son Nissan Leaf, Hyundai Ioniq y DS Crossback. Para vehículos comerciales el modelo con mayor venta es el Maxus EV 30.

Por otra parte, según el informe dado por la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, al cierre del 2021 la flota de buses eléctricos del país alcanzaba la cantidad de 784 [48]. A esta cantidad se le sumarán 992 buses correspondientes al modelo FOTON U12 dentro de los años 2022 y 2023 [49]. Entre las marcas de buses actuales se tiene que corresponden a buses BYD, YUTONG, FOTON y ZHONGTONG.

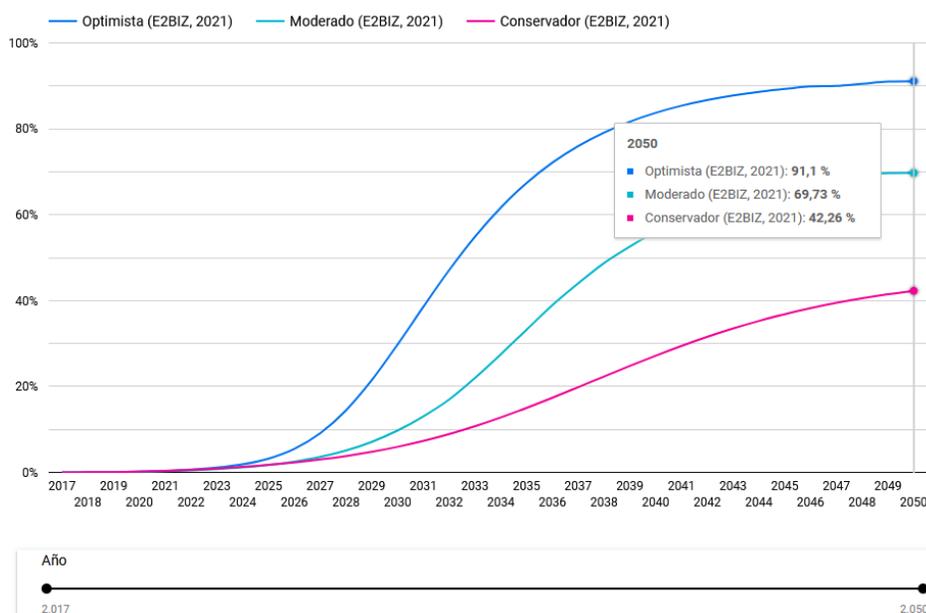
### 3.4. Pronósticos de Crecimiento

Dada la necesidad de cambiar los vehículos de combustión interna por vehículos de baja y cero emisiones, además de las políticas que han promovido el cambio a estas nuevas tecnologías, se han realizado estudios para contemplar y dimensionar la cantidad de automóviles eléctricos que estarán presentes en el territorio chileno.

La estrategia nacional de electromovilidad establece entre sus metas que al año 2050 el 40 % del total de VE particulares y el 100 % del transporte público sean eléctricos [1]. Desde otra perspectiva, el informe titulado “Diagnóstico del uso esperado del sistema de transmisión”, en la Propuesta de expansión de la transmisión 2021 realizada por el coordinador eléctrico nacional, al año

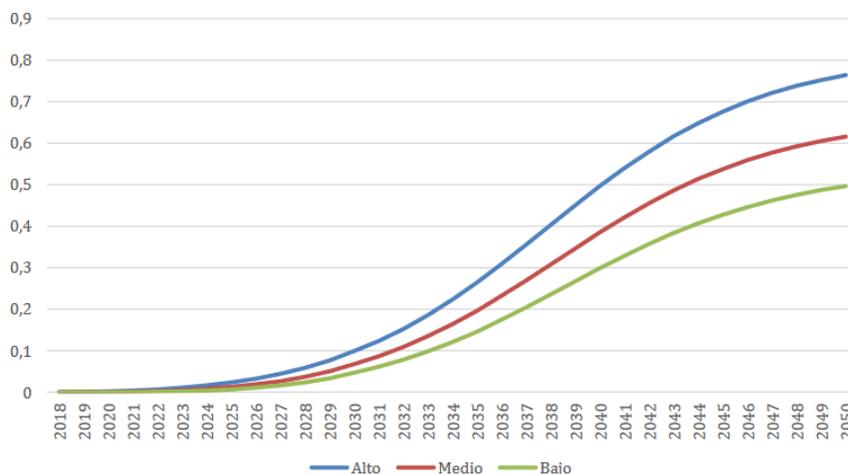
2040 existirán en circulación en Chile cerca de un millón de autos eléctricos, correspondientes al 14,7% del parque automotriz, con un consumo estimado de 1,9 [TWh] [50].

Según las proyecciones manejadas por la Agencia SE, a través de un estudio realizado por la empresa E2BIZ, para el año 2050 se tienen tres posibles casos: 1) en su proyección conservadora se espera un 42,26 % de ventas de vehículos con respecto al total, 2) en la proyección moderada se espera un 69,73 % de penetración en ventas, 3) y en el caso optimista se espera un 91,1 % de penetración en ventas [47]. En la Figura 3-7 es posible observar lo anterior.



**Figura 3-7: Proyecciones de vehículos eléctricos dados por E2BIZ [47].**

La misma empresa E2BIZ entrega en el informe llamado “Consultoría para el análisis de modelos de cambio tecnológico para la proyección de emisiones de GEI en escenarios de electrificación vehicular” un pronóstico de la penetración de VE a nivel nacional al año 2050 [51]. En dicho informe, donde se presenta la Figura 3-8, se establecen 3 posibles casos de penetración de EV: 1) el caso bajo indica un 50 % de penetración, 2) el caso moderado, un 62 % de penetración y 3) el caso alto muestra un 76 % de penetración.



**Figura 3-8: Curvas de penetración de vehículos eléctricos para distintos parámetros de sensibilidad [51].**

Luego de presentar este análisis, la empresa recomienda el uso del pronóstico medio de 62%. Por esta razón, esta memoria utiliza dicho porcentaje de penetración.

### 3.5. Especificaciones técnicas

Los automóviles presentan diferencias en cuanto a su capacidad de batería, potencia máxima de carga, autonomía, rendimiento, entre otros tópicos.

Para esta memoria los automóviles de pasajeros elegidos para el estudio a desarrollar son Nissan Leaf, Hyundai Ioniq y DS Crossback. La información de las especificaciones de estos se encuentran en el catálogo de la plataforma de electromovilidad del gobierno [52], en sitios como *ev-database* [53] y en otros. Los detalles se encuentran en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1: Especificaciones de Vehículos de Pasajeros y de Carga (Elaboración Propia).**

Vehículo		Capacidad Batería [kWh]	Rendimiento [km/kWh]	Autonomía eléctrica [km]
Marca	Modelo			
Hyundai	Ioniq 5	54	5,46	295
Nissan	LEAF (ZE1) AT 4x2	40	5,3	212
DS	3 Crossback E-Tense	50	5,2	260

De la Tabla 3-1 se distingue que el rendimiento de los vehículos seleccionados es similar, pero estos difieren en la autonomía que poseen. La máxima autonomía de estos vehículos es de 295 [km].

Con respecto a taxis, el modelo seleccionado es el BYD e5, el cual fue proporcionado en la primera versión del programa “Mi taxi Eléctrico” [54]. Los buses eléctricos más utilizados en Santiago corresponden a los modelos FOTON U12, BYD K9FE, YUTONG ZK6128BEVG y ZHONGTONG

LCK6122EVG [55]. La información técnica de estos ha sido obtenida del sitio *ev charge plus* [56] y de la plataforma de electromovilidad del gobierno [55], [57]. Los datos relevantes se encuentran en la Tabla 3-2.

**Tabla 3-2: Especificaciones de vehículos de transporte público (Elaboración Propia).**

Vehículo		Capacidad Batería [kWh]	Rendimiento [km/kWh]	Autonomía eléctrica [km]
Marca	Modelo			
BYD	e5	60,5	5,4	327
FOTON	U12	151,55	0,60	91
BYD	K9 FE	276,5	0,64	176
YUTONG	ZK6128BEVG	324,4	0,68	219
ZHONGTONG	LCK6122EVG	351,237	0,6	222,3

De la Tabla 3-2 se distingue que el vehículo BYD e5 presenta la mayor autonomía, puesto que su capacidad de batería es mayor que la de los vehículos anteriormente elegidos. También se distingue que el modelo FOTON U12 es el de menor autonomía en comparación con los demás buses eléctricos.

Todos estos vehículos presentan características propias que les permiten ser cargados a diferentes niveles de potencia. Junto a lo anterior, sus capacidades de batería son distintas, por lo que el tiempo que toman en cargarse varía según el vehículo estudiado. Información acerca de la carga normal y rápida de estos vehículos se puede encontrar en la Tabla 3-3 y en la Tabla 3-4.

**Tabla 3-3: Carga normal de vehículos más utilizados (Elaboración Propia).**

Vehículo		Carga Normal		
Marca	Modelo	Puerto	Potencia [kW]	Tiempo 0 - 100% [h]
Hyundai	Ioniq 5	Tipo 2 (Mennekes)	11	6
Nissan	LEAF (ZE1) AT 4x2	Tipo 2 (Mennekes)	3,6	12,75
DS	3 Crossback E-Tense	Tipo 2 (Mennekes)	7,4	7,25
BYD	e5	GB/T AC	7	8

**Tabla 3-4: Carga rápida de vehículos más utilizados (Elaboración Propia).**

Vehículo		Carga Rápida		
Marca	Modelo	Puerto	Potencia [kW]	Tiempo 10 - 80% [h]
Hyundai	Ioniq 5	Combo 2	175	0,28
Nissan	LEAF (ZE1) AT 4x2	CHAdEMO	46	0,72
DS	3 Crossback E-Tense	Combo 2	101	0,43
BYD	e5	GB/T DC	60	2,13
FOTON	U12	Combo 2	90	-
BYD	K9 FE	Combo 1	80	4 a 4,5
YUTONG	ZK6128BEVG	GB/T DC	150	2,5 a 3

La Tabla 3-3 y la Tabla 3-4 muestran la gran diferencia de cargar un vehículo en carga normal y en carga rápida. Por ejemplo, el Nissan Leaf, cargando a 3.6 [kW], necesita alrededor de trece horas para cargar el 100 % de su capacidad de batería, mientras que en carga rápida requiere menos de una hora.

Así también, se distingue que todos los vehículos públicos poseen una gran capacidad de batería. Entre estos el YUTONG ZK6128BEVG tiene una batería de 324,4 [kWh], la que puede ser cargada en alta potencia desde el 10% al 80% del SoC en menos de tres horas.



## Capítulo 4. Modelos de carga y descarga de vehículos

---

### 4.1. Modelo de carga y descarga de batería

#### 4.1.1 Modelo de carga desde la red

El modelo de carga de baterías de los vehículos es primordial para definir el impacto que estos tienen en la red. Como se establece en 3.5, los vehículos difieren en sus potencias máximas de carga y capacidad de batería.

De los trabajos mencionados previamente se tiene que en [4] se adapta un modelo desarrollado en [2], el cual es originalmente usado para simular la carga de los VE en estaciones de carga rápida. En el caso de este estudio se consideran cargas rápidas y lentas, por lo que el modelo de carga es adaptado según la potencia del cargador y de la carga requerida.

Además, se tiene en consideración que las baterías de los vehículos no pueden ser cargadas a la potencia máxima, lo que sería en carga rápida más allá del 80 % del SoC ya que esto degrada la vida útil de la batería [2], [10]. Luego de ese porcentaje de carga, la potencia a la que se carga el vehículo disminuye. La empresa Blink, que fabrica cargadores, afirma que luego del 80 % la carga llega a ser tan lenta como una carga en modo 2 [58], por lo que se adopta lo propuesto en [10] donde se establece que la potencia disminuye de manera lineal hasta llegar a la menor potencia. Para la carga de hasta el 80 % del estado de carga se tiene la ecuación (4-1).

$$E_{carga} = \left(0.8 - \frac{SoC_{llegada}}{100}\right) \times BC \quad (4-1)$$

Donde  $E_{carga}$  es la energía total que se ocupa para cargar [kWh],  $SoC_{llegada}$  es el estado de carga de la batería cuando el vehículo llega a cargarse [%]; y BC es la capacidad máxima de la batería del vehículo [kWh].

Además, el tiempo en minutos que demora en cargarse un VE hasta el 80 % de su batería se puede calcular como se muestra en la ecuación (4-2).

$$tiempo_{carga,80\%} = 60 \times \frac{E_{carga}}{P_{carga}} \quad (4-2)$$

Donde  $P_{carga}$  corresponde a la potencia de la carga [kW].

Para cargar la batería luego del 80 %, la nueva potencia debe cambiarse de manera iterativa según un periodo de tiempo dado. Si se considera que la potencia nueva dura 10 segundos hasta disminuir, se puede calcular el aumento del SoC cada 10 segundos hasta llegar al 100 % de carga. Para esto se establecen las ecuaciones (4-3) a (4-7).

$$Pendiente = \frac{P_{carga} - P_{final}}{-SoC_{remanente}} \quad (4-3)$$

$$P_{carganueva} = Pendiente \times (SoC_{actual} - 80) + P_{carga} \quad (4-4)$$

$$Energía_{10seg} = \frac{Potencia_{carganueva}}{60} \quad (4-5)$$

$$SoC_{10seg} = \frac{Energía_{10seg}}{BC} \times 100 \quad (4-6)$$

$$SoC_{actual} = SoC_{actual} + SoC_{10seg} \quad (4-7)$$

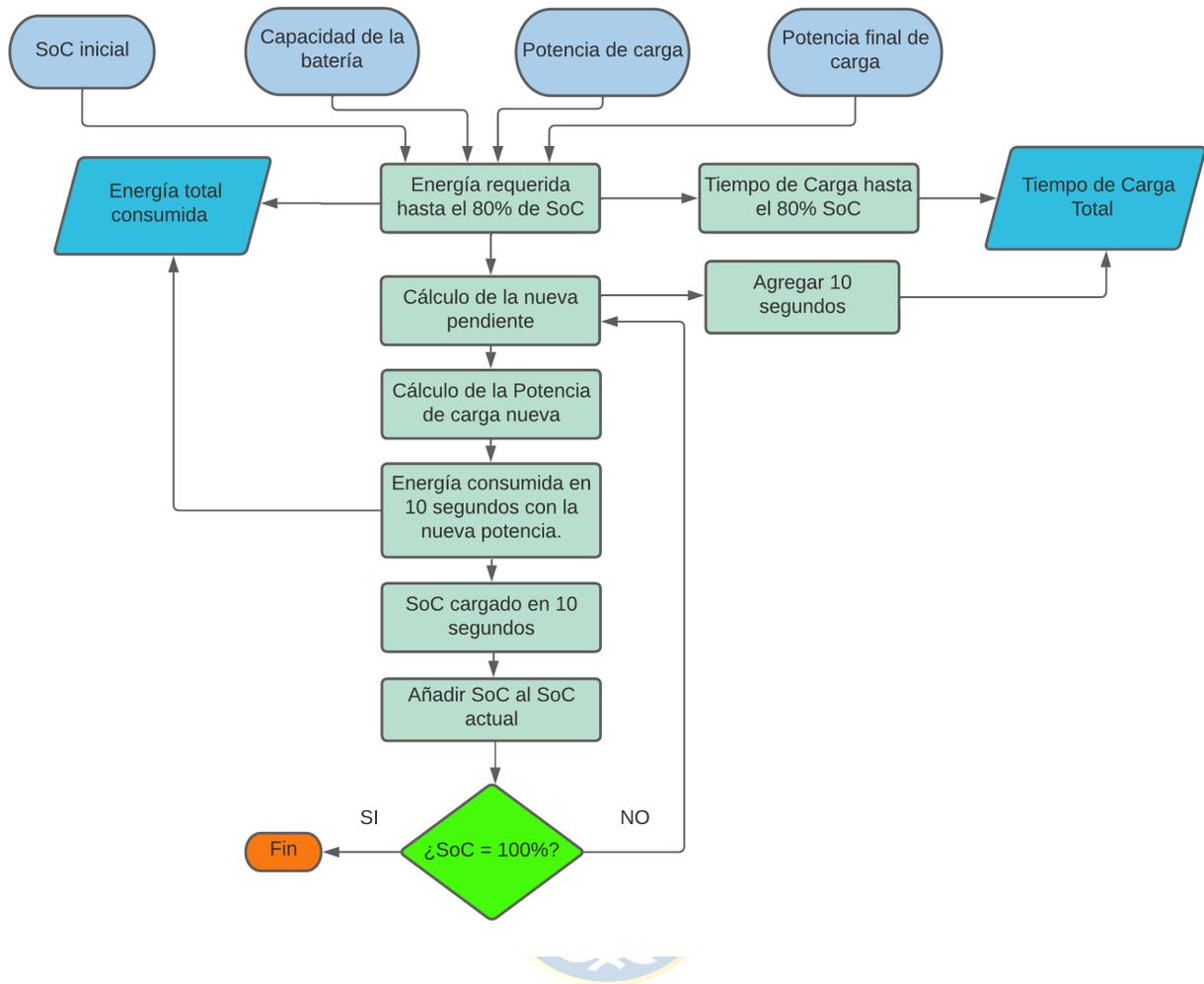
Donde *Pendiente* corresponde a la pendiente entre la potencia inicial de carga y la potencia final;  $P_{final}$  es la potencia final de carga correspondiente a la carga en modo 2 en [kW];  $SoC_{remanente}$  corresponde al 20 % de batería que queda por cargar;  $Potencia_{carganueva}$  es la nueva potencia mientras dura el tiempo de carga;  $Energía_{10seg}$  corresponde a la energía consumida durante los 10 segundos de carga;  $SoC_{10seg}$  es el aumento del estado de carga que sucedería en 10 segundos según la potencia de carga; y  $SoC_{actual}$  es el estado de carga de batería actual, comenzando por el 80 % de carga previo.

Este proceso iterativo termina al completar el 100 % de carga de la batería. Con esto se puede obtener información del tiempo que toma el vehículo para cargarse, la potencia que demanda el vehículo en cada intervalo de tiempo y el estado de carga de la batería con respecto al tiempo o con respecto a la potencia.

Para el comportamiento de carga normal se considera la ecuación (4-2) y la ecuación (4-8), que se define a continuación, cambiando el estado final de carga por 100 %.

$$E_{carga} = \left(1 - \frac{SoC_{llegada}}{100}\right) \times BC \quad (4-8)$$

Un esquema de cómo se realiza la carga rápida se puede ver en la Figura 4-1.



**Figura 4-1: Esquema de carga rápida de vehículos (Elaboración Propia).**

La carga de cada VE considerado en la realización de esta memoria, con gráficos correspondientes al SoC; y potencia y tiempo de carga bajo estas ecuaciones, se puede encontrar en el Anexo A.

#### 4.1.2 Modelo de inyección a la red (V2G)

Para simular la manera en que se realiza la inyección de potencia desde el vehículo a la red se describen las siguientes ecuaciones.

Se debe designar la potencia máxima de descarga, la cual depende de la potencia de descarga que permite el vehículo y el cargador bidireccional; esto se ve en la ecuación (4-9).

$$P_{desc,m\acute{a}x} = \text{mín}(P_{desc,ev}, P_{cargador}) \quad (4-9)$$

Donde  $P_{desc,m\acute{a}x}$  es la máxima potencia de descarga disponible;  $P_{desc,ev}$  es la potencia de descarga que permite el VE; y  $P_{cargador}$  es la potencia que permite el cargador bidireccional.

Así también, se debe considerar que los VE no deben disminuir el 20 % de su SoC para conservar el buen estado de las baterías, por esto, la descarga del vehículo se limita a aquellos vehículos que tengan un SoC mayor al 20 %. Además, los usuarios de los automóviles pueden elegir cuál es el estado de carga mínimo con el que quede su batería, por lo que la energía que se puede inyectar queda restringida por el límite de SoC establecido por el usuario y por el SoC actual como se ve en la ecuación (4-10).

$$SoC_{disponible} = SoC_{actual} - SoC_{mín} \quad (4-10)$$

Donde  $SoC_{disponible}$  es la capacidad en porcentaje de la batería disponible para inyectar;  $SoC_{actual}$  es el estado de carga que tiene el VE al momento de decidir realizar la inyección; y  $SoC_{mín}$  es el mínimo de estado de carga establecido por el usuario o el 20 % que permite la buena salud de las baterías.

## 4.2. Patrones de comportamiento

Para establecer un perfil de demanda dado por los VE a futuro es esencial conocer el instante en el cual estos se conectan a la red y cuánto tiempo estos están enchufados a los cargadores. Esto hace que los consumos eléctricos dependan fuertemente del comportamiento que tienen los usuarios.

Los autores de un estudio para coordinar la carga de VE [59] deducen el comportamiento de los conductores en base a una encuesta realizada por *National Household Travel Survey*, la cual indaga sobre las horas en que inician y terminan los viajes. Esta deducción del comportamiento se puede ver en la Figura 4-2.

Además de visualizar la duración de los viajes y las horas de inicio y término de estos, los autores concluyen que existe un gran rango de tiempo donde los vehículos pueden cargarse, ya que la mayoría del tiempo los VE se encuentran detenidos.

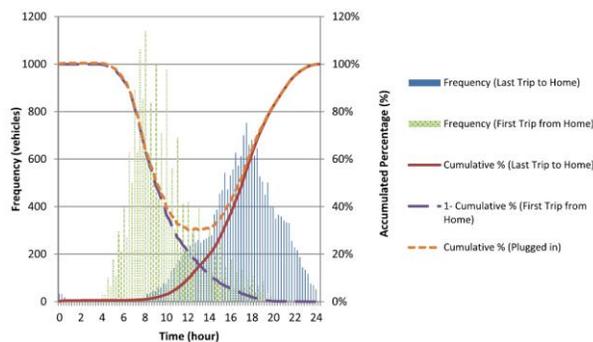


Figura 4-2: Tiempos de inicio y llegada de vehículos y su disponibilidad de carga [59].

En Chile SECTRA forma parte del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones y es el organismo que efectúa las denominadas encuestas de movilidad. Estas encuestas son usualmente usadas para la planificación del sistema de transporte y se asevera que “Estas entregan antecedentes relevantes sobre los patrones de movilidad de una determinada ciudad y proporcionan los datos requeridos para la calibración de los modelos de análisis de transporte” [60].

La información relevante dada con respecto a la ciudad de Osorno en Chile se clasifica a continuación.

#### 4.2.1 Horas de inicio y término de viajes

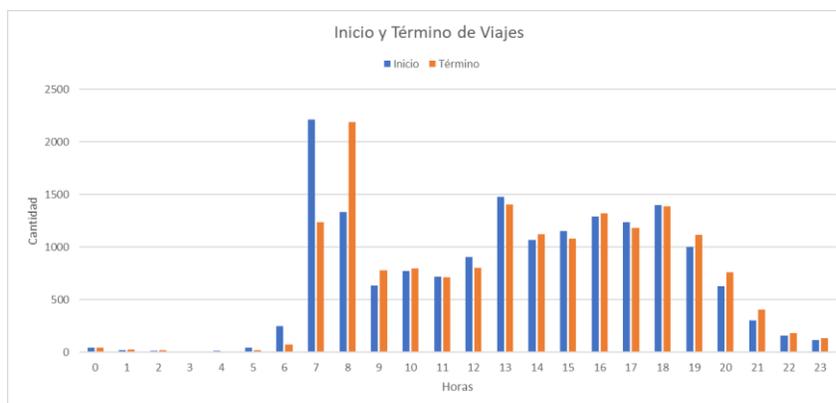
Los viajes registrados en la encuesta contienen tanto la duración del viaje como los motivos por los cuales el conductor decidió realizarlo [60]. Un resumen de esto se puede visualizar en la Tabla 4-1.

**Tabla 4-1: Motivos, duración y cantidad de viajes (Elaboración Propia).**

Motivo de Viaje	Hora con mayor frecuencia de inicio	Duración promedio del viaje	Cantidad de Viajes Totales	Cantidad de Viajes en hora de mayor frecuencia
Al Trabajo	7:00	28 minutos	2.569	762
Por Trabajo	9:00	27 minutos	261	37
Al Estudio	7:00	24 minutos	1.912	976
De Salud	7:00	24 minutos	357	56
Ver a alguien	16:00	24 minutos	458	55
Volver a casa	13:00 y 18:00	25 minutos	7.394	971
Buscar/dejar alguien	7:00	15 minutos	970	254
Comer/tomar algo	13:00	18 minutos	140	73
Buscar/dejar algo	7:00	17 minutos	106	13
De compras	10:00, 11:00 y 18:00	13 minutos	1.014	129
Trámites	10:00	20 minutos	846	161
Recreación	17:00 y 18:00	24 minutos	378	66
Otra Cosa	15:00	22 minutos	386	52
Total	7:00	-	16.791	2.212

De los 16.809 viajes registrados, los de mayor impacto son los viajes de vuelta a casa, los viajes para ir al trabajo y los viajes por estudio.

Tomando en cuenta cada uno de estos viajes se puede ver la cantidad de inicios y términos de viajes a través de la Figura 4-3.



**Figura 4-3: Cantidad y horas de inicio y término de viajes (Elaboración Propia).**

De la Figura 4-3 se puede concluir que la hora con mayor cantidad de viajes simultáneos es a las 07:00 horas, donde la mayoría de las personas va al trabajo o a estudiar. El momento que presenta mayores llegadas al destino es a las 08:00 horas, pero no representa que el usuario haya vuelto a casa o que su vehículo esté estacionado y disponible para la carga o descarga.

También es importante señalar el instante en que las personas vuelven a su hogar a carga. Esto se puede visualizar en la Figura 4-4, la cual se presenta al especificar el patrón de carga residencial.

#### 4.2.2 Determinación del patrón

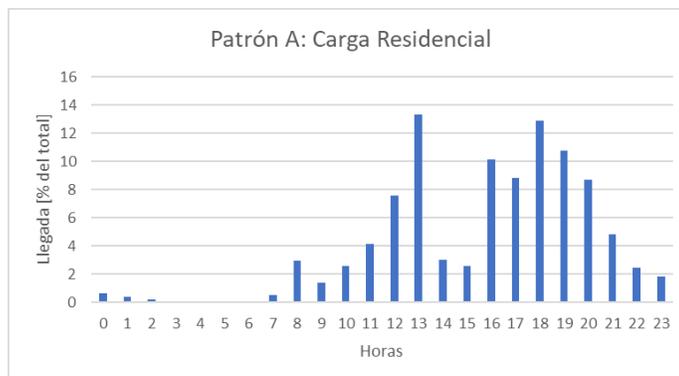
Tomando en cuenta la llegada de los vehículos a los diversos destinos se puede estimar la cantidad de vehículos disponibles para la carga o descarga. Además, es posible clasificar qué tipo de cargador ocuparán las personas, lo cual se hace bajo las siguientes consideraciones.

- Los lugares de trabajo, centros de salud y universidades cuentan con estaciones de carga públicas.
- 100 % de los dueños de VE tienen cargadores en sus casas.
- La carga rápida sólo se efectúa en aquellos vehículos cuyo estado de carga sea cercano o menor al 50 %.

##### A. *Carga residencial*

El patrón de carga residencial comprende los horarios de llegada de vuelta a casa, puesto que se asume que las personas cargarán su vehículo en cuanto lleguen a su hogar. La forma que tiene el patrón de vuelta a casa es, entonces, igual a la forma de las llegadas a casa de la encuesta, pero a esta se restan los viajes realizados por las siguientes causas: ver a alguien, buscar / dejar algo, buscar / dejar a alguien, otros, y recreación después de las 18:00; donde las personas vuelven de su trabajo y

pueden realizar estas actividades. Además, debido a la falta de información, se asume que este patrón también corresponde a la carga de vehículos que trabajen como taxis. El patrón de llegada queda entonces como se muestra en la Figura 4-4.



**Figura 4-4: Cantidad y hora del término de viaje de vuelta a casa (Elaboración Propia).**

De la Figura 4-4 se visualiza que las cargas residenciales se realizan mayormente a las 13:00 horas y entre las 16:00 y 21:00 horas.

### ***B. Carga en el trabajo, universidad, centro de salud o centro comercial***

Teniendo la posibilidad de cargar en estos lugares se asume que las personas lo harán de manera inmediata sin importar el estado de carga de la batería. El patrón comprende las llegadas al trabajo, al lugar de estudio, a centros de salud y trámites. La suma de las llegadas a estos destinos da la forma del patrón como muestra la Figura 4-5.

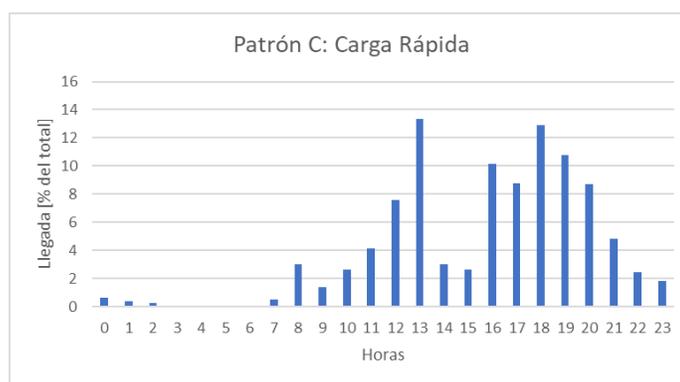


**Figura 4-5: Patrón de llegada al trabajo, universidad, centro de salud o centro comercial (Elaboración Propia).**

De la Figura 4-5 se infiere que las cargas en lugares públicos sean mayoritariamente dadas entre las 07:00 y 10:00 horas.

### C. *Carga en estaciones de carga rápida*

Se asume que los vehículos con un estado de carga cercano al 20 %, y también aquellos vehículos que hayan olvidados ser cargados en un día, se cargarán en estaciones de carga rápida. Con respecto a este punto, un estudio realizado por Idaho National Laboratory analizó las cargas realizadas por dueños de vehículos Nissan Leaf, y encontró que sólo un 8 % de los eventos de carga fueron cargas rápidas [61]. Se asume que este porcentaje corresponde a clientes residenciales que prefieren carga rápida. Además, gracias a datos proporcionados por la Agencia SE, con respecto a las cargas realizadas por taxis eléctricos monitoreados en el programa “Mi taxi eléctrico” en la ciudad de Santiago, se concluye que los conductores de taxis realizan un 21 % de sus cargas en cargadores rápidos [62]. El patrón para estudiar será el mismo dado por la carga residencial con el supuesto de porcentajes de carga establecidos en este apartado, como se muestra en la Figura 4-6.

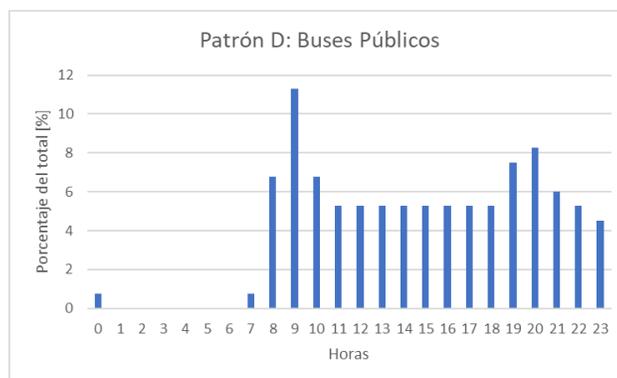


**Figura 4-6: Patrón de carga rápida (Elaboración Propia).**

De la Figura 4-6 se deduce que las cargas rápidas se realizarán mayormente a las 13:00 horas y entre las 16:00 y 21:00 horas, de manera similar a las cargas residenciales.

### D. *Carga para transporte público*

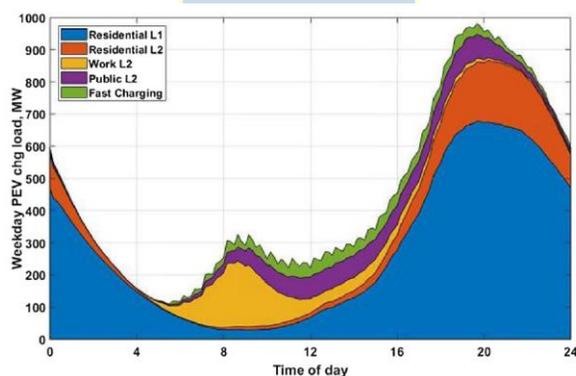
El patrón de comportamiento de los buses se considerará según datos entregados por la empresa de buses “Mini Buses Hualpencillo” ubicada en la ciudad de Concepción [63]. Dicha empresa ha facilitado para esta memoria la cantidad de buses despacha en cada hora junto a la cantidad de buses total de la flota y la distancia que estos recorren. Con una cantidad de 30 buses generando en total 133 viajes diarios, se puede aproximar un patrón de llegada de buses al terminal como se aprecia en la Figura 4-7.



**Figura 4-7: Patrón de llegada de buses a la terminal (Elaboración Propia).**

Según información entregada por la empresa, cada bus realiza entre 4 y 5 viajes diarios. Al realizar un estudio en detalle de los tiempos entre salidas de cada bus se tiene que el tiempo máximo que sería posible tener un bus detenido es de 42 minutos.

Los patrones antes mencionados se encuentran en concordancia con la información disponible en otros estudios, como es el caso del estudio dado por [64], donde se pronostica el consumo sin manejo de demanda en California, como se ve en la Figura 4-8.



**Figura 4-8: Consumo pronosticado por vehículos eléctricos en California [64].**

En la Figura 4-8 se aprecia que las cargas en el lugar de trabajo se dan entre las 06:00 y 10:00 horas como se establece en el patrón B. También se visualiza que las cargas residenciales son mayormente entre las 16:00 y 22:00 horas como se establece en el patrón A.

## Capítulo 5. Perfiles de Demanda

---

### 5.1. Introducción

Los perfiles de demanda, tanto de VE como del lugar de estudio, permiten el análisis de la condición del sistema para las demandas en las diferentes horas del día. Las demandas máximas y mínimas permiten visualizar los periodos de mayor y menor consumo respectivamente.

Con respecto a los VE, si no existe un control o gestión de la demanda, los usuarios cargarán en cualquier momento su automóvil. Esto implica que la demanda en horas de punta aumentará, puesto que los patrones de consumo eléctrico indican que los usuarios conectarán sus vehículos desde las 16:00 a las 21:00 horas.

A continuación, se muestra el lugar de estudio y perfiles de demandas dados por los vehículos eléctricos y por la demanda base del sistema.

### 5.2. Zona de estudio

Gracias a los datos de mediciones en transformadores entregados por SAESA se define el lugar de estudio en la ciudad de Osorno en la región de Los Lagos. Estos datos abarcan las mediciones de varias cabezas de alimentadores y la posición geográfica de las subestaciones de media tensión a baja tensión [65]. El lugar donde se realiza el análisis se puede visualizar en la Figura 5-1 y en la Figura 5-2.

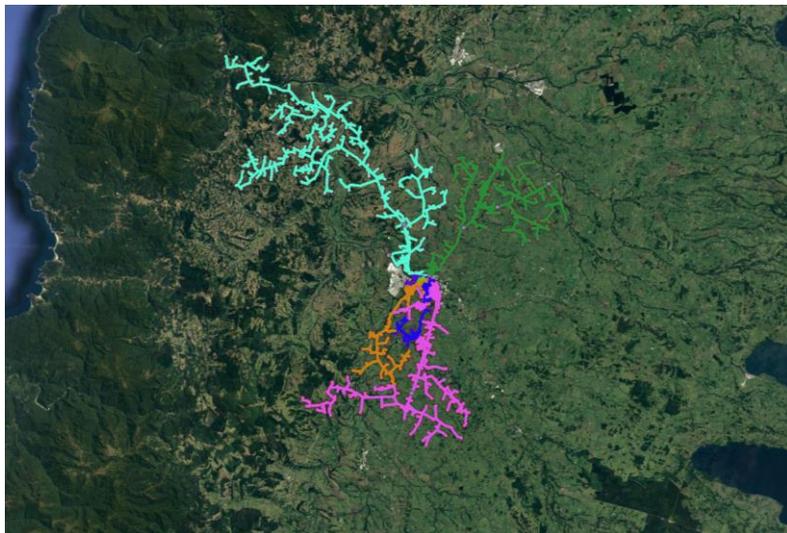
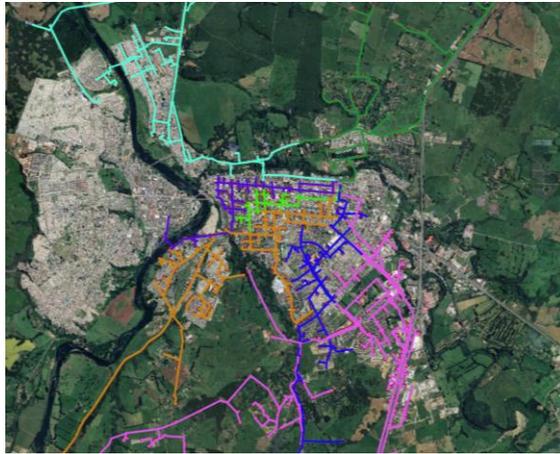


Figura 5-1: Líneas de transmisión y subestaciones en la ciudad de Osorno y alrededores.



**Figura 5-2: Líneas de transmisión y subestaciones ubicadas en la zona urbana de Osorno.**

De la Figura 5-1 se visualiza que gran parte de las líneas de transmisión se encuentran fuera de la ciudad de Osorno. Debido a que la mayoría de los clientes conectados se encuentra en la zona urbana, y también a que se asume que es poco probable que una persona de los alrededores adquiera un VE, se seleccionó solo la zona urbana como lugar de trabajo.

En la Figura 5-2 se muestran los alimentadores que se encuentran ubicados mayormente en la zona oriente de Osorno. Estos alimentadores corresponden a Los Carrera, Antonio Varas, Manuel Montt, Chuyaca, Cesar Ercilla, Industrial y Germán Hube.

### **5.3. Perfil de demanda de VE**

En base a los vehículos elegidos en el capítulo 3.3, se definen perfiles de demanda para los VE a implementar en la localidad a estudiar. Este perfil de demanda se estima para la posible cantidad de vehículos que existan en el año 2050.

Para definir el perfil de demanda sin gestión de los VE se considera la carga de los vehículos eléctricos sin la inyección de energía por parte de estos a la red. En el caso donde se considera la carga y la inyección de energía gracias a la tecnología V2G se estudiará en la sección 6.5 cuando se definan horarios para carga y descarga de EV.

Para determinar los consumos dados se establecen los siguientes supuestos:

- Los vehículos comenzarán el día con el 100 % de su carga.
- Los usuarios recorrerán la misma distancia cada día.
- Cada uno de los dueños de VE tendrá un cargador residencial en su hogar.
- Los clientes que utilicen carga rápida tendrán un SoC cercano al 50 %.

### 5.3.1 Perfil de demanda vehículos particulares

La cantidad de vehículos presentes en la localidad elegida se define a nivel de alimentador según la cantidad de clientes conectados a las subestaciones, recordando que se toma como eje principal la zona urbana de Osorno. Esta no se determina según la cantidad de habitantes, puesto que sólo se dispone de datos del sector oriente de Osorno y la cantidad de clientes conectados al sistema eléctrico es un índice representativo de la cantidad de familias en el lugar. Esto significa que se revisará la cantidad de clientes conectados a las subestaciones correspondientes a un alimentador específico y se asume que cada cliente tendrá a su disposición un vehículo. La cantidad de clientes residenciales por alimentador está en la Tabla 5-1.

**Tabla 5-1: Cantidad de clientes conectados por alimentador (Elaboración Propia).**

Alimentador	Cantidad de clientes conectados	Cantidad de clientes residenciales
Los Carrera	2.822	2.806
Antonio Varas	2.023	2.020
Manuel Montt	6.686	6.665
Chuyaca	5.496	5.483

Como se muestra en la Tabla 5-1, la cantidad de clientes residenciales se ha filtrado según la información entregada de las subestaciones.

La cantidad de VE en la zona estará dada por las proyecciones entregadas en el capítulo 3.4, por lo que la cantidad total de vehículos, que es determinada por la cantidad de clientes conectados, se multiplica por un factor correspondiente al porcentaje esperado de crecimiento del parque de VE al año 2050. En específico, este factor corresponde al dado por E2BIZ en el caso medio, lo cual equivale a 62 % de penetración [51]. Por lo tanto, la cantidad de VE a considerar se encuentra en la Tabla 5-2.

**Tabla 5-2: Cantidad pronosticada de vehículos eléctricos por alimentador (Elaboración Propia).**

Alimentador	Cantidad de EV
Los Carrera	1.740
Antonio Varas	1.252
Manuel Montt	4.132
Chuyaca	3.399

De la Tabla 5-2 se destaca que Manuel Montt y Chuyaca poseen la mayor cantidad de VE asignados y que Los Carrera y Antonio Varas, los cuales tienen una cantidad similar de VE, tienen una cantidad menor a la mitad de los VE en Manuel Montt.

Según el estudio realizado por la Agencia SE, titulado “Estudio de Electromovilidad en Chile”, se establece que para estimar la demanda eléctrica generada por los VE se requiere conocer la distancia

que recorre cada uno de estos [66]. El estudio entrega un promedio de distancias recorridas en cada región en el lapso de un año por tipo de vehículo, siendo la distancia recorrida en la región de Los Lagos de 14.500 kilómetros. Considerando que el año tiene 365 días esto lleva a concluir que un vehículo recorre en promedio 39,7 kilómetros diarios. Esta distancia se considera fija para el estudio a realizar.

Los modelos de VE que tendrán una carga residencial y rápida fueron establecidos en el capítulo 3.5. Estos son Hyundai Ioniq, Nissan Leaf y DS Crossback. Con los supuestos de estado de batería, distancia recorrida y sus potencias de carga se tiene el tiempo que toma cargar cada uno de estos VE en la Tabla 5-3.

**Tabla 5-3: Tiempo de carga de los vehículos elegidos (Elaboración Propia).**

Modelo de VE	Carga Lenta (39,7 km)		Carga Rápida	
	SoC Inicial	Tiempo de Carga	SoC Inicial	Tiempo de Carga
Hyundai Ioniq	86,53%	41 minutos	50%	11 minutos
Nissan Leaf	81,27%	2 horas y 6 minutos	50%	45 minutos
DS Crossback	84,73%	1 hora y 3 minutos	50%	26 minutos

De la Tabla 5-3 se destaca que el recorrido diario estimado logra disminuir el SoC de los vehículos como máximo cerca de 19 %. Bajo esta consideración la carga de mayor duración corresponde al Nissan Leaf, con un tiempo de dos horas y seis minutos.

Los tiempos de carga rápida pueden ser menores que los de la Tabla 5-3 si se considera llevar el vehículo a un SoC menor al 100 %, ya que cuando se llega a un 80 % la potencia de carga va disminuyendo. Por ejemplo, el modelo Nissan Leaf se demora 30 minutos en cargar desde el 86,53 % del SoC hasta un 95 %.

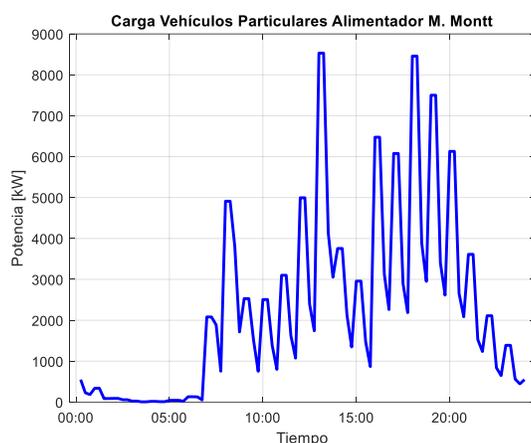
Considerando la cantidad actual de estos automóviles presentes en el país como si fuera el total de VE disponible se asignan según su proporción para cada alimentador. La proporción por considerar está en la Tabla 5-4.

**Tabla 5-4: Porcentajes de penetración de VE (Elaboración Propia).**

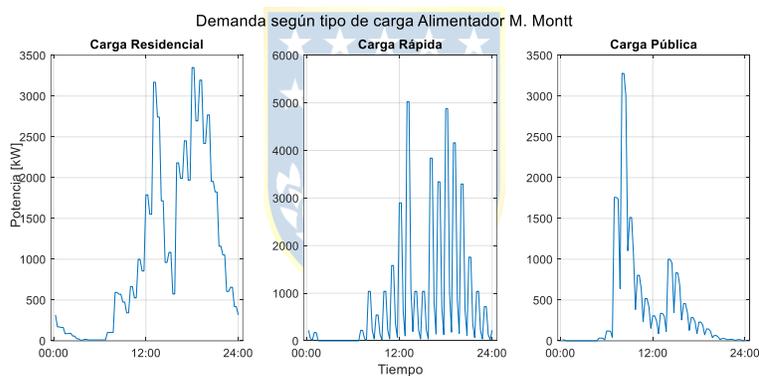
Vehículo	Porcentaje actual de inserción	Porcentaje considerado en el pronóstico
Hyundai Ioniq	16%	44%
Nissan Leaf	12%	33%
DS Crossback	8%	22%

Con esta cantidad de vehículos establecida se calculan los perfiles de demanda dados por la carga residencial, pública y rápida junto a la cantidad máxima de VE conectados simultáneamente,

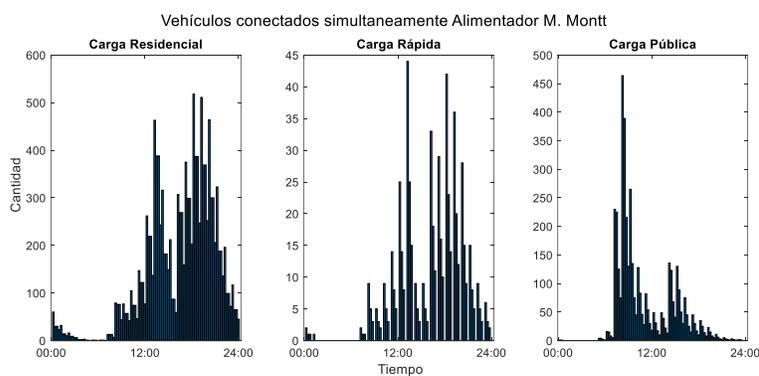
los que se muestran entre las Figura 5-3 y la Figura 5-6 para el alimentador Manuel Montt. Esta misma información para los alimentadores Los Carrera, Antonio Varas y Chuyaca se encuentran en el Anexo A.



**Figura 5-3: Perfil de demanda de vehículos particulares sin gestión de carga en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).**



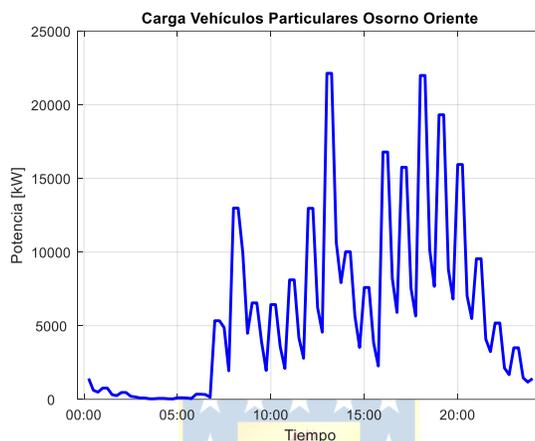
**Figura 5-4: Perfil de demanda según tipo de carga sin gestionar en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).**



**Figura 5-5: Cantidad de vehículos conectados simultáneamente según tipo de carga sin gestión en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).**

Estos perfiles de demanda reflejan el comportamiento dado por los patrones en la sección 4.2. Se visualiza que la demanda es mayor a las 13:00 horas y en el periodo comprendido entre las 16:00 y 21:00 horas. También se destaca la inexistente carga nocturna, lo que equivale al periodo entre las 01:00 y 07:00 horas.

La demanda total dada por los vehículos ubicados en los cuatro alimentadores se puede ver en la Figura 5-6.



**Figura 5-6: Demanda Total de vehículos particulares en Osorno Oriente (Elaboración Propia).**

Los *peaks* presentes entre la Figura 5-3 y la Figura 5-6 representan la posibilidad de que exista simultaneidad de carga de vehículos en una de las horas del día. La Figura 5-6 muestra cómo la carga nocturna es prácticamente inexistente. El conjunto de vehículos muestra un perfil similar al de la Figura 5-3, pero con mayor demanda, puesto que sólo se aumenta la cantidad de vehículos cargando y se tiene considerado el mismo patrón de comportamiento.

### 5.3.2 Perfil de demanda de transporte público

La cantidad de vehículos del transporte público será elegida mediante los datos entregados por el informe “Plan del Transporte Público Regional” [67] realizado por el MTT. Según este estudio en la ciudad Osorno existe un total de 320 buses. Además, se tiene que los terminales de buses ubicados en el área de estudio sólo corresponden a la línea 7 con una flota de 16 buses.

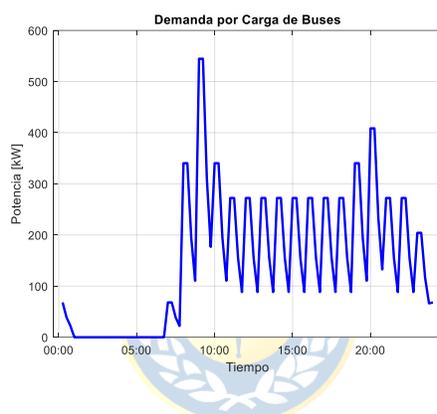
**Tabla 5-5: Buses contemplados para el estudio.**

Línea	Flota	Ubicación
Soc. Transportes Línea Nueve Ltda.	16	Alimentador Manuel Montt

El patrón establecido en el apartado 4.2.2D abarca un total de 30 buses en una flota con 133 viajes realizados. En este caso particular se puede aproximar que la cantidad de 16 buses bajo el mismo

comportamiento realiza un total de 71 viajes diarios. La demanda aproximada de estos buses se modela en base a la preocupación de los dueños de buses de tener los buses cargados y disponibles en el día, por lo que se conectarán en cuanto lleguen a la terminal.

El bus eléctrico con mayor presencia en Chile corresponde al modelo FOTON U12, por lo que la demanda esperada se calcula en base a este. La distancia recorrida por estos se calcula en base a los recorridos dados por “Mini Buses Hualpencillo” de Concepción. Esta distancia corresponde a 35,9 [km] por recorrido. Considerando los recorridos realizados, el tiempo de carga de este vehículo para cargar lo correspondiente a lo recorrido por un viaje toma un tiempo de 58 minutos. Sin embargo, la potencia de carga disminuye después del 80 % del SoC, por lo que si se desea cargar hasta un 95 % del SoC la duración de la carga es de aproximadamente 44 minutos. La curva de demanda del conjunto de buses se ve en la Figura 5-7.



**Figura 5-7: Demanda dada por los buses sin gestión (Elaboración Propia).**

La Figura 5-7 refleja la demanda irregular debido a la conexión inmediata de un bus eléctrico después de cada recorrido para asegurar que se encuentre totalmente cargado y disponible para el próximo viaje a realizar. También se destaca que bajo estas condiciones no se tiene una carga nocturna.

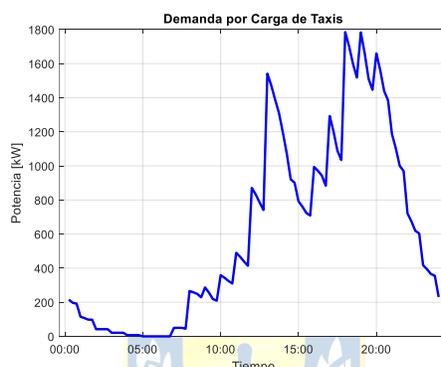
Según el “Plan del Transporte Público Regional” la cantidad de taxis en la ciudad de Osorno corresponde a 1.169. Como esta memoria comprende aproximadamente a la mitad de la ciudad de Osorno se consideran 585 taxis, los cuales se distribuyen en los alimentadores según la proporción de clientes conectados como se muestra en la Tabla 5-6.

**Tabla 5-6: Cantidad de taxis eléctricos considerados en Osorno Oriente (Elaboración Propia).**

Alimentador	Cantidad de Taxis Eléctricos
Los Carrera	97
Antonio Varas	70
Manuel Montt	230
Chuyaca	189

En el apartado 4.2.2A se establece que, debido a la falta de información, los taxis tomarán el patrón establecido por la carga residencial como patrón de carga. Además, en el apartado 4.2.2C se establece que el 21 % de estos taxis realizarán una carga rápida. Gracias a datos entregados por la Agencia SE se conoce que la potencia máxima de carga rápida de estos taxis actualmente es de 36 [kW] y que la potencia máxima de carga lenta es de 7 [kW] [62].

A través de conversaciones con dueños de taxis se encuentra que el común de distancia recorrida es aproximadamente 150 [km] diarios, con una distancia menor recorrida de 50 [km] cuando el conductor es dueño del taxi. Para este estudio se asume que todos los conductores recorren 150 [km] usando como VE el modelo BYD e5. El tiempo que toma en cargarse un taxi bajo estas condiciones es de 4 horas. El perfil de demanda dado por estos vehículos se muestra en la Figura 5-8.



**Figura 5-8: Demanda del total de taxis sin gestión (Elaboración Propia).**

La demanda vista en la Figura 5-8 refleja un mayor tiempo de carga necesario comparado a los casos anteriores, ya que estos vehículos son simulados con un recorrido de 150 [km], por lo que su SoC al llegar a cargar es menor a los otros VE. Además, se visualiza que no existe carga nocturna.

Los valores máximos en cada hora de estos perfiles permitirán realizar un perfil de demanda de los VE por alimentador como se verá en la sección 6.3.

## 5.4. Perfil de demanda del lugar de estudio

Gracias a los datos dados por SAESA se dispone de medidas de consumo en Osorno. Estas corresponden a las cantidades censadas a nivel de alimentador. Dichas mediciones corresponden al año 2021 desde enero a diciembre.

Cómo el comportamiento de los usuarios depende de la época del año se deben clasificar o agrupar los perfiles de demanda dados por las mediciones diarias. En el caso de este estudio la clasificación se realiza por mes. Además, para la obtención de un perfil de demanda representativo se

considera una separación tanto de días hábiles como fines de semana. Esto se realiza a través de algoritmos de agrupamiento.

### 5.4.1 Algoritmo de agrupamiento

Los algoritmos de agrupamiento permiten clasificar datos dentro de grupos con características similares. Esto es de gran importancia en el estudio de definición de bandas horarias puesto que permite representar curvas de demanda de varios días en la cantidad de curvas que se necesite y permite realizar divisiones horarias [11].

Los estudios realizados en [12] y [68] muestran la necesidad de representar la demanda en distintas curvas. En el caso de [12] se preparan curvas para realizar una división de periodos de bandas horarias. Así también, existe el estudio dado en [69], donde se utiliza el algoritmo K-Means para definir bandas horarias de bajo y alto consumo y en el estudio de [12] se mejora este método comparándolo con el algoritmo K-Means original.

En esta memoria se utilizan dos algoritmos de agrupamiento para la representación de curvas y la obtención de periodos horarios. Estos algoritmos se presentan a continuación.

#### A. *K-Means Clustering*

K-Means es un algoritmo de agrupamiento, el cual asigna los datos entregados a una cantidad de grupos  $k$  definidos. Este algoritmo es de tipo *Hard Clustering*, es decir, decide si un elemento pertenece o no a un grupo [70]. La cantidad de grupos  $k$  es también la cantidad de centroides, los que primeramente se asignan aleatoriamente. Para agrupar los datos y decidir cuáles pertenecen a un grupo se calcula la distancia que existe entre estos puntos y los centroides. Los datos que tengan una menor distancia a un centroide que a otro pertenecerán a ese grupo.

Este es un proceso iterativo, por lo que una vez calculadas las pertenencias de los datos a un grupo se recalculan los centroides. En un principio los centroides han sido elegidos de manera aleatoria, en las siguientes iteraciones se actualiza el valor del centroide según el valor promedio dado por los valores pertenecientes a un grupo.

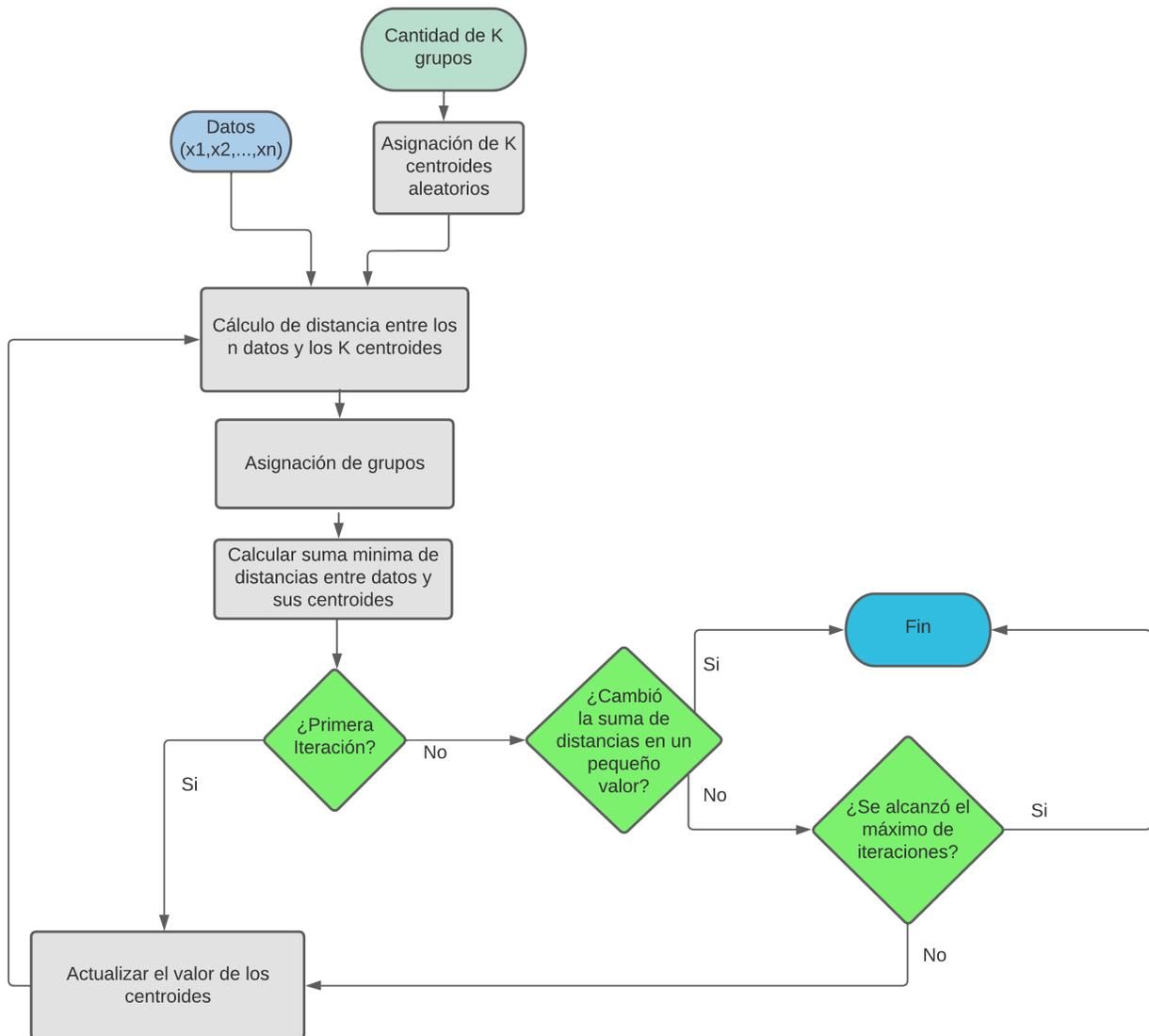
El problema de optimización que resuelve K-Means es la minimización de las distancias cuadráticas de cada dato al centroide de su grupo.

Si los datos tienen  $d$  dimensiones  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , agrupados en  $k$  grupos, con centroides  $\mu_i$  y cada grupo se representa por  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ , el problema de minimización se puede calcular según la ecuación (5-1) [71].

$$\min \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} \|x_j - \mu_i\|^2 \quad (5-1)$$

Cuando los centroides no cambian, o sólo se mueven una pequeña distancia, entonces, el algoritmo converge. Así también, el algoritmo converge si los datos dejan de cambiar de grupo en cada iteración. También es posible definir una cantidad límite de iteraciones [72].

Un esquema de cómo funciona este algoritmo se ve en la Figura 5-9.



**Figura 5-9: Funcionamiento algoritmo K-Means (Elaboración Propia).**

## B. Fuzzy C-Means

Fuzzy C-Means, al igual que K-Means, es un algoritmo de agrupamiento. La diferencia radica en que este algoritmo es de lógica difusa, por lo que es de tipo *Soft Clustering*, es decir, clasifica los datos con una probabilidad de pertenecer o no a un grupo [70].

En este algoritmo se debe seleccionar una cantidad  $N$  de centroides  $c$  y un valor de  $m$ . Este valor de  $m$  sirve para determinar lo difuso que son los bordes de los grupos y varía usualmente entre 1.25 y 2. Con estos valores se inicializa una matriz de pertenencia  $U$ , la cual indica el grado de pertenencia del dato  $j$  con el centroide  $i$  a través del valor  $\mu_{ij}$ . Si se disponen de  $D$  datos con valores  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , la ecuación que minimiza el algoritmo es la ecuación (5-2) y las ecuaciones que rigen el algoritmo son las ecuaciones (5-2) a (5-4) [73].

$$J_m = \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^N \mu_{ij} \|x_i - c_j\|^2 \quad (5-2)$$

Para comenzar se eligen valores aleatorios de la matriz de pertenencia  $U$ . Luego, se calculan los centroides con la ecuación (5-3).

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^D \mu_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^D \mu_{ij}^m} \quad (5-3)$$

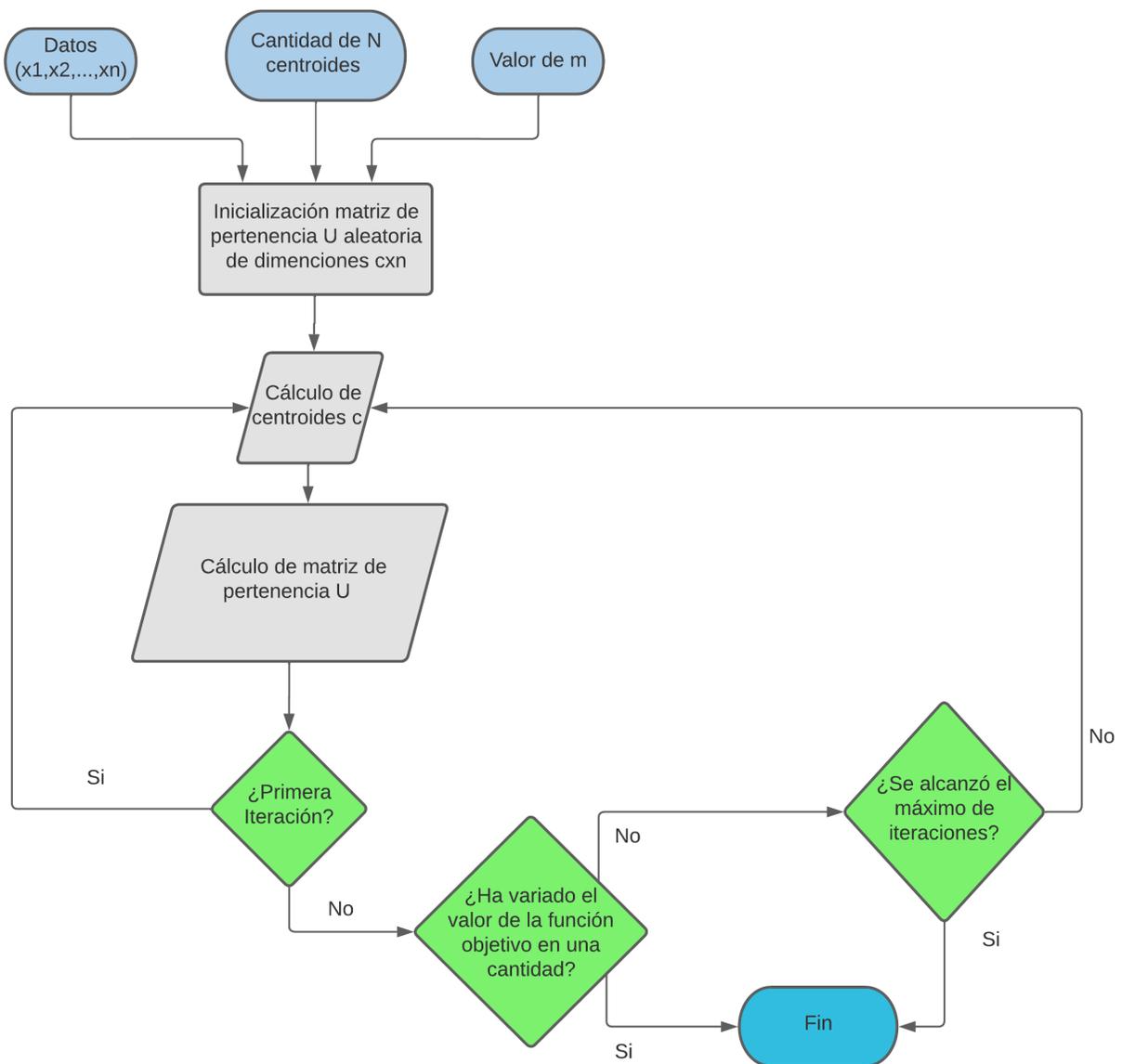
Una vez calculados los centroides se calculan los valores de la matriz de pertenencia con la ecuación (5-4).

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^N \left( \frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (5-4)$$

Se calcula el valor de la función objetivo  $J_m$  definida en la ecuación (5-2) y se repite el proceso de calcular centroides y los valores de la matriz  $U$  hasta que  $J_m$  varíe en un pequeño valor dado o hasta que se cumpla un cierto número de iteraciones.

De este proceso se determina si un dato corresponde a un grupo más que a otro por su valor dado en la matriz de pertenencia.

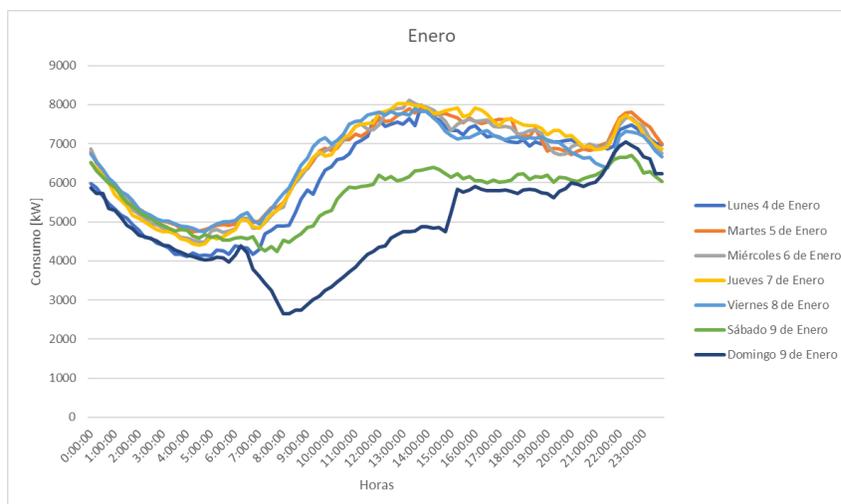
Un esquema del funcionamiento del algoritmo se puede ver en la Figura 5-10.



**Figura 5-10: Funcionamiento Algoritmo Fuzzy C-Means (Elaboración Propia).**

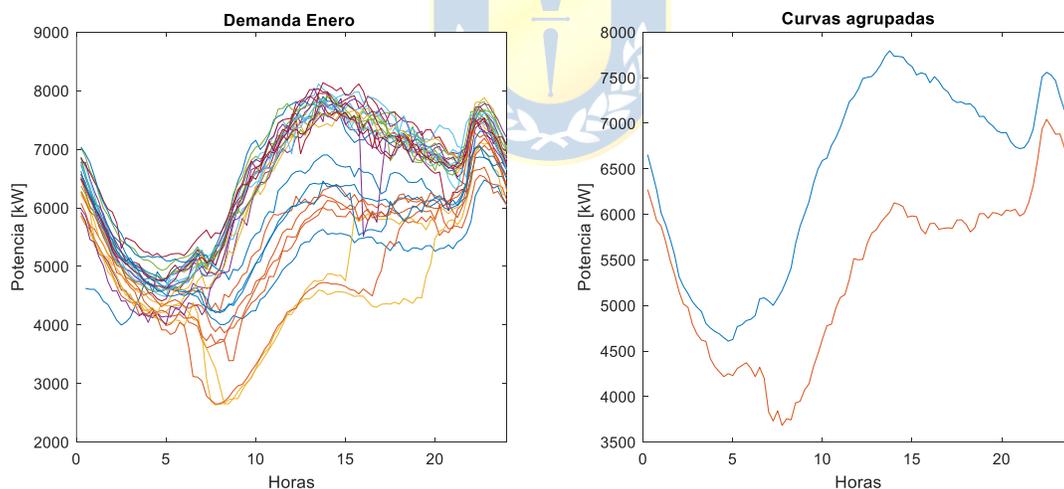
### 5.4.2 Curvas representativas

Las curvas representativas se desarrollan de manera mensual; esto reflejará los cambios de demanda dados por las épocas del año como se muestra en [69]. En la Figura 5-11 se grafica la demanda registrada en el alimentador Los Carrera correspondiente a la semana comprendida entre los días 4 de enero y 9 de enero de 2021.



**Figura 5-11: Datos de consumo real de una semana en el alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**

Los datos presentados en la Figura 5-11 muestran un patrón de consumo distinguible para los días hábiles, así como la diferencia con los fines de semana. Por esta razón se decide agrupar estos datos en dos curvas representativas. En caso de que existan más de dos patrones las curvas se agruparán de tal manera que puedan representar todos los patrones. A través del análisis con el algoritmo K-Means se logra el agrupamiento como se ve en la Figura 5-12.



**Figura 5-12: A la izquierda: Demanda correspondiente al mes de enero. A la derecha: Curvas resultantes del algoritmo (Elaboración Propia).**

De la Figura 5-12 se puede ver claramente cómo el algoritmo ha reunido la información correspondiente a día hábil y fin de semana. Esto permite que, con la curva de día hábil donde hay mayor consumo, se pueda realizar el análisis de la división en periodos horarios; donde se clasifica la demanda en horas de menor consumo, horas de mediano consumo y horas de alto consumo, lo que en esta memoria se definirán como horas valle, horas planas y horas de punta respectivamente.

## Capítulo 6. Obtención de Bandas Horarias.

### 6.1. Introducción

En este capítulo se estudiarán las demandas dadas en la ciudad de Osorno en los alimentadores Manuel Montt, Chuyaca, Los Carrera y Antonio Varas, con el fin de encontrar periodos horarios en los cuales la demanda es mínima y máxima. Con esta información se pueden establecer horarios de carga y descarga de vehículos que sean de beneficio para la red de distribución.

Para representar el sistema se considera realizar un estudio zonificado, puesto que cada alimentador posee un perfil de demanda distinto como se ve en la sección 6.3.1 y 6.4.1.

En el estudio realizado en [69] se realizan particiones horarias para cada mes del año, puesto que la demanda presenta estacionalidad. En este capítulo los horarios serán calculados para un mes de verano y un mes de invierno, los cuales corresponden a enero y julio.

Los horarios de incentivo de carga de VE se definen como las horas de menor consumo, es decir, las horas valle. Los horarios de mayor incentivo de inyección de energía se definen como las horas de mayor consumo, es decir, las horas punta.

Utilizando las curvas representativas y los horarios propuestos se grafican las demandas sin y con gestión para demostrar la efectividad de los horarios propuestos.

### 6.2. Crecimiento vegetativo

Ya que el estudio está enfocado en una predicción de inserción de VE al año 2050, la red de distribución de Osorno ya no presentará la misma demanda puesto que los consumos siempre van en aumento. Para pronosticar el crecimiento de la demanda base, SAESA utiliza tasas vegetativas de cálculo propio. Esta información se entrega por alimentador y se ve en la Tabla 6-1.

**Tabla 6-1: Crecimiento total de demanda al año 2050 calculada en base a la información entregada por SAESA (Elaboración Propia).**

Alimentador	Crecimiento al año 2050
Los Carrera	149%
Chuyaca	149%
Manuel Montt	149%
Antonio Varas	149%

El crecimiento es igual en cada alimentador y este factor será multiplicado en cada demanda considerando que la red estará preparada para soportar estos niveles de consumo.

## 6.3. Bandas horarias para el mes de enero

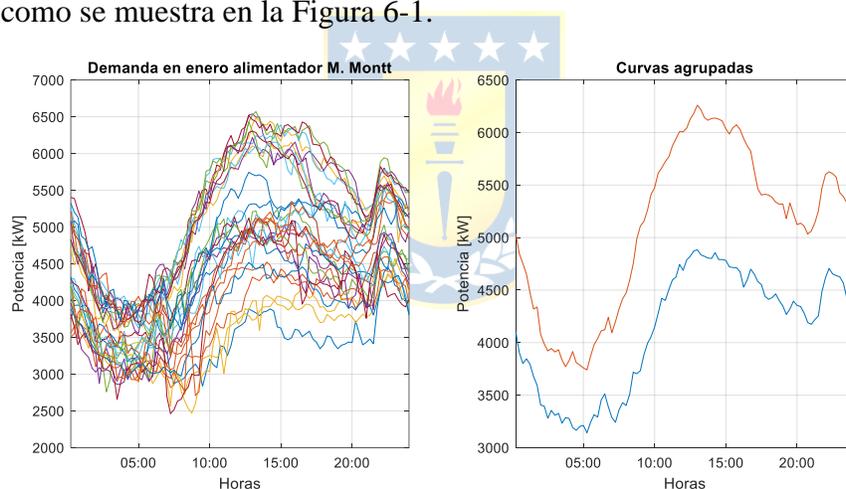
### 6.3.1 Curvas representativas y bandas horarias en enero

Con las demandas dadas por SAESA para cada alimentador es posible obtener las curvas representativas de cada alimentador para el mes de enero con el algoritmo K-Means. Luego de esto se analizará la curva agrupada correspondiente al día hábil a través del algoritmo Fuzzy C-Means para encontrar los periodos horarios favorables para carga y descarga y se analizará la matriz de pertenencia dada por este algoritmo.

Este análisis se realizará para todos los alimentadores. Los resultados correspondientes al alimentador Los Carrera y Chuyaca se pueden encontrar en el Anexo B.

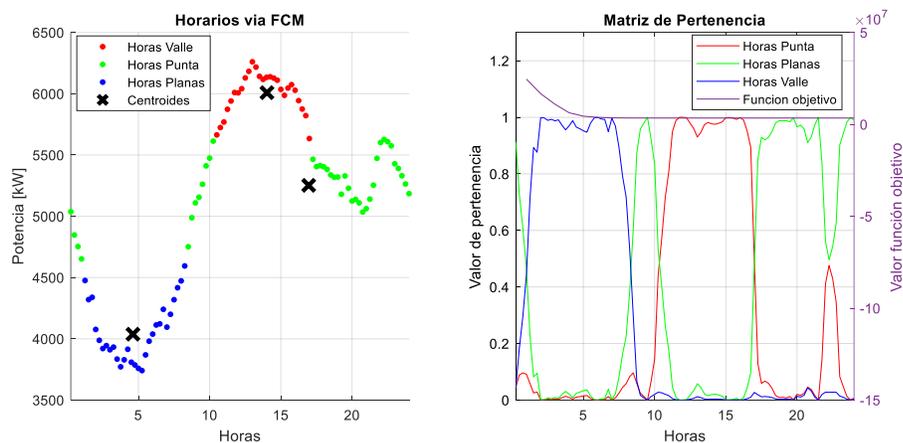
#### A. *Alimentador Manuel Montt*

La demanda en el alimentador Manuel Montt en enero se grafica y se agrupa en curvas representativas como se muestra en la Figura 6-1.



**Figura 6-1: Demanda en el mes de enero en alimentador Manuel Montt y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia).**

La curva de mayor consumo presenta una mezcla de perfil de demanda residencial con un perfil de demanda comercial. Se visualiza que la mayor demanda ocurre durante horas de la tarde y que la demanda aumenta progresivamente desde las 10:00 horas. Al analizar la curva de mayor consumo para determinar su partición horaria se obtiene la Figura 6-2.



**Figura 6-2: División de periodos para el mes de enero en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).**

El algoritmo muestra que el mayor consumo se encuentra durante las horas de la tarde, específicamente entre las 10:30 y 17:00 horas, lo cual se condice con un horario típico de trabajo. Tanto las horas valle como las horas punta están agrupadas de tal forma que no se dividen en distintos periodos. Las horas planas tienen una mayor presencia en comparación con las horas valle y las horas de punta, abarcando cerca de trece horas en total.

Según los resultados del algoritmo se clasifican los periodos de carga y descarga y se presentan en la Tabla 6-2.

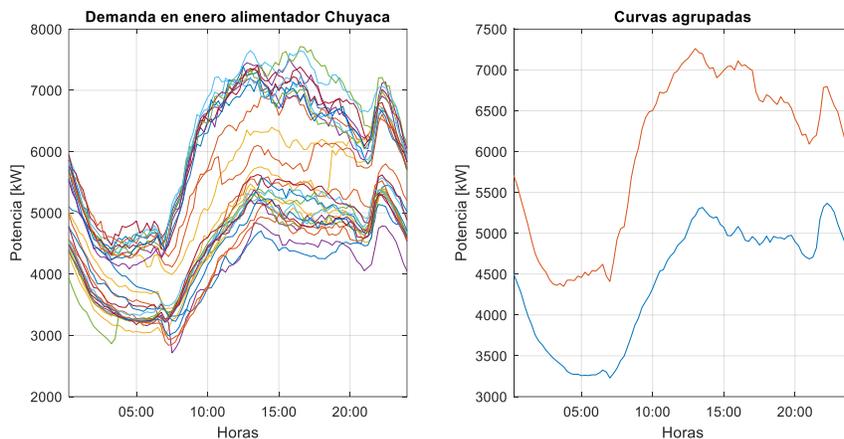
**Tabla 6-2: Horarios de carga y descarga de VE para enero en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).**

Alimentador Manuel Montt	Horario	Cargar Vehículo	Inyectar Energía
Horas Valle	01:15-08:15	Incentivar	Incentivo Bajo
Horas Planas	08:30-10:15	Costo Normal	Incentivo Moderado
	17:15-01:00		
Horas Punta	10:30-17:00	Sancionar	Incentivo Alto

Se tiene que las horas de menor consumo se presentan durante la madrugada, con suficiente tiempo para cargar los VE, ya que comprenden un periodo de siete horas.

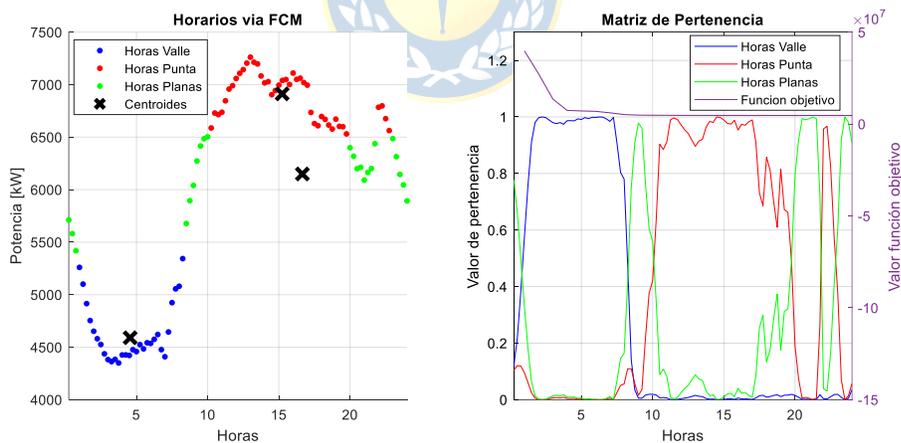
## B. Alimentador Chuyaca

Para el alimentador Chuyaca la demanda en el mes de enero es graficada y agrupada en curvas representativas como se muestra en la Figura 6-3.



**Figura 6-3: Demanda en el mes de enero en alimentador Chuyaca y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia).**

Al igual que en el alimentador Manuel Montt, esta presenta una mezcla de perfil de demanda residencial con un perfil de demanda comercial. Se visualiza una diferencia de aproximadamente 3 [MW] entre las horas de menor y mayor consumo. Al procesar la curva representativa de mayor consumo a través del algoritmo Fuzzy C-Means se obtienen los resultados mostrados en la Figura 6-4.



**Figura 6-4: División de periodos para el mes de enero en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**

De este análisis se tiene que la mayoría de las horas del día se clasifican como horas de mayor demanda, aunque estén repartidas en dos periodos. Por otro lado, se tiene que las horas planas están divididas en tres periodos y que uno de estos periodos, próximo a las 20:00 horas, presenta demandas cercanas a las que se producen en las horas de mayor consumo.

Los horarios de carga y descarga para el alimentador Chuyaca en el mes de enero, en base a los resultados dados por el algoritmo, se presentan en la Tabla 6-3.

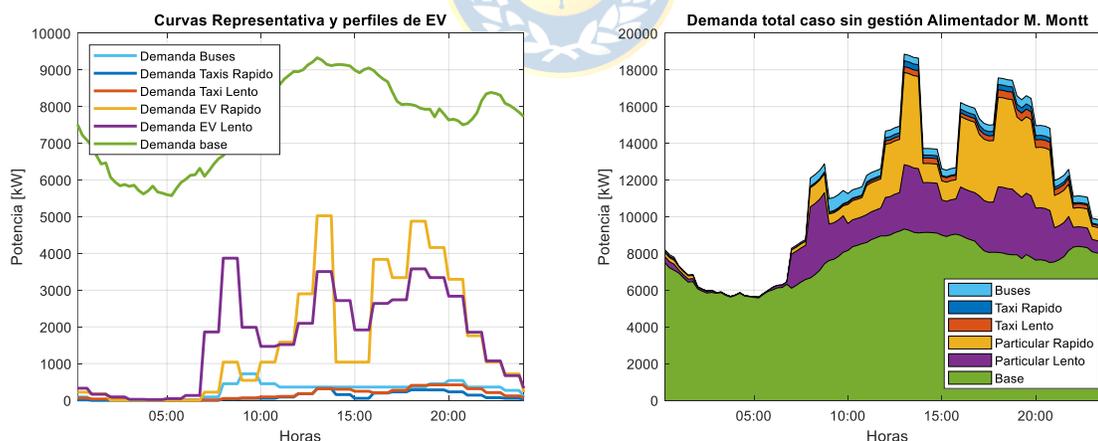
**Tabla 6-3: Horarios de carga y descarga de VE para enero en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**

Alimentador Chuyaca	Horario	Cargar Vehículo	Inyectar Energía
Horas Valle	01:00-08:15	Incentivar	Incentivo Bajo
Horas Planas	8:30-10:00	Costo Normal	Incentivo Moderado
	20:00-21:45		
	23:00-00:45		
Horas Punta	10:15-19:45	Sancionar	Incentivo Alto
	22:00-22:45		

Se presenta un periodo aproximado de siete horas valle para que los vehículos puedan realizar su carga nocturna. Se debe verificar el periodo de horas planas entre las 20:00 horas y 21:45 horas, puesto que corresponde a un periodo entre las horas de punta y su duración es de cerca de dos horas.

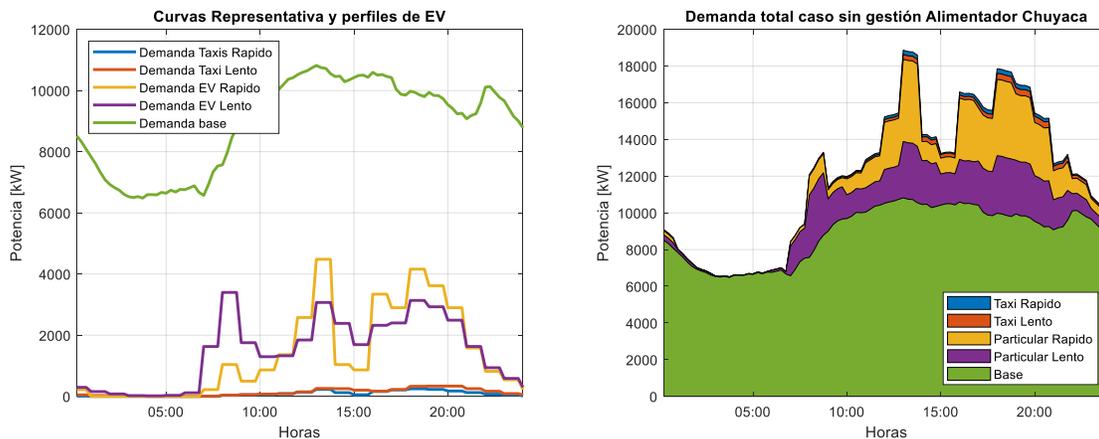
### 6.3.2 Demanda sin gestión para enero

Considerando los perfiles de demanda dados en el apartado 5.3. estos se suman a los perfiles de demandas generados por la agrupación de curvas para el mes de enero. Se considera el alimentador correspondiente y el crecimiento vegetativo. La situación de carga sin gestión o incentivos para la carga y descarga de VE en el mes de enero se muestra de la Figura 6-5 a la Figura 6-8.



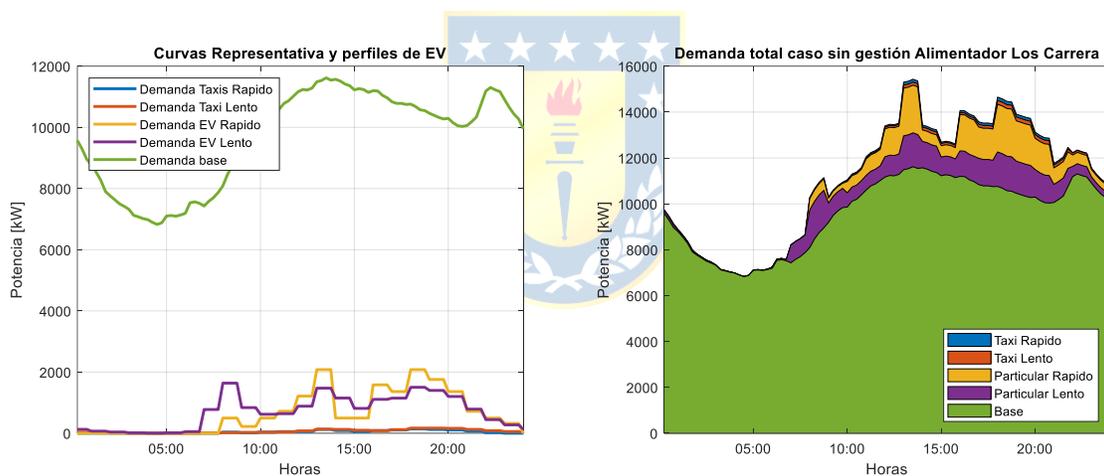
**Figura 6-5: Demanda sin gestión en el mes de enero alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).**

Debido a la gran cantidad de VE contemplados para el alimentador Manuel Montt se tiene que la demanda máxima en el alimentador es prácticamente el doble de la demanda base del alimentador. El mínimo de la demanda base es prácticamente el mismo que cuando se consideran VE en el alimentador.



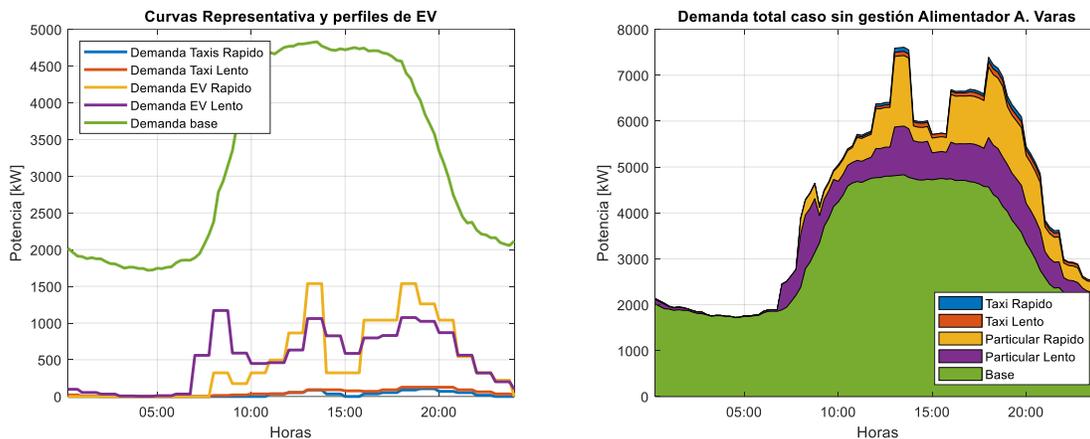
**Figura 6-6: Demanda sin gestión en el mes de enero alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**

Al igual que en el alimentador Manuel Montt, se tiene una gran cantidad de VE contemplados en la simulación de la demanda en el alimentador Chuyaca. Esto conlleva a un aumento significativo en la demanda máxima de la red.



**Figura 6-7: Demanda sin gestión en el mes de enero alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**

La demanda dada por los VE en el alimentador corresponde a una de las menores de los cuatro alimentadores debido a la cantidad de VE considerados. Sin embargo, es suficiente para cambiar el perfil de demanda y que la demanda máxima se produzca a una hora distinta a la que normalmente se produce cuando no hay VE.



**Figura 6-8: Demanda sin gestión en el mes de enero alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**

El alimentador Antonio Varas se ve afectado en cuanto al aumento de demanda, puesto que los horarios donde se produce el mayor consumo con respecto al perfil base del alimentador coinciden con los mayores consumos dados por el perfil de los VE.

De la Figura 6-1 a la Figura 6-4 es claramente visible que sin incentivos y con el patrón esperado de comportamiento de carga de los conductores se genera un aumento de la demanda máxima en todos los alimentadores. El caso más crítico es el del alimentador Manuel Montt, donde la demanda máxima pasa de ser 9,329 [MW] a 18.649 [MW], lo cual es un aumento del 199,9 %.

A pesar de las diferencias de las demandas base de cada alimentador, estas tienen en común que la demanda máxima se presenta a las 13:00 horas, seguida por una demanda dada a las 19:00 horas. Ambas demandas son consecuencia de incorporar los VE en la red.

Como se estableció en la sección 5.3, el tiempo de carga máximo contemplado corresponde a los taxis que demoran en cargar aproximadamente cuatro horas, lo que presenta una holgura de tiempo en las horas valle para la carga de los vehículos, ya que el periodo de hora valle mínimo es de siete horas.

## 6.4. Bandas Horarias para el mes de julio

### 6.4.1 Curvas representativas y bandas horarias en julio

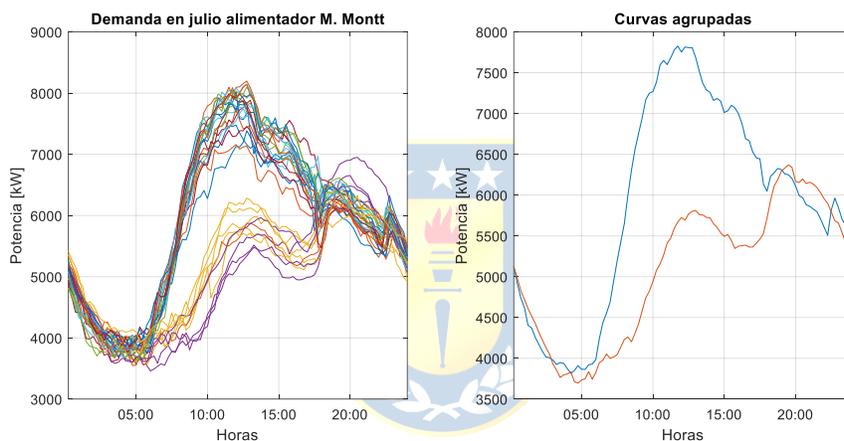
De la misma forma que se estudió en 6.3, se utilizan los datos entregados por SAESA para los alimentadores Manuel Montt, Chuyaca, Los Carrera y Antonio Varas con el fin de estudiar los periodos de menor y bajo consumo. Los resultados con respecto a los alimentadores Los Carrera y Antonio Varas se encuentran en el Anexo B.

Como se establece en 2.4, el mes de julio corresponde a un mes que presenta restricciones por consumos en horas de punta, lo cual corresponde al periodo entre las 18:00 y 22:00 horas en 2021 según CNE. En adelante esta hora de punta se cita como hora de punta CNE.

Ya que se ha demostrado en 6.3 que los VE en conjunto presentan un gran consumo eléctrico, se considera que una tarifa horaria específica para VE también contempla las restricciones dadas por las horas de punta CNE. Por lo que los horarios determinados consideran el conjunto de horas de punta y horas de punta CNE como sanciones de carga de vehículos e incentivo de inyección de energía.

#### A. *Alimentador Manuel Montt*

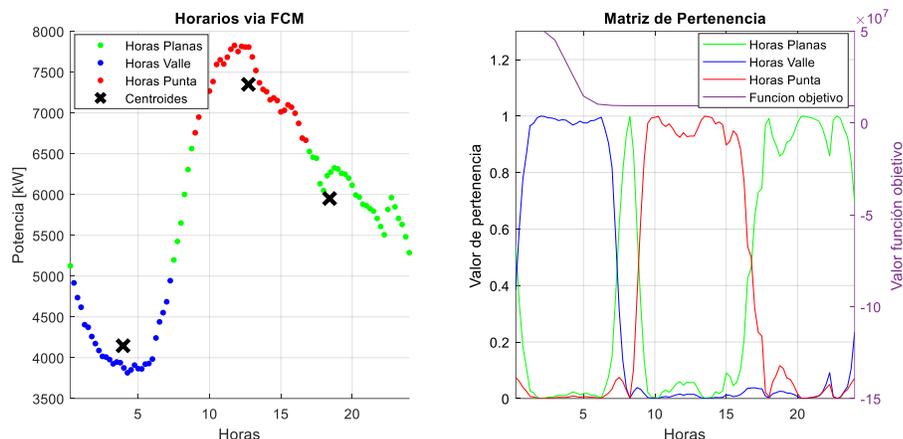
El consumo en el alimentador Manuel Montt y sus curvas agrupadas mediante el algoritmo K-Means se encuentran graficadas en la Figura 6-9.



**Figura 6-9: Demanda en el mes de julio en alimentador Manuel Montt y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia).**

Estas curvas muestran que la demanda en horas de punta CNE disminuye con respecto al mes de enero. Esto provoca que la mayor demanda del sistema esté presente entre las 10:00 y 12:00 horas. El perfil de demanda es similar hasta las 12:00 horas como en el caso de enero estudiado previamente. Se destaca que la demanda máxima dada en julio es mayor que la demanda máxima en enero.

El análisis de división de periodos mediante el algoritmo de agrupación entrega los resultados presentes en la Figura 6-10.



**Figura 6-10: División de periodos para el mes de enero en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).**

El algoritmo muestra cómo se extienden las horas planas debido a la disminución de consumo durante las horas punta CNE. También se destaca que las horas clasificadas como valle se adelantan una hora en su inicio y se atrasa una hora en su término comparado al caso de enero.

Bajo estos resultados, y considerando las horas de punta CNE como otro periodo restrictivo, se establecen las bandas horarias de carga y descarga de los vehículos como se muestra en la Tabla 6-4.

**Tabla 6-4: Horarios de carga y descarga de VE para julio en alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).**

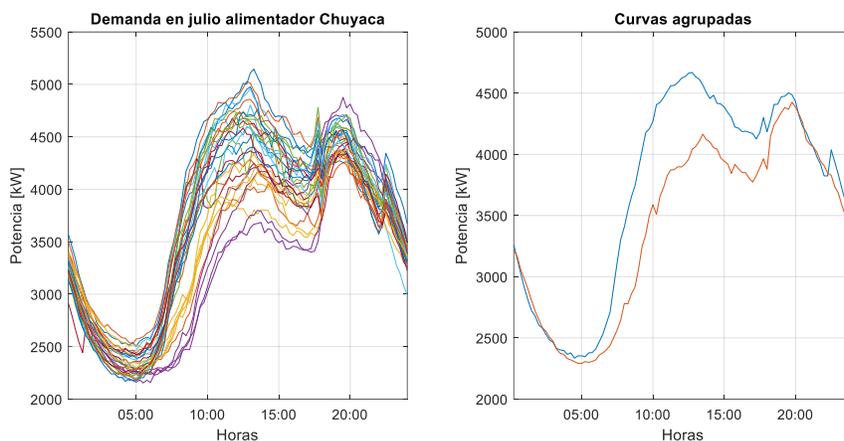
Alimentador Manuel Montt	Horario	Cargar Vehículo	Inyectar Energía
Horas Valle	00:30-07:15	Incentivar	Incentivo Bajo
Horas Planas	07:30-08:45	Costo Normal	Incentivo Moderado
	17:00-17:45		
Horas Punta	09:00-16:45	Sancionar	Incentivo Alto
Hora de punta CNE	18:00-22:00	Sancionar	Incentivo Alto

La clasificación de horas es similar al caso de enero, pero con una extensión de horarios donde se sanciona la carga de vehículos y se incentiva la inyección.

Las horas valle, al igual que en el caso de enero, corresponden a cerca de siete horas en las que se puede cargar un VE. Las horas planas llegan a abarcar cerca de dos horas, por lo tanto, convienen en caso de una carga de corta duración.

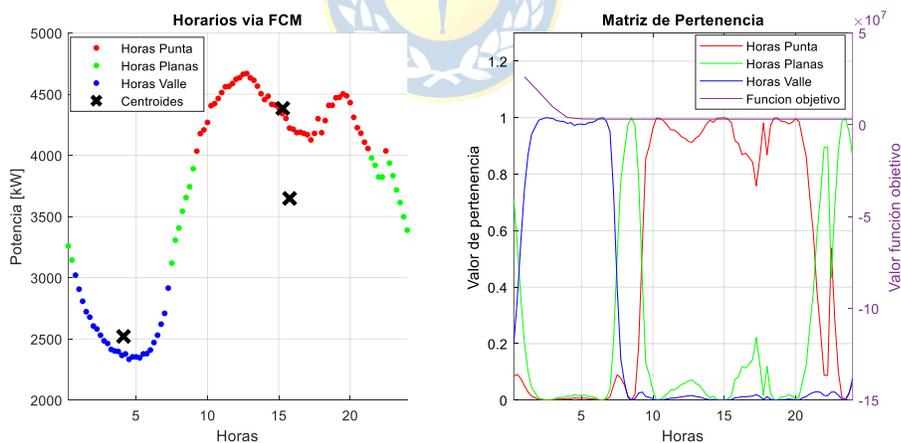
## B. Alimentador Chuyaca

La demanda dada en el alimentador Chuyaca junto a las curvas representativas para el mes de julio se muestran en la Figura 6-11.



**Figura 6-11: Demanda en el mes de julio en alimentador Chuyaca y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia).**

Al igual que en las medidas de julio dadas en el alimentador Manuel Montt, estas presentan una disminución en el consumo dado en horas de punta CNE. También se destaca que se tiene una demanda máxima menor que en enero. El estudio de la división de periodos se presenta en la Figura 6-12.



**Figura 6-12: División de periodos para el mes de enero en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**

Al contrario del caso de enero, se tiene que las horas de mayor consumo están agrupadas a un único periodo horario. En este caso, de por sí la mayoría de las horas de punta CNE ya se han clasificado en el alimentador como de mayor consumo. Además, el algoritmo sugiere clasificar la demanda dada en la hora 22:30 como hora de punta. Sin embargo, como es un instante de corta duración esta se clasifica como hora plana.

Estos resultados en conjunto con los datos por las horas de punta CNE establecen las horas de carga y descarga como se ve en la Tabla 6-5.

**Tabla 6-5: Horarios de carga y descarga de VE para julio en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**

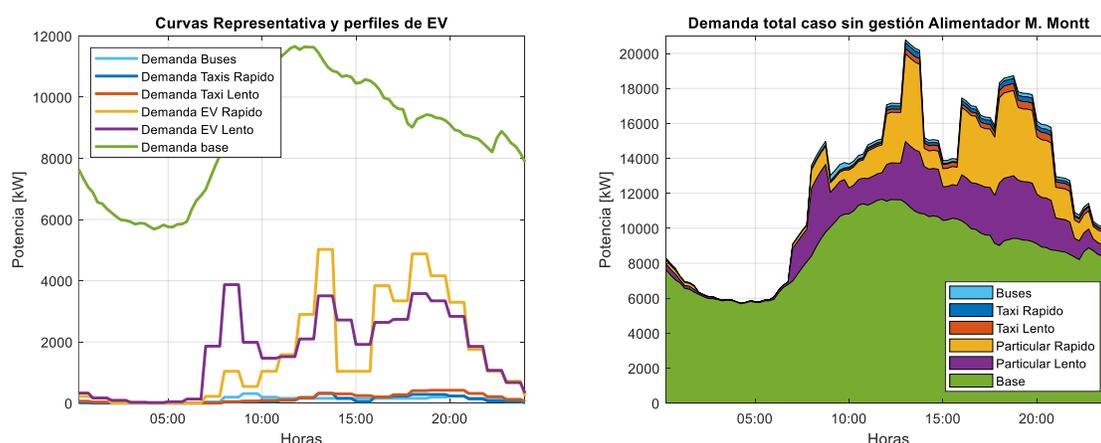
Alimentador Chuyaca	Horario	Cargar Vehículo	Inyectar Energía
Horas Valle	00:45-07:15	Incentivar	Incentivo Bajo
Horas Planas	07:30-09:00	Costo Normal	Incentivo Moderado
	22:15-00:30		
Horas Punta	09:15-17:45	Sancionar	Incentivo Alto
Hora de punta CNE	18:00-22:00	Sancionar	Incentivo Alto

Comparando al caso de enero se tiene que las horas clasificadas como punta se han adelantado una hora. Además, se destaca que las horas donde se sanciona la carga se terminan prácticamente una hora antes que en el caso de enero.

Las horas valle tienen una duración de seis horas y treinta minutos, lo cual es suficiente para cargar cualquier vehículo de los que se ha considerado en el estudio.

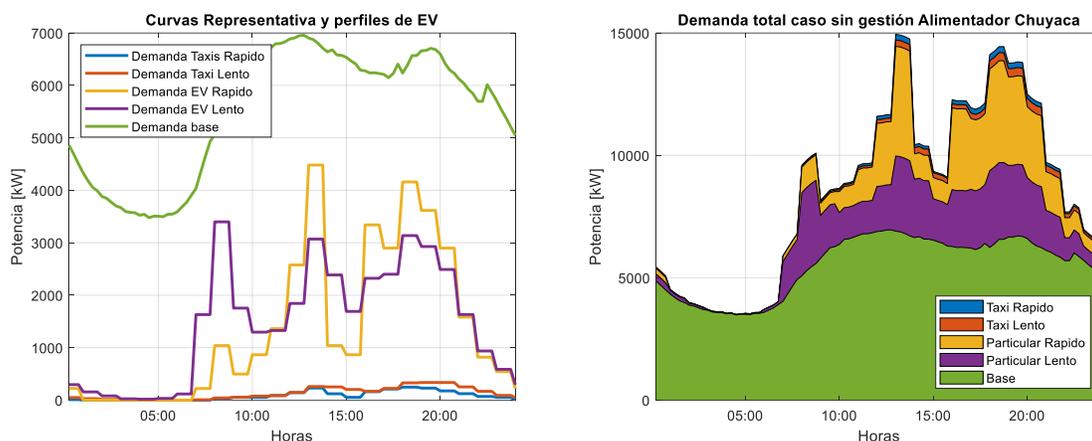
#### 6.4.2 Demanda sin gestión para julio

Considerando los perfiles de demanda dados en el apartado 5.3, se agregan estos a los perfiles de demanda determinados para el mes de julio, según el alimentador correspondiente y considerando el crecimiento vegetativo, y se presenta la situación de carga sin gestión o incentivos para la carga y descarga de VE en el mes de julio. El perfil de demanda en cada uno de estos alimentadores es como se muestra desde la Figura 6-13 a la Figura 6-16.



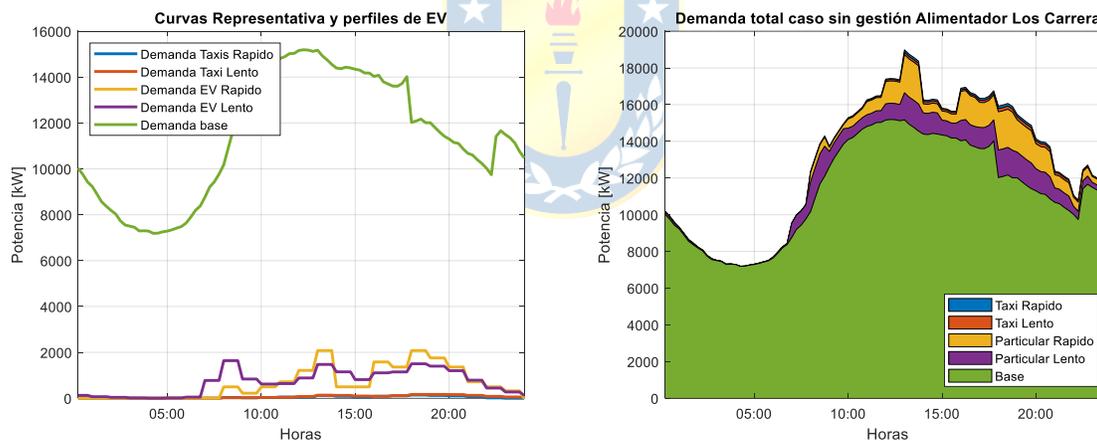
**Figura 6-13: Demanda sin gestión en el mes de julio alimentador Manuel Montt (Elaboración Propia).**

Al igual que el mes de enero se tiene el mismo aumento de demanda máxima que llega a ser casi el doble de la demanda base del sistema debido a la gran cantidad de VE que se contemplan a futuro.



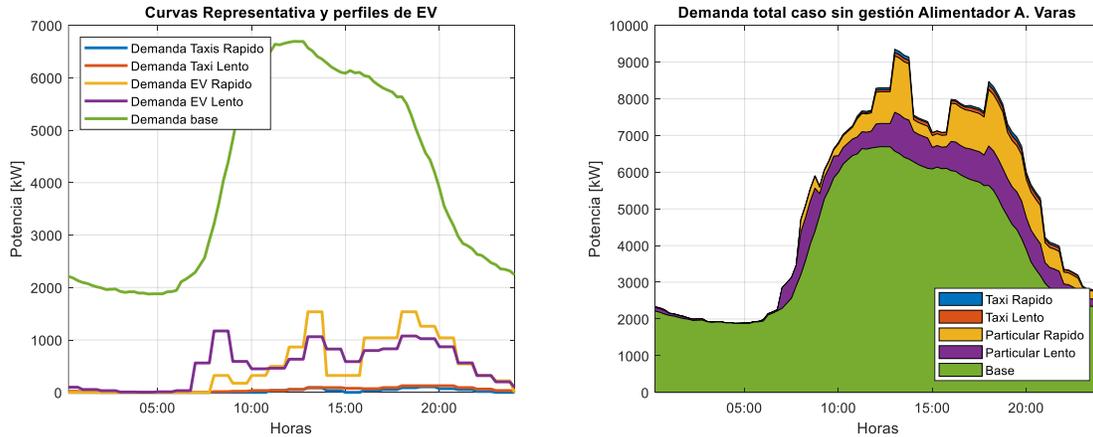
**Figura 6-14: Demanda sin gestión en el mes de julio alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**

Para el alimentador Chuyaca se presenta un aumento significativo de la demanda máxima del sistema al igual que el alimentador Manuel Montt y similar al caso de enero.



**Figura 6-15: Demanda sin gestión en el mes de julio alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**

Debido a la forma del perfil de demanda base, se tiene que la carga de los VE se produce en horarios inconvenientes, aumentando en gran manera la demanda presente a las 13:00 horas.



**Figura 6-16: Demanda sin gestión en el mes de julio alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**

En Antonio Varas se presenta el mismo problema de enero en cuanto al aumento de demanda máxima en horas clasificadas como mayor consumo, con una clara mala utilización de la red, puesto que la demanda máxima es cerca de cinco veces mayor que la demanda en hora nocturna. La demanda máxima se produce en conjunto a las 13:00 para cada alimentador.

Desde las Figura 6-13 a la Figura 6-16 se tienen resultados similares al caso de enero, puesto que la demanda de los VE sin gestión se ha considerado igual en ambos casos y solo ha cambiado el perfil base de demanda de cada alimentador.

## 6.5. Desplazamiento de demanda con gestión en base a banda horaria

Los periodos horarios establecidos tienen como finalidad promover o sancionar la carga y descarga en ciertos lapsos de tiempo. Estudios previos, como el realizado en [7], muestran que los clientes aplazan o adelantan sus cargas al utilizar tarifas con diferenciación de precios. Para realizar un análisis se hacen las siguientes consideraciones en cuanto al comportamiento de los clientes:

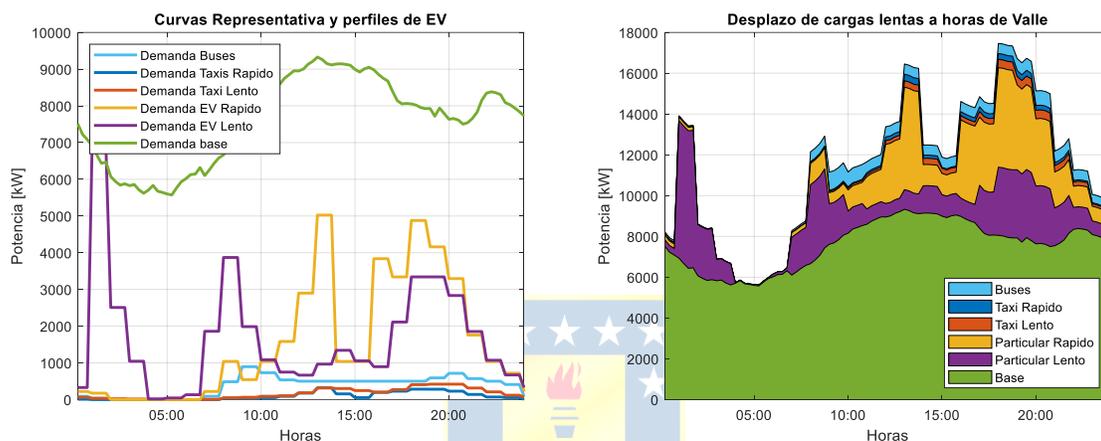
- Un 80 % de los conductores moverán su demanda de las horas de punta a las horas valle.
- Los vehículos con tecnología V2G inyectarán energía a la red hasta un 50 % del SoC.
- Un tercio de los VE con tecnología V2G participará en la inyección, lo que corresponde una novena parte de los VE totales.
- Los vehículos que inyecten energía lo harán en las horas de mayor y mediano incentivo.
- Sólo los vehículos que realicen una carga lenta desplazarán su carga; las cargas rápidas se tomarán como cargas urgentes.

Bajo estos supuestos se procede a analizar algunos perfiles de demanda y horarios estimados en las secciones 6.3 y 6.4 con el fin de visualizar los cambios en la demanda, realizar ajustes a los

horarios ya propuestos y estudiar otras posibles soluciones para disminuir la demanda del sistema. Se analizará la demanda del alimentador con la peor condición de demanda, lo que, en este caso, corresponde al alimentador Manuel Montt como se muestra en la sección 6.3.2.

### 6.5.1 Caso alimentador Manuel Montt en enero

Al desplazar la demanda correspondiente a carga lenta de vehículos particulares desde las horas punta (entre las 10:00 y 17:00 horas) hasta las horas valle (entre las 1:00 y 8:00) se tiene el perfil de demanda mostrado en la Figura 6-17.



**Figura 6-17: Desplazo del 80 % de las cargas lentas a horas de menor consumo en alimentador M. Montt en enero (Elaboración Propia).**

Se determina que mover 80 % de la carga en hora de punta tiene un efecto reductor de demanda máxima en el sistema, la cual disminuye en 2,399 [MW] y equivale a un 12,72 % de reducción de demanda con respecto al caso sin gestión. Sin embargo, se aprecia un *peak* de demanda cuando inicia el periodo de incentivo de carga. Esta *peak* es de 13,92 [MW] y corresponde a una simultaneidad de cargas de VE.

En [3] se asevera que evitar la simultaneidad permite reducir costos de operación y de refuerzos. Para evitar la conexión múltiple de VE a la misma hora, en [5] se propone dividir las horas de menor consumo y sectorizar el lugar, dando señales de precios a cada sector en una de esas horas de la división.

En este caso, las horas valle comprenden el periodo de 01:00 a 08:00 horas. Como se establece en la Tabla 5-3, el tiempo de carga de los vehículos particulares contemplando la distancia recorrida es de 2 horas. Así también se tiene que los taxis demoran en cargar cerca de 4 horas. Como las personas usualmente salen a su trabajo cerca de las 07:00 horas, para que un VE puede ser cargado durante al menos 4 horas debe comenzar su carga a las 03:00 horas.

De esta forma, se propone la implementación de un periodo de transición entre las horas de mediano consumo y las de bajo consumo, en el cual siga siendo incentivada la conexión debido al menor consumo, pero realizando una diferenciación suficiente como para aplazar la carga.

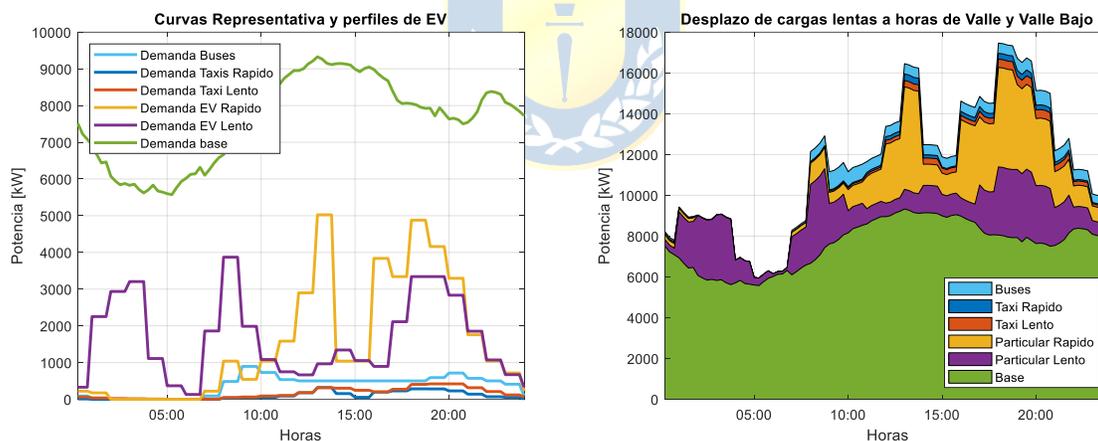
Para esto, se denominará el periodo de transición como horas valle y las horas de menor consumo como horas de valle bajo. De esta forma, al dividir el periodo comprendido entre las 01:00 a 03:00 horas en tres se tiene la división horaria de bajo consumo en la Tabla 6-6.

**Tabla 6-6: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo (Elaboración Propia).**

	Horario		
Alimentador Manuel Montt	1:00	2:00	3:00 - 8:00
Sector 1	Valle Bajo	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 2	Valle	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 3	Valle	Valle	Valle Bajo

Para que esto sea justo, se propone que esta división sea rotativa entre sectores, asignándoles las señales tarifarias diarias. Además, como se sigue incentivando la conexión en horas valle, si un usuario necesita cargar su vehículo por más de 4 horas, podrá realizarlo sin una sanción significativa.

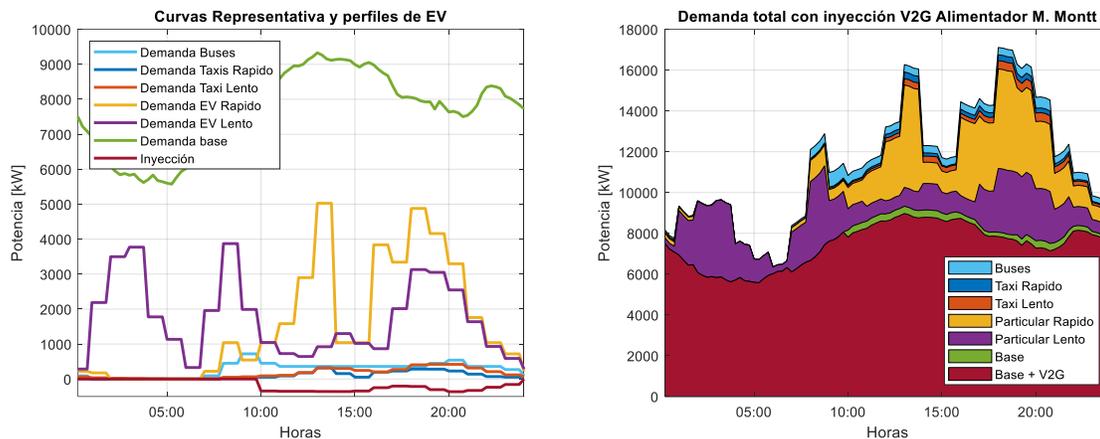
El perfil de demanda bajo esta nueva consideración se puede revisar en la Figura 6-18.



**Figura 6-18: Desplazo de carga a horas de Valle y Valle Bajo en alimentador M. Montt en enero (Elaboración Propia).**

La disminución del *peak* de demanda en horas de menor consumo es de 4,49 [MW], lo cual equivale a una reducción del 32,2 % de la demanda en periodo valle.

Junto a las reducciones anteriores, se espera que los VE que posean tecnología V2G inyecten energía a la red. Se propone que se incentive esta inyección en las horas punta equivalentes al periodo de 10:00 a 17:00 horas en el caso del alimentador Manuel Montt. El perfil de demanda con estas inyecciones se puede visualizar en la Figura 6-19.



**Figura 6-19: Desplazamiento de demanda e inyección V2G para enero en alimentador M. Montt (Elaboración Propia).**

Para el caso de la inyección de energía se puede ver una disminución de demanda en horas punta y planas, ya que los VE no consumen energía mientras inyectan. Además, estos reducen la demanda vista por el sistema, ya que alimentan las cargas cercanas al punto de conexión. Junto a lo anterior, se logra mover otra parte de la demanda a horas valle y valle bajo puesto que los VE que inyectan energía se cargan en dichas horas. La demanda máxima en horas de valle y valle bajo aumenta en 0.56 [MW] en comparación con el caso sin V2G.

Aquellos VE que han inyectado tienen un SoC cercano al 50 %, por lo que demoran más en cargarse que aquellos que no inyectan. Por esto, el perfil de demanda muestra que la demanda en horas de valle y valle bajo se extiende en comparación al caso sin V2G.

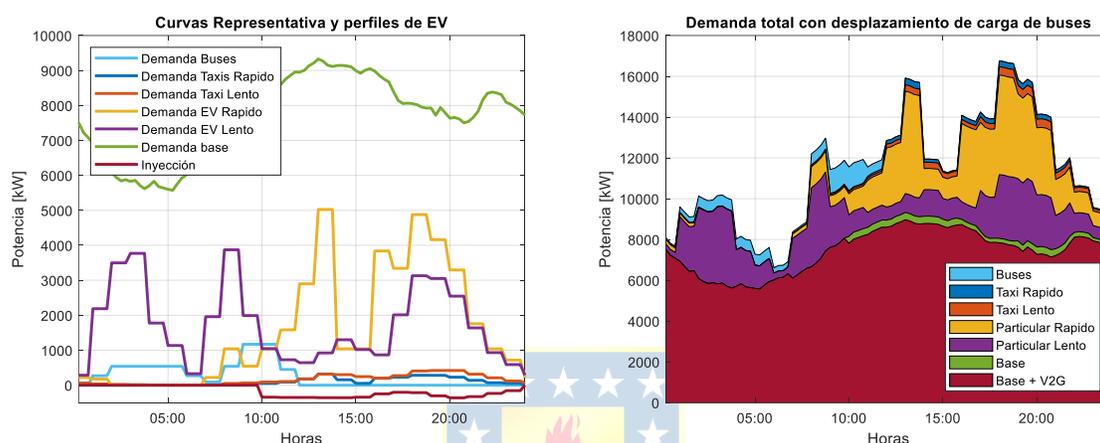
Con respecto a los buses, la empresa de transporte Mini Buses Hualpencillo plantea que estos realizan entre cuatro a cinco recorridos diarios, dependiendo de la hora en que estos vuelven al terminal. Cada uno de estos viajes abarca una distancia aproximada de 35,9 [km]. Esto equivale a dejar un eBus con un estado de carga de 60,5 % después de un recorrido considerando que se está utilizando el modelo FOTON U12. Con dos de estos recorridos el SoC llega a 20,9 %, por tanto, cada dos salidas se deben cargar los buses. Si el vehículo realiza cuatro vueltas al día, las últimas dos cargas se pueden realizar en horas nocturnas.

La distribución de esa demanda nocturna dependerá del número de cargadores disponibles en la terminal. La carga hasta el 100 % del SoC en caso de considerar dos vueltas toma un tiempo de 98 minutos y si se desea cargar hasta el 90 % toma 75 minutos.

Como la carga en alta potencia realizada en DC se ralentiza luego del 80 % del SoC es posible que despachen los buses luego de otorgarles una carga de 42 minutos, carga suficiente para que el bus realice un recorrido y quede un 20 % del SoC al final de este.

Considerando que los buses llegan de sus primeros dos recorridos entre las 09:00 y 10:00 horas es inevitable que estos se carguen después de ese horario, donde el consumo en los cuatro alimentadores anteriores aumenta; aunque sí se puede evitar la carga durante la tarde desplazándola a horas nocturnas.

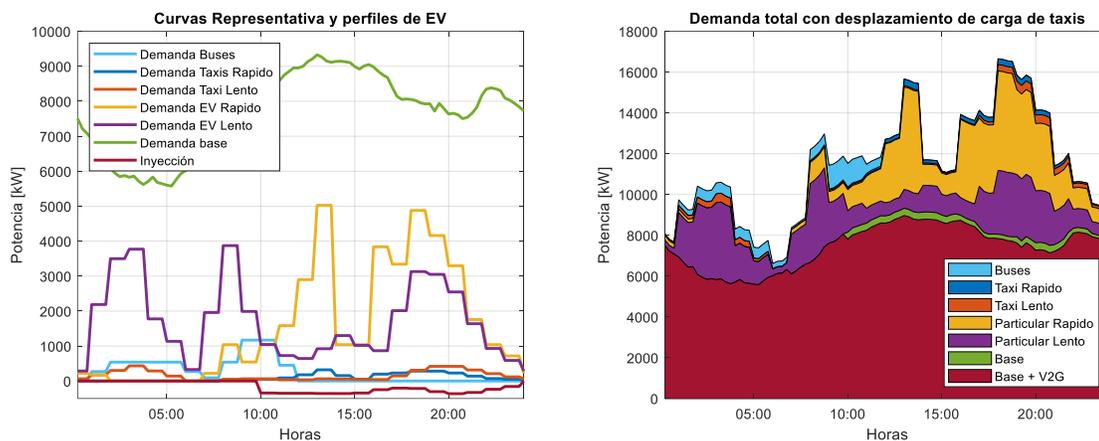
Ya que la carga dura aproximadamente una hora y el primer bus sale a las 06:00 se puede dividir el periodo comprendido de horas valles desde la 01:00 a 6:00 en cinco partes. El resultado de esto se encuentra en la Figura 6-20.



**Figura 6-20: Desplazamiento de la carga de buses para enero en alimentador M. Montt (Elaboración Propia).**

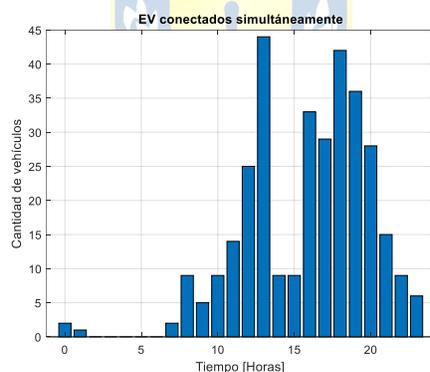
Este horario para buses logra reducir la demanda máxima en 0,36 [MW] y el aumento en horas de valle es de 0,54 [MW].

En cuanto a los taxis se tiene la limitante de información en cuanto a su comportamiento. Se asume que su patrón de salida y llegada se condice con el de cualquier persona. Por lo tanto, se asume que también estarán influenciados por las tarifas horarias. Las cargas lentas de taxis se desplazan como se muestra en la Figura 6-21.



**Figura 6-21: Demanda total con desplazamiento de cargas para enero en alimentador M. Montt (Elaboración Propia).**

Si bien se logra reducir la demanda del sistema se tiene que el mayor problema está dado por las cargas rápidas. Estas se han considerado como cargas de urgencia, por lo tanto, no se han desplazado, y en conjunto representan una demanda máxima de 5,35 [MW]. Esta mayor demanda por carga rápida viene dada por la conexión simultánea de 44 vehículos, lo cual, comparado con los 4.132 VE presentes en el alimentador Manuel Montt, representa el 1,06 % del total de vehículos y es una cantidad de conexiones simultáneas razonable.

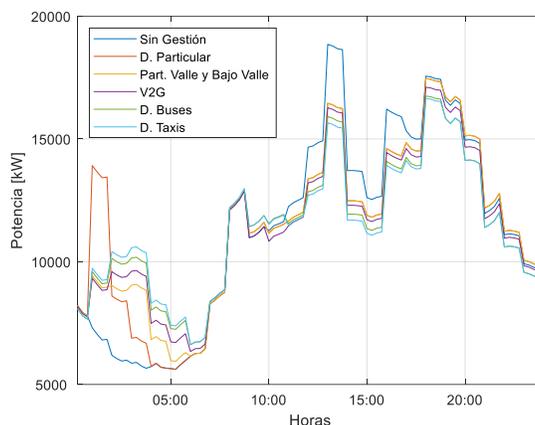


**Figura 6-22: Cantidad de conexiones simultáneas consideradas en alimentador Manuel Montt según patrones de comportamiento (Elaboración Propia).**

Dado que no se pueden mover las demandas por cargas rápidas, se debe condicionar la red y mejorar la infraestructura para que esta pueda ser capaz de suministrar energía bajo esta situación, con una posible demanda máxima de 16,65 [MW].

La gestión horaria muestra que la demanda máxima disminuye de 18,85 [MW] a 16,65 [MW]. Disminuir la demanda máxima en 2,20 [MW] es una reducción del 11,67 % de la carga presente en el sistema. Estos 2,20 [MW] equivalen a 286 VE que se carguen a 7,7 [kW].

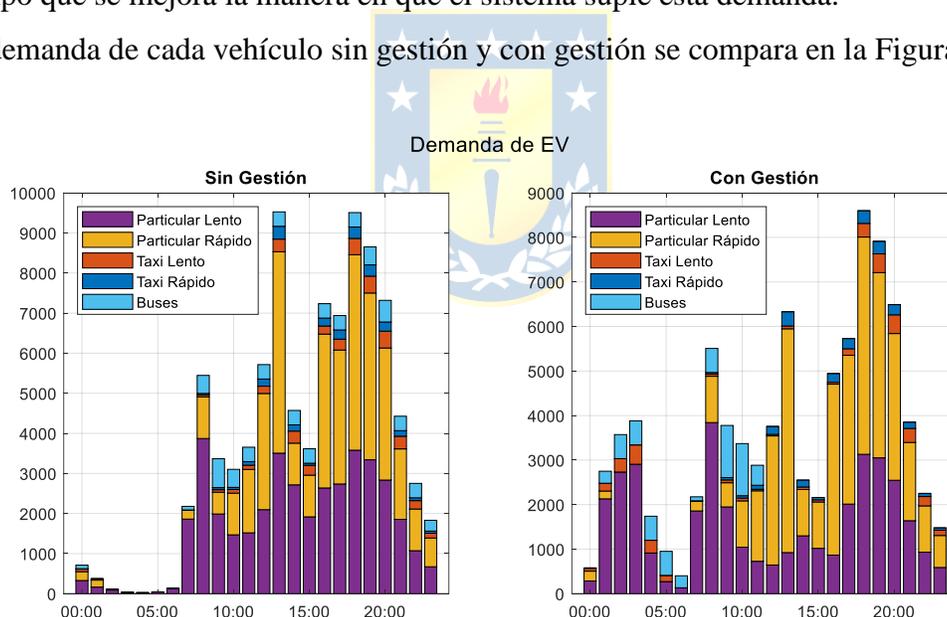
Todos los desplazamientos realizados se pueden visualizar en la Figura 6-23.



**Figura 6-23: Perfil de demanda para cada desplazamiento realizado (Elaboración Propia).**

De la Figura 6-23 se deduce que los horarios propuestos logran disminuir la demanda del sistema además de disminuir los *peaks* de demanda dados por la conexión simultánea de vehículos. Se cumple el objetivo de desplazar la demanda desde horas de mayor consumo a horas nocturnas al mismo tiempo que se mejora la manera en que el sistema supe esta demanda.

La demanda de cada vehículo sin gestión y con gestión se compara en la Figura 6-24.

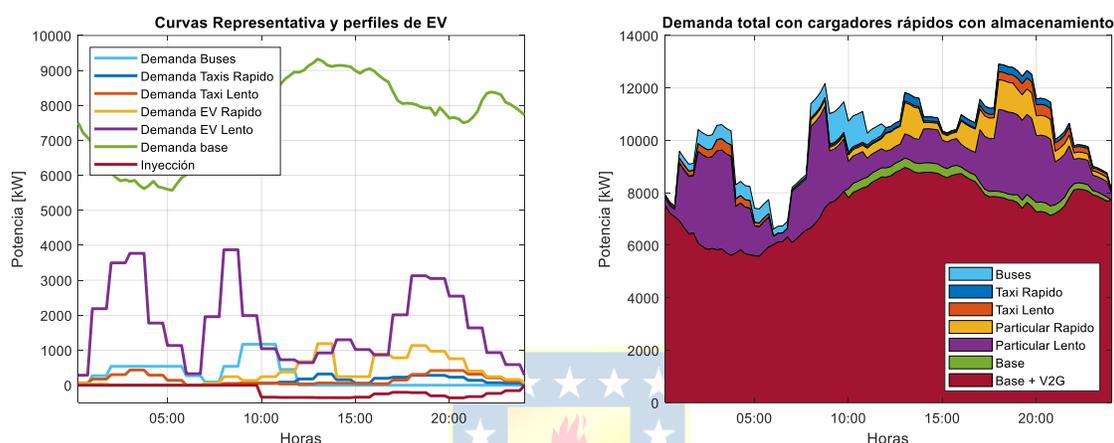


**Figura 6-24: Demanda de los VE sin gestión y con bandas horarias (Elaboración Propia).**

Como se ve en la Figura 6-24, al tener una gestión en base a banda horaria se tiene un aumento de demanda en horas nocturnas y una reducción de demanda en las horas de mayor consumo. El perfil de demanda se modifica aliviando el estrés del sistema como se ve a las 13:00 horas, donde el consumo dado por los VE se reduce de 9,5 [MW] a 6,3 [MW], resultando en una disminución de 3,2 [MW]. Además, la demanda máxima dada por el conjunto de VE se reduce en las horas de punta.

Cabe destacar que aún cuando las cargas rápidas puedan desplazarse estas quedarían sometidas a horarios poco comunes, como las horas de trabajo o nocturnas cuando las personas están ya en sus casas. Una posible solución sería implementar restricciones de potencia máxima en cargadores para ciertos horarios, con lo cual el tiempo de carga aumentaría, pero no estresarían tanto a la red. Otra solución posible es integrar cargadores que posean baterías internas como el mencionado en 2.1.5.

A manera de ejemplo, si existieran cargadores como los descritos en 2.1.5 la demanda total de los vehículos disminuye tal como se ve en la Figura 6-25.



**Figura 6-25: Demanda total con gestión horaria si se implementan cargadores con almacenamiento en alimentador M. Montt (Elaboración Propia).**

La demanda total del alimentador en cierta forma se aplana, existiendo algunos valores con los que la red deberá lidiar. En este caso hipotético de penetración de vehículos y con la estimación de comportamiento de los usuarios, la demanda máxima del sistema se reduce desde 18,85 [MW] a 12,91 [MW].

## 6.5.2 Caso alimentador Manuel Montt en julio

Julio corresponde a un mes que se encuentra entre los meses donde se aplica la sanción por horas de punta CNE y el límite de invierno. Con este horario presente, se procede a realizar los movimientos de demanda correspondientes y los ajustes de los horarios de carga.

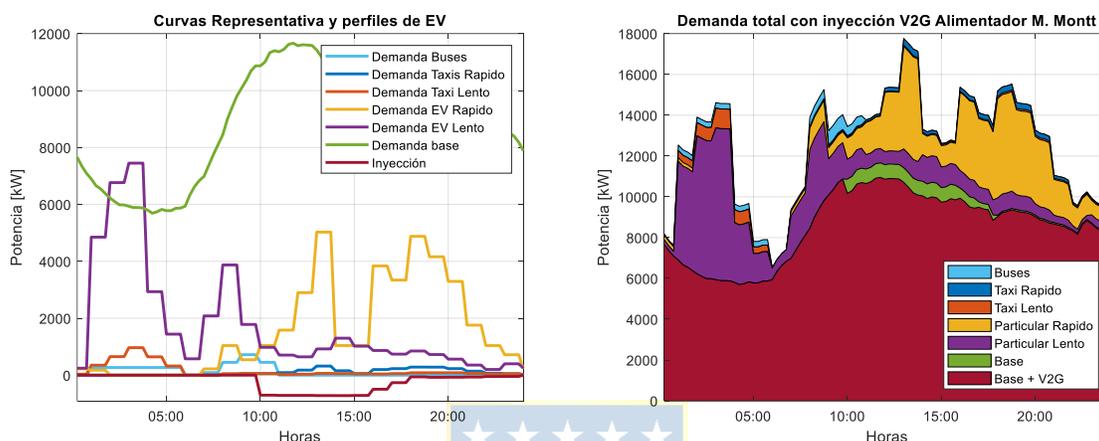
Como se presentó en 6.5.1, se tienen las mismas restricciones para la carga puesto que ninguna de estas entra en conflicto con el horario de punta CNE, sino que esta restricción fortalece la decisión de sancionar la conexión en esas horas.

Al igual que en el mes de enero, la demanda de carga lenta de vehículos particulares y taxis puede ser desplazada a las horas valle. Dicho desplazamiento debe contemplar que las horas de

sanción han aumentado debido a la existencia de las horas de punta CNE. Como las horas valle abarcan entre las 01:00 y 07:00 horas, se puede realizar la misma división vista en la Tabla 6-6.

Las condiciones a las cuales los buses realizan su carga son similares a las dadas para el mes de enero, por lo que el perfil desplazado se mantiene.

Por ende, los perfiles desplazados obtenidos en dicha sección se mantienen, con la excepción del perfil de carga lenta de vehículos particulares y taxis como se muestra en la Figura 6-26.



**Figura 6-26: Demanda total con gestión horaria para enero en alimentador M. Montt (Elaboración Propia).**

La demanda aumenta en gran manera en las horas valle, puesto que las horas donde existe una sanción son aún más extensas que en el mes de enero. La demanda en potencia prevista en estas horas llega a 14,62 [MW], siendo 7,80 [MW] demandado por los VE; lo cual es mayor que la demanda dada por las cargas rápidas en horas del día, las cuales llegan a un máximo de 5,35 [MW].

Con respecto a las cargas rápidas se tiene el mismo problema dado en la sección 6.5.1, donde estas aumentan la demanda máxima total del sistema con cargas que no pueden ser desplazadas.

La demanda máxima en el sistema en el caso sin gestión es de 20,95 [MW]. Esta es reducida por el desplazamiento de demanda a 17,76 [MW], lo cual es una reducción de carga de 15,25 % o 3,19 [MW], cantidad equivalente a cargar aproximadamente 414 VE a 7,7 [kW].

### 6.5.3 Otros alimentadores en meses de enero y julio

Los procedimientos establecidos en 6.5.1 y 6.5.2 para desplazar la demanda se aplican para las demás predicciones sobre la demanda bajo gestión horaria.

En el Anexo C se encuentran los perfiles de demanda y los horarios establecidos bajo este mismo análisis para los demás alimentadores para los meses de enero y julio.

## 6.5.4 Resultados

Del análisis realizado en cada alimentador para los meses de enero y julio se obtienen predicciones en cuanto al futuro consumo eléctrico de VE en el lugar de estudio. Con la demanda calculada en el caso sin gestión y gestionado se puede comparar la demanda máxima producida en ambos casos. Para las zonas abarcadas por los alimentadores se tiene que la demanda máxima para enero y julio en el caso gestionado y sin gestión se encuentra en la Tabla 6-7.

Se visualiza que en cada caso se logra una reducción de la demanda máxima. Las zonas con mayores cantidades de vehículos, las cuales corresponden en este caso a las abarcadas por los alimentadores Manuel Montt y Chuyaca, presenten la mayor disminución de carga en el sistema. Esto verifica la efectividad de la tarifa en base horaria, ya que a mayor cantidad de penetración de vehículos es mayor el beneficio dado por esta.

**Tabla 6-7: Demanda máxima presente a nivel de alimentador para los meses de enero y julio con y sin gestión horaria de VE (Elaboración Propia).**

Alimentador	Máxima potencia demandada (Sin Gestión) [kW]	Máxima potencia demandada (Gestionado) [kW]	Reducción [%]
Los Carrera (enero)	14.517	13.594	6,4
Los Carrera (julio)	18.076	17.138	5,2
Manuel Montt (enero)	16.257	13.856	14,8
Manuel Montt (julio)	18.353	15.918	13,3
Chuyaca (enero)	16.658	14.776	11,3
Chuyaca (julio)	12.741	10.859	14,8
Antonio Varas (julio)	6.851	6.189	9,7
Antonio Varas (enero)	8.576	7.924	7,6

La Tabla 6-7 muestra que la reducción de demanda máxima llega a ser 14,8 %. Por el contrario, la mínima reducción que se logra es de 5,2%. Este 5,2 % es una cantidad significativa puesto que equivale a una reducción de 0.94 [MW].

Analizando específicamente la demanda de los VE en los casos gestionado y sin gestión se puede realizar una comparación con respecto a la demanda dada a las 13:00 horas. Este instante

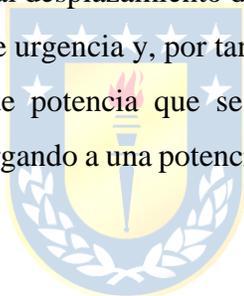
temporal es común en todos los alimentadores puesto que la demanda máxima en el caso sin gestión ocurre a esta hora. Las demandas de VE a las 13:00 horas, junto a un análisis de la reducción de carga, se ven en la Tabla 6-8.

**Tabla 6-8: Demanda dada por los VE a las 13:00 horas con y sin gestión horaria (Elaboración Propia).**

Alimentador	Potencia demandada 13:00 horas (Sin Gestión) [kW]	Potencia demandada 13:00 horas (Gestionado) [kW]	Reducción [%]	Reducción en potencia [kW]	Equivalente VE cargando a 7,7 [kW]
Los Carrera	2.010	1.358	32,4	652	85
Manuel Montt	6.929	4.465	35,6	2.464	320
Chuyaca	5.838	3.956	32,2	1.882	244
Antonio Varas	2.903	1.942	33,1	961	125

Los resultados arrojan que en promedio la demanda de los VE se reduce en un 33,3 %. Se destaca que esta disminución es gracias al desplazamiento de todo tipo de carga, sin contar las cargas rápidas, las cuales se establecen como de urgencia y, por tanto, no se pueden desplazar.

Para dimensionar la cantidad de potencia que se evita se realiza una aproximación del equivalente de consumo de vehículos cargando a una potencia de 7,7 [kW], donde la máxima cantidad equivalente en vehículos es de 320.



## Capítulo 7. Simulación en DigSilent

---

### 7.1. Introducción

En este capítulo se realiza la simulación del escenario de demanda dado por los VE en la ciudad de Osorno con el fin de detectar elementos del sistema que no sean capaces de soportar la penetración de VE pronosticada. La detección de estos elementos permitirá reforzar la zona donde se genere la congestión o plantear el problema para alguna solución futura.

La simulación de un flujo de potencia se realiza con base en las consideraciones previas y con una selección de lugares donde es posible que existan cargadores públicos y cargadores rápidos. Los lugares con cargadores públicos han sido seleccionados según lugares de trabajo disponibles, además de considerar lugares como hospitales, universidades, colegios, supermercados y centros comerciales. Los cargadores rápidos han sido ubicados donde actualmente se encuentran las estaciones de servicio. A estos cargadores se les ha dispuesto de un transformador propio en el modelo para así estudiar el efecto de las cargas residenciales en los transformadores existentes.

También se realiza una simulación sin ningún VE y considerando sólo el crecimiento vegetativo con el fin de que este sea un caso base para realizar las comparaciones correspondientes.

Esto se hará particularmente en el mes donde los alimentadores presenten una mayor demanda luego de realizar la gestión de carga.

Por último, se realiza una predicción del año en el cual el porcentaje de penetración junto al crecimiento vegetativo superan la capacidad de la infraestructura disponible. Este porcentaje de penetración está en base a la gestión horaria.

### 7.2. Alimentador Manuel Montt: julio

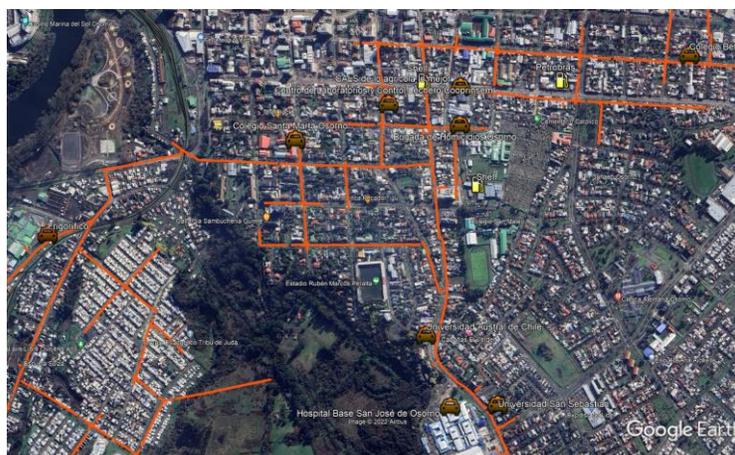
En la zona abarcada por el alimentador se han contemplado cargadores ubicados como se ve en la Figura 7-1, donde los iconos de automóviles son lugares de carga pública y los íconos de estaciones de servicio corresponden a electrolinerías.

Con estos cargadores eléctricos ubicados se procede a estudiar el impacto resultante por una carga sin gestión y por una en base a horarios.

Para el caso sin vehículos, sin gestión y gestionado se estudia la mayor demanda del alimentador correspondiente al dado a las 13:00 horas. La demanda base ha sido escalada según el día

1 de julio de 2021, ya que ese día se produce la mayor demanda a las 13:00 horas, con su respectivo crecimiento vegetativo estimado para el año 2050.

En el caso gestionado también se estudia la mayor demanda dada en las horas nocturnas, correspondiente a las 03:00 horas debido a la conexión de todos los VE particulares. La demanda ha sido escalada según el día 30 de julio con su respectivo crecimiento vegetativo estimado para el año 2050.



**Figura 7-1: Cargadores públicos y rápidos contemplados para la simulación en M. Montt (Elaboración Propia).**

### 7.2.1 Simulación sin penetración de VE

El caso base planteado contempla sólo el crecimiento vegetativo como nueva demanda en el sistema.

Analizando las líneas de transmisión se encuentra que la máxima carga presente en una línea es de 73,5 %. Entonces, el sistema está preparado para el crecimiento vegetativo pronosticado.

Para los transformadores de distribución se detecta la sobrecarga en 25 de estos si se siguen manteniendo los existentes.

### 7.2.2 Situación sin gestión horaria

En el caso sin gestión la demanda considerada según la predicción estimada para cada uno de los eventos de carga se encuentra en la Tabla 7-1.

**Tabla 7-1: Demanda por tipo de carga situación sin gestión en M. Montt, año 2050 (Elaboración Propia).**

Sin Gestión 13:00 horas	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga de Buses	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	463	49	44	4	43	11
Demanda [kW]	3.169	336	5.025	360	315	320

Con respecto a la congestión de las líneas de transmisión en media tensión se tienen 58 líneas sobrecargadas, las cuales corresponden al conjunto de líneas procedentes de la subestación Osorno. De estas 58 líneas, 29 tienen una carga de 132,4 %. Las líneas sobrecargadas contemplan una longitud total de 1,71 kilómetros.

En cuanto a los transformadores de distribución, según la información inserta en el modelo de Osorno proveído por SAESA y si estos alimentan a los cargadores residenciales se tiene que al menos 47 de los 80 presentes no serían capaces de soportar la conexión de los VE para cargas residenciales y públicas.

### 7.2.3 Situación con tarifa horaria a las 13:00 horas

En el caso gestionado se considera la demanda pronosticada para cada tipo de carga como se muestra en la Tabla 7-2.

**Tabla 7-2: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 13 horas en M. Montt, año 2050 (Elaboración Propia).**

Gestionado 13:00 horas	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga de Buses	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	80	49	44	0	9	11
Demanda [kW]	586	336	5.025	0	63	320

Esta estimación proyecta el desplazo del 80 % de las cargas residenciales, de buses y taxis a horas valle.

Con respecto a la congestión de las líneas se tienen 36 líneas de media tensión con una carga entre 109,9 % y 112,5 %. También se tienen otras 3 líneas con una ocupación cercana al 100 %. Estas líneas también son las que proceden desde la subestación Osorno y abarcan una distancia de 1,18 kilómetros.

En cuanto a los transformadores de distribución, si se conservan estos mismos para la conexión de los EV, 32 de los 80 no serían capaces de soportar las cargas residenciales y públicas.

### 7.2.4 Situación con tarifa horaria a las 3:00 horas

Esta situación contempla estudiar la carga de todos los VE en hora nocturna. La demanda estimada para las 03:00 se presenta en la Tabla 7-3.

**Tabla 7-3: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 3:00 horas en M. Montt, año 2050 (Elaboración Propia).**

Gestionado 3:00 horas	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga de Buses	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	1.162	0	0	3	138	0
Demanda [kW]	6.567	0	0	270	966	0

En las horas nocturnas no se contempla la carga pública o carga rápida, sino que se tiene una gran conexión de VE de forma residencial.

Con respecto a la congestión de las líneas se afirma que no existe ninguna línea de media tensión que presente una congestión, puesto que la máxima carga presente en estas es de 86,9 %.

En cuanto a los transformadores de distribución, si se utilizan los existentes para proveer la energía a los VE, se tiene que 50 de los 80 disponibles se encuentran en condición de sobrecarga.

### 7.2.5 Conclusiones para la zona del alimentador

El caso gestionado resulta beneficioso en los diversos aspectos que se han visto. Particularmente la congestión de las líneas es mucho menor que en la situación sin gestión alguna como se ve en la Tabla 7-4.

**Tabla 7-4: Resumen de resultados de la simulación en M. Montt (Elaboración Propia).**

Zona Alimentador M. Montt	Lineas de Media Tensión			Transformadores de Distribución
	Cantidad de líneas sobrecargadas	Mayor Carga [%] de líneas	Menor Carga [%] de líneas sobrecargadas	Cantidad de Transformadores sobrecargados
Sin Gestión 13:00 Horas	58	132,4	101,3	47
Gestionado 13:00 Horas	36	109,9	104,8	32
Gestionado Hora Valle	No hay	86,9	-	50
Sin VE	No hay	73,5	-	25

De la Tabla 7-4 se concluye que proponer bandas horarias logra disminuir la carga de las líneas en un 22,5 %. El caso gestionado presenta líneas con un uso máximo del 109,9 %, las cuales están sobrecargadas, más es posible reforzar ciertos trayectos de la red de media tensión para aliviar la carga que estas presentan.

Se puede concluir que la gestión horaria propuesta permite una disminución de los refuerzos necesarios para que el sistema actual provea de energía a los VE en el futuro en conjunto con suministrar la demanda base del sistema hasta el año 2050.

También se evidencia que cargar los vehículos durante horas nocturnas prácticamente no afecta a la red de media tensión, ya que existe gran holgura antes de una congestión y es el equivalente a que no exista ningún VE en la hora de mayor consumo.

En cuanto a los transformadores de distribución se tiene que, bajo todos los casos, existirán transformadores que no serán capaces de soportar la conexión simultánea de los EV. Al comparar esto con el caso base donde no hay VE en el sistema se ve que conectar vehículos al sistema implica una demanda significativa que aumenta la cantidad de transformadores sobrecargados.

Aunque al comparar las horas de punta del caso sin gestión con el caso gestionado se tiene una mejor utilización de 14 transformadores, los vehículos que se carguen en horas valle exigen el reemplazo de 44 transformadores o la implementación de nuevos equipos que puedan ayudar a suplir la demanda.

### **7.3. Alimentador Chuyaca: enero**

Se han ubicado cargadores públicos y de estaciones de carga rápida como se ve en la Figura 7-2. En esta se muestran los cargadores públicos con íconos de vehículos y los cargadores rápidos con íconos de estaciones de servicio.

La simulación en las situaciones sin vehículos, sin gestión de carga y con carga gestionada usan la mayor demanda del alimentador correspondiente al dado a las 13:00 horas. La demanda base ha sido escalada según el día 6 de enero de 2021, ya que ese día se produce la mayor demanda a las 13:00 horas, con su respectivo crecimiento vegetativo estimado para el año 2050.

Para el caso gestionado también se estudia la mayor de demanda dada en las nocturnas, correspondiente a las 03:00 horas debido a la conexión de todos los VE particulares. La demanda ha sido escalada según el día 8 de enero con su respectivo crecimiento vegetativo estimado para el año 2050.



**Figura 7-2: Cargadores públicos y rápidos contemplados para la simulación en Chuyaca (Elaboración Propia).**

### 7.3.1 Simulación sin penetración de VE

La simulación preliminar refleja el estado de la condición de la red considerando sólo el crecimiento vegetativo.

Con respecto a las líneas de media tensión no se logra detectar ninguna línea congestionada, puesto que la mayor ocupación de las líneas corresponde a una línea con el 90,4 % de carga.

Considerando los transformadores de distribución actuales se detecta que 34 de estos se encuentran sobrecargados.

### 7.3.2 Situación sin gestión horaria

La demanda que se estima para esta hora se muestra según tipo de carga en la Tabla 7-5. Esto contempla la simulación de un flujo de potencia para las 13:00 horas.

**Tabla 7-5: Demanda por tipo de carga situación sin gestión en Chuyaca, año 2050 (Elaboración Propia).**

Sin Gestión 13:00 horas	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	406	42	39	37	8
Demanda [kW]	2.781	289	4.482	259	231

Bajo esta estimación de demanda, la simulación muestra la existencia de 34 líneas de transmisión, las cuales tienen un porcentaje de carga mayor al 100 %, que equivale a 1,07 kilómetros de líneas que presentan congestión. De estas líneas se identifican 24 que presentan una carga mayor al 101,1 %.

Con respecto a los transformadores de distribución se tiene que, bajo la información entregada por el modelo de SAESA, si estos siguen siendo los mismos al año 2050 y si estos son utilizados para

la carga de los EV, 39 de 57 transformadores no soportarán la demanda añadida por la carga residencial. También se detecta un transformador cuya carga es del 149 %, el cual une parte de las líneas del alimentador en la zona rural, y el que posiblemente está sobrecargado por el efecto del crecimiento vegetativo.

### 7.3.3 Situación con tarifa horaria a las 13:00 horas

En el caso gestionado se considera la demanda pronosticada para cada tipo de carga como se muestra en la Tabla 7-6.

**Tabla 7-6: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 13 horas en Chuyaca, año 2050 (Elaboración Propia).**

Gestionado 13:00 horas	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	71	42	39	8	8
Demanda [kW]	524	289	4.482	56	231

Con estas condiciones para la simulación se identifican 24 líneas de media tensión que se encuentran con un uso mayor al 100 %, de las cuales 14 presentan una carga mayor a 113 %. Las 24 líneas cubren un rango de 810 metros.

En cuanto a los transformadores de distribución existentes se tiene que 35 de los 57 presentarán sobrecarga.

### 7.3.4 Situación con tarifa horaria a las 03:00 horas

Esta situación contempla estudiar la carga de todos los VE en hora nocturna. La demanda estimada para las 03:00 horas se presenta en la Tabla 7-7.

**Tabla 7-7: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a la hora 01:00 en Chuyaca, año 2050 (Elaboración Propia).**

Gestionado hora 03:00	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	694	0	0	77	0
Demanda [kW]	3.917	0	0	539	0

Con la demanda base escalada para esta condición y la demanda estimada de los VE se determina mediante simulación que no hay líneas de media tensión que presenten sobrecarga. La ocupación máxima de las líneas llega a ser de 80,7 %.

En cuanto a los transformadores de distribución se tienen 38 transformadores que no son capaces de suplir la demanda.

### 7.3.5 Conclusiones para la zona del alimentador

Los resultados de las simulaciones se pueden resumir tal como se muestra en la Tabla 7-8. Al proponer horarios se mejora la utilización de la infraestructura presente, sin embargo, se tiene que incluso en el caso con gestión horaria existen una gran cantidad de transformadores de distribución que no dan abasto y esta cantidad es similar a que no existiera gestión. Esto es debido a que estos transformadores no están dimensionados para una demanda futura dada por el crecimiento vegetativo, así que como base se tiene que 34 transformadores no soportarán la futura demanda.

**Tabla 7-8: Resumen de resultados de la simulación en Chuyaca (Elaboración Propia).**

Zona Alimentador Chuyaca	Lineas de Media Tensión			Transformadores de Distribución
	Cantidad de líneas sobrecargadas	Mayor Carga [%] de líneas	Menor Carga [%] de líneas sobrecargadas	Cantidad de Transformadores sobrecargados
Sin Gestión 13:00 Horas	34	140,3	101,1	39
Gestionado 13:00 Horas	24	121,8	101,1	35
Gestionado Hora Valle	No hay	80,7	-	38
Sin VE	No hay	90,4	-	34

Para las líneas de media tensión sí se produce una diferencia importante, puesto que el caso gestionado permite utilizar de mejor manera 10 líneas y la ocupación de la línea con mayor congestión es un 18,5 % menos que en el caso sin gestión. De todas formas, debe implementarse un refuerzo en la red para permitir las nuevas cargas.

Sin contar con el cambio o la instalación de nuevos transformadores de distribución, en las horas nocturnas no hay conflictos con la infraestructura de la red para permitir cargar los EV, la cual exige del sistema incluso menos que en el caso base sin penetración de vehículos.

## 7.4. Alimentador Los Carrera: julio

La descripción sobre el área, las simulaciones sin penetración de VE, simulación sin gestión horaria, simulación con tarifa horaria y simulación en horas nocturnas se encuentra en el Anexo D.

### 7.4.1 Conclusiones para la zona del alimentador

La Tabla 7-9 contiene un resumen de las simulaciones realizadas. De esta se puede concluir que, si bien no hay tantos vehículos conectados como en los casos de Chuyaca y Manuel Montt, esta

cantidad de VE sin controlar aumenta la carga del sistema en 25,1 % en el caso sin gestión. Los resultados demuestran que presentar bandas horarias reduce la carga de las líneas del sistema en 6.8%.

**Tabla 7-9: Resumen de resultados de la simulación en Los Carrera (Elaboración Propia).**

Zona Alimentador Los Carrera	Lineas de Media Tensión			Transformadores de Distribución
	Cantidad de líneas sobrecargadas	Mayor Carga [%] de líneas	Menor Carga [%] de líneas sobrecargadas	Cantidad de Transformadores sobrecargados
Sin Gestión 13:00 Horas	67	127,3	100,4	15
Gestionado 13:00 Horas	31	120,5	105,8	14
Gestionado Hora Valle	No hay	72,9	-	11
Sin VE	2	102,2	102,2	14

La demanda gestionada de carga de VE logra disminuir la cantidad de líneas que presentan una carga sobre el 100 % en 36. Además, se demuestra que en condiciones nocturnas la carga de VE no perjudica a la infraestructura del sistema.

## 7.5. Alimentador Antonio Varas: julio

La descripción sobre el área, las simulaciones sin penetración de VE, la simulación sin gestión horaria, la simulación con tarifa horaria y la simulación en horas nocturnas se encuentra en el Anexo D.

### 7.5.1 Conclusiones para la zona del alimentador.

El caso del alimentador analizado es conveniente; ya que, aunque exista o no una tarifa horaria, las líneas de media tensión no se encuentran congestionadas.

Los resultados de las simulaciones se encuentran en la Tabla 7-10. Comparando los resultados se tiene que la gestión horaria logra reducir la carga de las líneas en un 5 % en contraste al caso sin gestión. También se demuestra que ingresar VE al sistema sin gestionarlo aumenta la carga del sistema en 16,8 %.

**Tabla 7-10: Resumen de resultados de la simulación en Antonio Varas (Elaboración Propia).**

Zona Alimentador A. Varas	Lineas de Media Tensión			Transformadores de Distribución
	Cantidad de líneas sobrecargadas	Mayor Carga [%] de líneas	Menor Carga [%] de líneas sobrecargadas	Cantidad de Transformadores sobrecargados
Sin Gestión 13:00 Horas	No hay	58,4	-	12
Gestionado 13:00 Horas	No hay	53,4	-	10
Gestionado Hora Valle	No hay	30,5	-	12
Sin VE	No hay	41,6	-	10

Si bien la gestión horaria dada a las 13:00 horas logra disminuir la carga de los transformadores de distribución, en las horas nocturnas se refleja de mejor manera que la carga de los vehículos exige que estos sean de mayor capacidad.

## 7.6. Límite de la infraestructura actual

Con el fin de conocer cuándo la capacidad actual de la infraestructura se ve afectada por la incorporación de los VE se realiza la simulación de diferentes escenarios, con diferentes niveles de penetración y con su tasa vegetativa correspondiente.

Esto se realiza de manera iterativa, escalando la demanda según la tasa vegetativa a las 13:00 horas, que es la hora de mayor consumo como ya se ha reflejado en este capítulo, y prediciendo la demanda de los VE para esa situación.

Los datos con los que se cuenta son la tasa vegetativa por año hasta el año 2051 y el porcentaje de penetración hasta el 2050 mostrado en la Figura 3-7, dado por el estudio de E2BIZ [51].

El parámetro que se utiliza para conocer el límite es la carga de las líneas de media tensión. Los transformadores de distribución no se han utilizado para este estudio, puesto que los transformadores existentes están dimensionados para la demanda actual.

Se analiza mediante simulación cuándo las líneas de media tensión que proceden del alimentador superan el 100 % de su carga considerando que la carga de los vehículos no es controlada y en base a la gestión horaria. Los resultados para el caso de carga no controlada se encuentran en la Tabla D-6.

**Tabla 7-11: Año en que se supera la capacidad de la infraestructura disponible sin gestión de la carga de vehículos (Elaboración Propia).**

Considerando que no hay gestión de carga			
Alimentador	Año en que se supera la capacidad	Porcentaje de penetración	Crecimiento Vegetativo
Manuel Montt	2039	35%	1,32
Chuyaca	2038	31%	1,30
Los Carrera	2038	31%	1,30

Bajo las consideraciones trabajadas se tiene que al año 2038 y 2039, con una penetración del 31 % y 35 % respectivamente, la infraestructura disponible alcanzaría su límite, por lo que se empieza a necesitar refuerzos en la red. Se destaca que los datos actuales no permiten calcular el límite de la capacidad de la red abarcada por el alimentador Antonio Varas.

No utilizar ningún tipo de gestión de carga lleva a que la red de media tensión esté habilitada para funcionar sin congestión dentro de los próximos 16 años.

Al implementar tarifas de periodos horarios la simulación arroja los siguientes resultados con respecto a la capacidad de las líneas.

**Tabla 7-12: Año en que se supera la capacidad de la infraestructura disponible al existir gestión de la carga de vehículos (Elaboración Propia).**

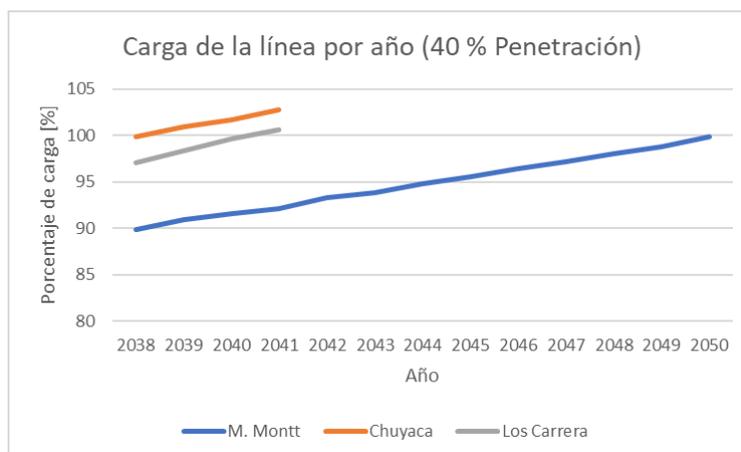
Considerando gestión por bandas horarias			
Alimentador	Año en que se supera la capacidad	Porcentaje de penetración	Crecimiento Vegetativo
Manuel Montt	2043	49%	1,37
Chuyaca	2041	43%	1,33
Los Carrera	2041	43%	1,33

Los resultados reflejan que al usar la gestión horaria la red de media tensión puede funcionar hasta el año 2043 para el alimentador Manuel Montt y hasta el año 2041 para los alimentadores Los Carrera y Chuyaca.

Utilizar una gestión horaria permite la mejor utilización de la red por cerca de 3 años más que en el caso sin gestión. Nuevamente se enfatiza que las cargas rápidas son el mayor problema que puede enfrentar la red puesto que es el parámetro que más afecta en la congestión de las líneas.

Para una penetración del 40 % de vehículos, lo cual corresponde a la meta del Estado al año 2050 [1], se realizan iteraciones de simulación para detectar en qué año la infraestructura actual no puede soportar esta demanda. Viendo sólo el caso gestionado a partir del año 2038, pues se demuestra

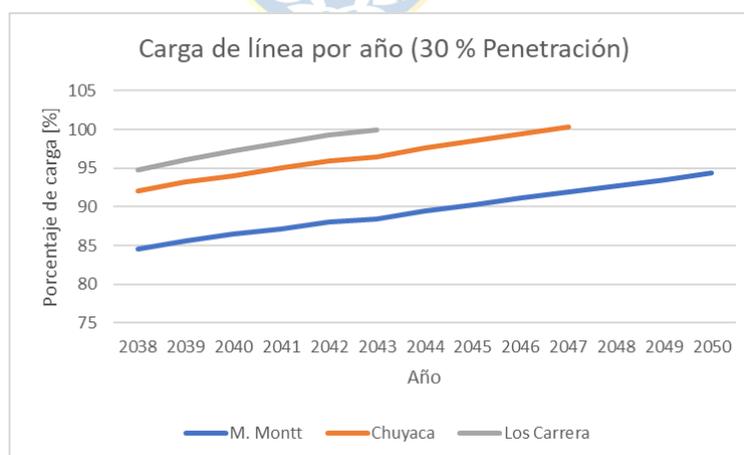
en la Tabla 7-11 que el caso sin gestión se soporta un máximo de 35 % de penetración, se tienen los resultados presentes en la Figura 7-3.



**Figura 7-3: Carga de la línea por año para una penetración del 40 % de VE en los alimentadores M. Montt, Chuyaca y Los Carrera (Elaboración Propia).**

Con una penetración del 40 % de VE en Osorno se tiene que el 100 % de carga en la línea se alcanzará en el año 2039 para el alimentador Chuyaca, en 2041 para el alimentador Los Carrera y en 2050 para el alimentador Manuel Montt.

Considerando un 30 % penetración se realizan iteraciones de simulación para conocer el año en el cual se alcanzará el 100 % de la carga de la línea del alimentador. Los resultados para el caso gestionado se presentan en la Figura 7-4.

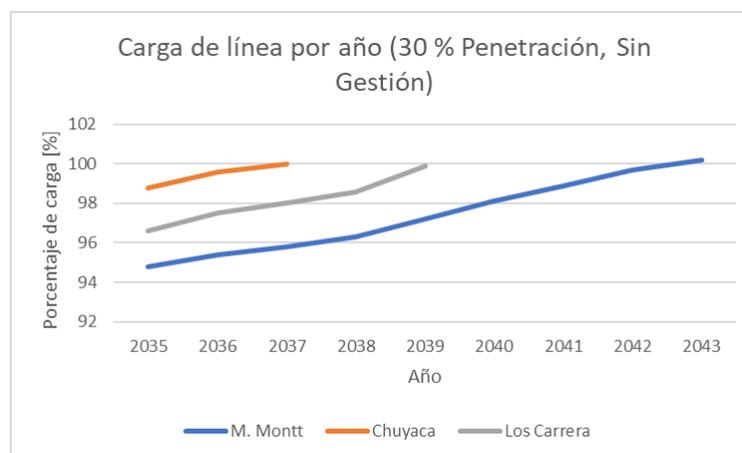


**Figura 7-4: Carga de la línea por año para una penetración del 30 % de VE utilizando bandas horarias en los alimentadores M. Montt, Chuyaca y Los Carrera (Elaboración Propia).**

Para el alimentador Los Carrera se alcanzará el 100 % de utilización de la línea al año 2043, para el alimentador Chuyaca esto se alcanzará al año 2047 y para el alimentador Manuel Montt se tiene que al año 2050 se llega a una utilización del 94,4 %.

El alimentador Los Carrera supera su capacidad antes que el alimentador Chuyaca, contrario al caso de 40 % de penetración. Esto se debe a que la demanda base de Los Carrera es superior a la del alimentador Chuyaca y la cantidad de vehículos en Los Carrera es menor a la cantidad de VE en el alimentado Chuyaca.

Bajo la misma consideración de 30 % de penetración se realizan las simulaciones para el caso sin gestión. Los resultados se encuentran en la Figura 7-5.



**Figura 7-5: Carga de la línea por año para una penetración del 30 % de VE sin gestión en los alimentadores M. Montt, Chuyaca y Los Carrera (Elaboración Propia).**

El caso sin gestión muestra que el 100 % del uso de la línea se alcanza en el año 2037 para el alimentador Chuyaca, en el año 2039 para el alimentador Los Carrera y en el año 2043 para el alimentador Manuel Montt.

Al comparar estos resultados con el caso gestionado se refleja la ventaja de utilizar una gestión por banda horaria. Para el alimentador Chuyaca se tiene una diferencia de diez años antes de alcanzar el 100 % de utilización de la línea. Así también se tiene que el alimentador Los Carrera tiene una diferencia de cuatro años antes de alcanzar el 100 % de la carga. Para el alimentador Manuel Montt la diferencia es de más de siete años.

## Capítulo 8. Conclusiones

---

### 8.1. Sumario

En esta memoria se ha investigado sobre los distintos modelos de VE que se encuentran disponibles en Chile y también se han estudiado las distintas predicciones sobre la futura penetración de estos vehículos al año 2050.

Se desarrolló un modelo que permite calcular el consumo en potencia, estado de carga de las baterías y tiempo de carga para cualquier VE que se necesite estudiar.

Se han analizado datos de encuestas de movilidad con el fin de obtener patrones de comportamiento de los conductores y así establecer una predicción del instante en el cual dichos conductores realicen la carga de su EV. Así también, se ha consultado con una empresa de buses para definir patrones de comportamiento de conductores de locomoción colectiva. El comportamiento de taxistas se asume como el comportamiento de un trabajador común debido a la falta de información.

En base a la predicción de penetración de VE y a los patrones de comportamiento se ha realizado una estimación de la demanda futura de todos los VE como conjunto a la que se ha sumado al perfil de demanda representativo con el propósito de establecer una base comparativa para visualizar los problemas que conlleva no gestionar la carga de los vehículos.

Se consiguió trabajar medidas de demandas de alimentadores ubicados en la zona oriente de Osorno para obtener, mediante dos algoritmos de agrupación, perfiles de demanda representativos de la zona de estudio y una división de periodos en base a la anterior agrupación que reflejen las bandas horarias de menor, medio y alto consumo eléctrico.

Si bien los algoritmos de agrupación clasifican el perfil de demanda de forma clara, fue necesario realizar ajustes de acuerdo con la situación. Declarar una banda horaria como hora valle para los VE conlleva una conexión simultánea de vehículos cuyos clientes deseen reducir costos por cargar. Para el caso del alimentador Manuel Montt dividir el periodo de valle en tres y asignarlo a tres sectores de manera rotativa logra disminuir la demanda de los VE en hora nocturna en 32,2 %.

Se efectuó un análisis del desplazamiento de la carga con los periodos horarios obtenidos. La demanda resultante se comparó con el perfil sin gestionar y se simuló estas condiciones en el *software* DigSilent PowerFactory. Junto a lo anterior, se mostraron las ventajas de disponer de periodos horarios para la carga y descarga de VE.

De los análisis de desplazo de carga se establece que la presencia de VE necesariamente conlleva un aumento en la demanda general que presenta el sistema, puesto que en cada momento del día es probable que se conecten los vehículos. La demanda máxima aumentará puesto que en las horas diurnas habrá gente que conecte sus vehículos en cargadores públicos o que realice cargas rápidas. En el caso del alimentador Manuel Montt se tiene que la demanda máxima aumenta en 6,3 [MW] en comparación al caso sin EV. Así también en horas nocturnas aumenta la demanda puesto que, justamente, se ha buscado desplazar la carga a esas horas.

El mayor problema se presenta por la carga rápida de vehículos, ya que estos requieren de gran potencia en un corto periodo de tiempo. Al considerar la conexión simultanea de 44 VE se tiene que la demanda dada por estos es de 5,345 [MW]. La red debe ser mejorada para poder soportar la simultaneidad de estas cargas, ya que 44 vehículos que se estén cargando con alta potencia exigen mucha de la capacidad de red.

Las tarifas horarias logran disminuir la demanda y la carga en el sistema. Se demuestra que estas permiten una mejor utilización de la red, reduciendo la demanda en el alimentador con más VE en 16,9 %, lo que equivale a una reducción de 3,195 [MW]. Para el mismo alimentador, en la hora donde la demanda alcanzaba su máximo, las bandas horarias logran reducir la demanda de los VE en un 35,6 %, lo cual refleja una disminución de 2,46 [MW].

La carga residencial nocturna afecta a los transformadores de distribución actuales y, posiblemente, a los futuros, ya que los VE presentan una demanda prácticamente constante en cargas lentas y debido a que se espera que la mayoría cargue en la noche. El análisis arroja que sólo el crecimiento vegetativo lleva a la sobrecarga de 83 transformadores de distribución y en horas nocturnas se sobrecargan 28 más. Si bien las bandas horarias logran disminuir la cantidad de transformadores afectados, los transformadores ya saturados presentan niveles de carga sobre el 200%. Esto en parte es debido a que no se contemplan nuevos transformadores en la simulación y a que a los existentes se les asignan VE según la cantidad de clientes. Por esto, es inevitable planificar la incorporación de nuevos transformadores en la red y que estos sean dimensionados pensando en la carga de los vehículos.

## 8.2. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en esta memoria se afirma que la hipótesis planteada es válida puesto que las bandas horarias propuestas, a partir de los perfiles de demanda de Osorno Oriente y los perfiles de demanda de los VE, logran predecir y disminuir el impacto en la red dado por la masiva incorporación de estos vehículos.

Los modelos de carga de baterías planteados en base a la capacidad de baterías y la potencia de carga lenta y rápida, en conjunto con la predicción del comportamiento de los usuarios, permitieron establecer perfiles de demanda futura de los VE.

A través de algoritmos de agrupamiento se identificaron claramente los periodos horarios donde el consumo disminuye o aumenta y que permitieron establecer las bandas horarias con las que se realizaron los estudios de desplazamiento de demanda e impacto en el sistema.

Con las consideraciones de desplazamiento de cargas, se predice que las bandas horarias logran evitar costos relacionados con el reforzamiento de la infraestructura ya que los resultados muestran que se puede extender la utilidad de la red hasta por 4 años considerando una penetración del 41% o 10 años considerando una penetración del 30 %.

Se demostró mediante simulación que establecer una tarifa exclusiva de VE logra mejorar la utilización de la red puesto que, en todos los escenarios donde se comparó la carga sin gestión y gestionada, el esquema tarifario reduce la cantidad de líneas sobrecargadas.

## 8.3. Trabajo Futuro

Estudiar la factibilidad de tener estaciones de carga que posean sistemas de almacenamiento con el objetivo de reducir la demanda de los cargadores rápidos en horas de mayor consumo.

Investigar las señales de precios que se deben imponer en las tarifas para que estos logren desplazar la demanda dada por los VE a los horarios de menor consumo.

Estudiar la manera de reducir el estrés provocado al sistema debido a las cargas rápidas realizadas por los dueños de EV.

Investigar las ventajas de un estudio en uno o varios transformadores de distribución para determinar horarios para clientes específicos.

Estudiar el efecto de utilizar los horarios establecidos a través de un agregador que controle la carga o descarga de los EV.

Estudiar el impacto que producen las estaciones de carga rápida o normal en sectores más alejados a la ciudad de Osorno, como rutas nacionales.

Estudiar la capacidad de la red para la reconfiguración del sistema en caso de contingencia, dejando holgura en el alimentador para que pueda respaldar otras zonas.



## Bibliografía

- [1] «Estrategia Nacional de Electromovilidad 2021», 2021 [Online]. Disponible en: [https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia\\_nacional\\_de\\_electromovilidad\\_2021\\_0.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia_nacional_de_electromovilidad_2021_0.pdf)
- [2] G. Celli, G. G. Soma, F. Pilo, F. Lacu, S. Mocci, y N. Natale, «Aggregated electric vehicles load profiles with fast charging stations», en *2014 Power Systems Computation Conference*, ago. 2014, pp. 1-7, doi: 10.1109/PSCC.2014.7038402 [Online]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7038402>
- [3] L. Pieltain Fernández, T. Gomez San Roman, R. Cossent, C. Mateo Domingo, y P. Frías, «Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks», *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, n.º 1, pp. 206-213, feb. 2011, doi: 10.1109/TPWRS.2010.2049133. [Online]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5471115>
- [4] D. H. Covián, «Impacto de esquemas tarifarios en perfiles horarios de demanda asociada a vehículos eléctricos particulares en redes de distribución chilenas», p. 95, 2021 [Online]. Disponible en: <https://4echile.cl/publicaciones/impacto-tecnico-en-redes-de-distribucion-ante-la-adopcion-de-la-electromovilidad-en-chile-2/>
- [5] G. E. G. Fuentes, «Optimización de estrategia descentralizada de carga para vehículo eléctricos en una red de distribución», p. 78, 2018 [Online]. Disponible en: [http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-7500/UCC7728\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-7500/UCC7728_01.pdf)
- [6] K. Mahmud, M. J. Hossain, y J. Ravishankar, «Peak-Load Management in Commercial Systems With Electric Vehicles», *IEEE Systems Journal*, vol. 13, n.º 2, pp. 1872-1882, jun. 2019, doi: 10.1109/JSYST.2018.2850887. [Online]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8411552>
- [7] M. Biviji, C. Uçkun, G. Bassett, J. Wang, y D. Ton, «Patterns of electric vehicle charging with time of use rates: Case studies in California and Portland», en *ISGT 2014*, feb. 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISGT.2014.6816454 [Online]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6816454>
- [8] M. Charwand y M. Gitizadeh, «Optimal TOU tariff design using robust intuitionistic fuzzy divergence based thresholding», *Energy*, vol. 147, pp. 655-662, mar. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2017.11.121. [Online]. Disponible en:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217319795>. [Accedido: 23 de mayo de 2022]
- [9] K. Wang, M. Zhang, Z. Wang, R. Li, F. Li, y H. Wu, «Time of Use Tariff Design for Domestic Customers from Flat Rate by Model-based Clustering», *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 652-655, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.11.935. [Online]. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610214027659>. [Accedido: 23 de mayo de 2022]
- [10] G. Van Kriekinge, C. De Cauwer, N. Sapountzoglou, T. Coosemans, y M. Messagie, «Peak shaving and cost minimization using model predictive control for uni- and bi-directional charging of electric vehicles», *Energy Reports*, vol. 7, pp. 8760-8771, nov. 2021, doi: 10.1016/j.egypro.2021.11.207. [Online]. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352484721013445>. [Accedido: 31 de mayo de 2022]
- [11] M. Ding, X. Wang, J. Wang, Z. Yang, H. Zhong, y J. Yang, «A dynamic period partition method for time-of-use pricing with high-penetration renewable energy», en *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, nov. 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/EI2.2017.8245547 [Online]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8245547>
- [12] H. Yang, Y. Gao, Y. Ma, y D. Zhang, «Optimal Modification of Peak-Valley Period Under Multiple Time-of-Use Schemes Based on Dynamic Load Point Method Considering Reliability Loss», *IEEE Transactions on Power Systems*, pp. 1-1, 2021, doi: 10.1109/TPWRS.2021.3131519. [Online]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/9629330/keywords#keywords>
- [13] «Types of Electric Vehicles: BEVs, PHEVs, HEVs - What's the Difference?» [Online]. Disponible en: <https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/>. [Accedido: 26 de agosto de 2022]
- [14] «Plataforma de Electromovilidad - Descripción de auto eléctrico híbrido enchufable». [Online]. Disponible en: [//vehiculos-electricos/vehiculo-hibrido-enchufable](https://vehiculos-electricos/vehiculo-hibrido-enchufable). [Accedido: 26 de agosto de 2022]
- [15] «Plataforma de Electromovilidad - Sistema V2G en Chile». [Online]. Disponible en: [//tendencias/tendencias-en-investigacion-y-desarrollo/v2g-en-chile](https://tendencias/tendencias-en-investigacion-y-desarrollo/v2g-en-chile). [Accedido: 31 de agosto de 2022]

- [16] «Guía de Electromovilidad.pdf». [Online]. Disponible en: [http://www.minenergia.cl/archivos\\_bajar/2018/electromovilidad/Guia\\_Electromovilidad.pdf](http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2018/electromovilidad/Guia_Electromovilidad.pdf). [Accedido: 25 de abril de 2022]
- [17] «Tipos de conectores de recarga de vehículos eléctricos | EV Solutions». [Online]. Disponible en: <https://www.evsolutions.cl/help-center-article/tipos-de-conectores-de-recarga-de-vehiculos-electricos>. [Accedido: 26 de agosto de 2022]
- [18] «Glosario | Conectores de recarga, tipos». [Online]. Disponible en: <https://www.km77.com/glosario/conectores-recarga>. [Accedido: 14 de noviembre de 2022]
- [19] «ChargePoint Home Flex», *ChargePoint*. [Online]. Disponible en: <https://www.chargepoint.com/drivers/home>. [Accedido: 19 de octubre de 2022]
- [20] «Tesla App Support», 18 de noviembre de 2014. [Online]. Disponible en: <https://www.tesla.com/support/tesla-app>. [Accedido: 19 de octubre de 2022]
- [21] «Día de la Eficiencia Energética: El sistema Vehicle to Grid te ayuda a rebajar tu coste energético», *Oficial España Newsroom*, 7 de marzo de 2022. [Online]. Disponible en: <https://spain.nissannews.com/es-ES/releases/dia-de-la-eficiencia-energetica-el-sistema-vehicle-to-grid-te-ayuda-a-rebajar-tu-coste-energetico>. [Accedido: 19 de octubre de 2022]
- [22] «DC Boost Charger», *FreeWire Technologies*. [Online]. Disponible en: <https://freewiretech.com/products/dc-boost-charger/>. [Accedido: 18 de octubre de 2022]
- [23] «Red de distribución», *Endesa*. [Online]. Disponible en: <https://www.fundacionendesa.orghttps://fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/red-de-distribucion>. [Accedido: 26 de agosto de 2022]
- [24] K. Daware, «Electric Power Distribution System Basics». [Online]. Disponible en: <https://www.electricaleasy.com/2018/01/electric-power-distribution-system.html>. [Accedido: 26 de agosto de 2022]
- [25] «Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución.», 2019 [Online]. Disponible en: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/12/Norma-T%C3%A9cnica-de-Calidad-de-Servicio-para-Sistemas-de-Distribuci%C3%B3n.pdf>
- [26] «Gestión de la demanda energética - EcuRed». [Online]. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Gesti%C3%B3n\\_de\\_la\\_demanda\\_energ%C3%A9tica](https://www.ecured.cu/Gesti%C3%B3n_de_la_demanda_energ%C3%A9tica). [Accedido: 26 de agosto de 2022]

- [27] «¿Qué es la gestión de la demanda?», *Enel X*. [Online]. Disponible en: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/what-is-demand-side-management>. [Accedido: 26 de agosto de 2022]
- [28] «Gestión de Demanda». [Online]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/gestion-de-demanda>. [Accedido: 26 de agosto de 2022]
- [29] Q. Zhang y J. Li, «Demand response in electricity markets: A review», en *2012 9th International Conference on the European Energy Market*, may 2012, pp. 1-8, doi: 10.1109/EEM.2012.6254817 [Online]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6254817/?arnumber=6254817>
- [30] «Net Billing - Grupo Saesa». [Online]. Disponible en: <https://www.gruposaes.cl/sustentabilidad/energia-sustentable/net-billing/>. [Accedido: 15 de septiembre de 2022]
- [31] «Res.-Ext.-N°84-aprueba-ITD-PNCP-enero-2022\_09.02.22\_con-Informe.pdf». [Online]. Disponible en: [https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2022/02/Res.-Ext.-N%C2%B084-aprueba-ITD-PNCP-enero-2022\\_09.02.22\\_con-Informe.pdf](https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2022/02/Res.-Ext.-N%C2%B084-aprueba-ITD-PNCP-enero-2022_09.02.22_con-Informe.pdf). [Accedido: 18 de octubre de 2022]
- [32] «Tarifas Electricas». [Online]. Disponible en: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/07/11T-2016-VAD-2016-2020.pdf>. [Accedido: 2 de diciembre de 2022]
- [33] «Rate Options for Clean Energy Technology», *SCE*. [Online]. Disponible en: <https://www.sce.com/residential/rates/electric-vehicle-plans>. [Accedido: 20 de octubre de 2022]
- [34] «Making sense of the rates». [Online]. Disponible en: [https://www.pge.com/en\\_US/residential/rate-plans/rate-plan-options/electric-vehicle-base-plan/electric-vehicle-base-plan.page](https://www.pge.com/en_US/residential/rate-plans/rate-plan-options/electric-vehicle-base-plan/electric-vehicle-base-plan.page). [Accedido: 23 de abril de 2022]
- [35] «EV Charging Costs: Pricing and Plan for EV Charging». [Online]. Disponible en: <https://www.evgo.com/tou-location-pricing/>. [Accedido: 17 de octubre de 2022]
- [36] «Public Electric Vehicle Charging Program—FAQ». [Online]. Disponible en: <https://www.seattle.gov/documents/Departments/CityLight/PublicEVChargeFAQs.pdf>. [Accedido: 19 de octubre de 2022]
- [37] «Estrategia Nacional de Electromovilidad». [Online]. Disponible en: [https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia\\_electromovilidad-8dic-web.pdf](https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf). [Accedido: 29 de agosto de 2022]
- [38] «Lanzamiento Estrategia Nacional de Electromovilidad: Gobierno anuncia que al 2035 se venderán solo vehículos eléctricos en Chile | Ministerio de Energía». [Online]. Disponible en:

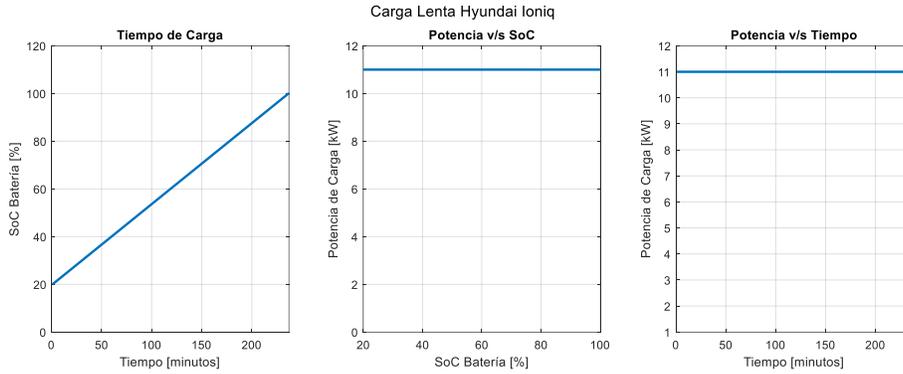
- <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/lanzamiento-estrategia-nacional-de-electromovilidad-gobierno-anuncia-que-al-2035-se-venderan-solo-vehiculos-electricos-en-chile>. [Accedido: 29 de agosto de 2022]
- [39] «Taxis Eléctricos – Mi Taxi Eléctrico es un programa del Ministerio de Energía, implementado por la Agencia de Sostenibilidad Energética». [Online]. Disponible en: <https://mitaxielectrico.cl/>. [Accedido: 29 de agosto de 2022]
- [40] «Subsecretario de Transportes adelanta proyecto para convertir vehículos de combustión en eléctricos», *BioBioChile - La Red de Prensa Más Grande de Chile*, 2 de mayo de 2022. [Online]. Disponible en: <https://www.biobiochile.cl/especial/aqui-tierra/noticias/2022/05/02/subsecretario-de-transportes-adelanta-proyecto-para-convertir-vehiculos-de-combustion-en-electricos.shtml>. [Accedido: 29 de agosto de 2022]
- [41] «Plataforma de Electromovilidad - Empresas de conversión de vehículos eléctricos». [Online]. Disponible en: [//modelos-de-negocios/empresas-de-conversiones-de-vehiculos-electricos](https://modelos-de-negocios/empresas-de-conversiones-de-vehiculos-electricos). [Accedido: 29 de agosto de 2022]
- [42] L. Tercera, «Electromovilidad en Chile: Gran avance en el transporte público y deuda en los vehículos privados», *La Tercera*, 25 de agosto de 2022. [Online]. Disponible en: <https://www.latercera.com/pulso/noticia/electromovilidad-en-chile-gran-avance-en-el-transporte-publico-y-deuda-en-los-vehiculos-privados/3DY2CZBYDFEFETE4DHUSRQODTF4/>. [Accedido: 31 de agosto de 2022]
- [43] B. del C. Nacional, «Biblioteca del Congreso Nacional | Ley 21505 Chile», <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1184572&idParte=10380148&idVersion=2022-11-21>, 21 de noviembre de 2022. [Online]. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1184572&idParte=10380148&idVersion=2022-11-21>. [Accedido: 1 de diciembre de 2022]
- [44] «Presentan en Chile el primer cargador V2G para vehículos eléctricos en América Latina», *pv magazine Latin America*, 10 de junio de 2022. [Online]. Disponible en: <https://www.pv-magazine-latam.com/2022/06/10/presentan-en-chile-el-primer-cargador-v2g-para-vehiculos-electricos-en-america-latina/>. [Accedido: 29 de agosto de 2022]
- [45] «Informe de ventas vehículos cero y bajas emisiones - Julio 2022», julio de 2022. [Online]. Disponible en: [https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2022/08/07-ANAC-Informe-vehiculos-cero-y-bajas-emisiones-Julio-2022\\_v3.pdf](https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2022/08/07-ANAC-Informe-vehiculos-cero-y-bajas-emisiones-Julio-2022_v3.pdf). [Accedido: 29 de agosto de 2022]

- [46] «Informe del mercado automotor», diciembre de 2021. [Online]. Disponible en: <https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2022/01/12-ANAC-Mercado-Automotor-Diciembre-2021.pdf>. [Accedido: 29 de agosto de 2022]
- [47] «Herramientas digitales Agencia de Sostenibilidad Energética.», *Google Data Studio*. [Online]. Disponible en: <http://datastudio.google.com/reporting/4a522b4d-2073-49ea-8720-9fdae7904eb6>. [Accedido: 29 de agosto de 2022]
- [48] Y. G. Campos, «Estado actual del Transporte Público en la región Metropolitana», p. 8, 2022 [Online]. Disponible en: [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33254/2/Estado\\_actual\\_del\\_transporte\\_publico\\_en\\_Chile\\_VF1.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33254/2/Estado_actual_del_transporte_publico_en_Chile_VF1.pdf)
- [49] M. Monroy, «Así son los buses eléctricos de Foton que llegaron a Chile», *La Tercera*, 29 de agosto de 2022. [Online]. Disponible en: <https://www.latercera.com/mtonline/noticia/asi-son-los-buses-electricos-de-foton-que-llegaron-a-chile/CWIQMAYGAVAIHLBTGNWJBGKRDA/>. [Accedido: 31 de agosto de 2022]
- [50] «Propuesta de Expansión de la Transmisión 2021», p. 518 [Online]. Disponible en: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2021/01/Informe-Propuesta-de-Expansi%C3%B3n-2021.pdf>
- [51] «Consultoría para el análisis de modelos de cambio tecnológico para la proyección de emisiones de GEI en escenarios de electrificación vehicular», 2019. [Online]. Disponible en: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/03/Informe-Electromovilidad-corregido-2.0.pdf>. [Accedido: 14 de noviembre de 2022]
- [52] «Plataforma de Electromovilidad-Catálogo». [Online]. Disponible en: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/catalogo>. [Accedido: 1 de septiembre de 2022]
- [53] «EV Database», *EV Database*. [Online]. Disponible en: <https://ev-database.org/>. [Accedido: 1 de septiembre de 2022]
- [54] developed: C. C. A. | G. editorial E. spa, «¿Quiere cambiar a taxi eléctrico? Cinco tips antes de tomar una decisión - Tendencias urbanas», *ElectroMov*, 25 de febrero de 2021. [Online]. Disponible en: <https://www.electromov.cl/2021/02/25/quiere-cambiar-a-taxi-electrico-cinco-tips-antes-de-tomar-una-decision/>. [Accedido: 31 de agosto de 2022]
- [55] «Plataforma de Electromovilidad - Buses eléctricos de RED Metropolitana de Movilidad». [Online]. Disponible en: [//transporte-de-pasajeros/buses-electricos-red](https://transporte-de-pasajeros/buses-electricos-red). [Accedido: 1 de septiembre de 2022]

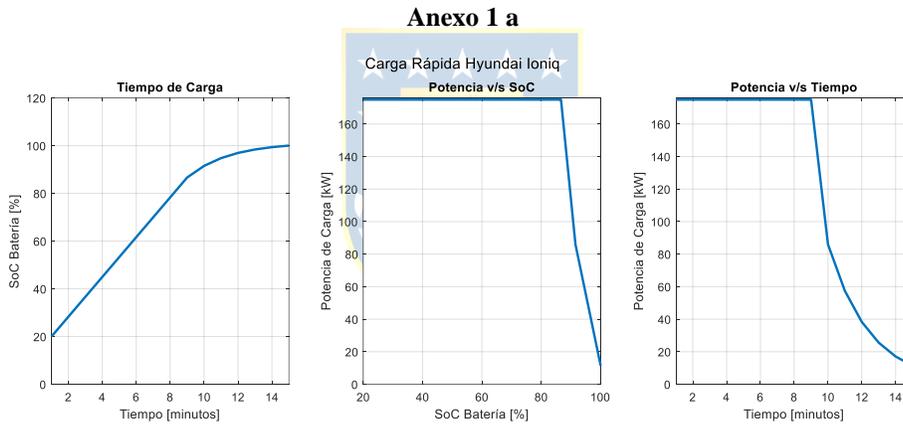
- [56] «BYD e5», *EV Charge* +. [Online]. Disponible en: <https://evchargeplus.com/ev-specification/e5/>. [Accedido: 1 de septiembre de 2022]
- [57] «Lessons from electric bus deployments in Santiago de Chile», 2020. [Online]. Disponible en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/db408b53-276c-47d6-8b05-52e53b1208e1/e-bus-case-study-Santiago-From-pilots-to-scale-Zebra-paper.pdf>. [Accedido: 1 de septiembre de 2022]
- [58] «DC Fast: The Secret to a Fast Charge or a Rare Indulgence?», *Blink Charging*, 4 de junio de 2020. [Online]. Disponible en: <https://blinkcharging.com/dc-fast-chargers-the-secret-to-super-fast-charging-or-an-occasional-indulgence/?locale=en>. [Accedido: 11 de octubre de 2022]
- [59] «Coordinating plug-in electric vehicle charging with electric grid: Valley filling and target load following | Elsevier Enhanced Reader». [Online]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378775314005783?token=92B15CFD71290DFB52DC53FE42ACA0A2636C7F885F59CE7536F1A4A3536D9A34691CDAFD2EF80BCD5F255DAE060FDE7A&originRegion=us-east-1&originCreation=20220421194529>. [Accedido: 21 de abril de 2022]
- [60] «ENCUESTAS DE MOVILIDAD». [Online]. Disponible en: [http://www.sectra.gob.cl/encuestas\\_movilidad/encuestas\\_movilidad.htm](http://www.sectra.gob.cl/encuestas_movilidad/encuestas_movilidad.htm). [Accedido: 5 de septiembre de 2022]
- [61] J. G. Smart y S. D. Salisbury, «Plugged In: How Americans Charge Their Electric Vehicles», Idaho National Lab. (INL), Idaho Falls, ID (United States), INL/EXT-15-35584, jul. 2015 [Online]. Disponible en: <https://www.osti.gov/biblio/1369632>. [Accedido: 26 de septiembre de 2022]
- [62] J. Rojas, «Entrevista con Javier Rojas sobre cargas de taxis eléctricos en Santiago.», octubre de 2022.
- [63] G. Arturo, «Entrevista con director de Mini Buses Hualpencillo», 2022.
- [64] C. E. Commission, «California Plug-In Electric Vehicle Infrastructure Projections: 2017-2025: Future Infrastructure Needs for Reaching the State's Zero-Emission-Vehicle Deployment Goals», *California Energy Commission*, current-date. [Online]. Disponible en: <https://www.energy.ca.gov/publications/2018/california-plug-electric-vehicle-infrastructure-projections-2017-2025-future>. [Accedido: 8 de septiembre de 2022]
- [65] SAESA, «Medidas de demanda de transformadores de distribución entregada por SAESA.» 2022.

- [66] «Estudio de Movilidad Eléctrica en Chile», *Google Docs*. [Online]. Disponible en: [https://drive.google.com/file/d/1B3IA8ZPS\\_tUwd8LemLkojPSyg3vGDOPx/view?usp=drive\\_open&usp=embed\\_facebook](https://drive.google.com/file/d/1B3IA8ZPS_tUwd8LemLkojPSyg3vGDOPx/view?usp=drive_open&usp=embed_facebook). [Accedido: 17 de septiembre de 2022]
- [67] «Plan del Transporte Público Regional». [Online]. Disponible en: <https://www.dtp.r.gob.cl/pdf/MenuSuperior/Planes/PLANLOSLAGOS.pdf>. [Accedido: 7 de septiembre de 2022]
- [68] P. T. T. Binh, T. N. Le, y N. P. Xuan, «Advanced SOM & K Mean Method for Load Curve Clustering», *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 8, n.º 6, pp. 4829-4835, dic. 2018, doi: 10.11591/ijece.v8i6.pp4829-4835. [Online]. Disponible en: <https://ijece.iaescore.com/index.php/IJECE/article/view/11377>. [Accedido: 19 de agosto de 2022]
- [69] W. Huang *et al.*, «Peak and Valley Periods Partitioning Based on Improved K-medoids Algorithm», en *2020 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC)*, nov. 2020, pp. 1860-1866, doi: 10.1109/iSPEC50848.2020.9351236 [Online]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/9351236>
- [70] S. Kumar, «Fuzzy C-Means Clustering —Is it Better than K-Means Clustering?», *Medium*, 21 de septiembre de 2021. [Online]. Disponible en: <https://towardsdatascience.com/fuzzy-c-means-clustering-is-it-better-than-k-means-clustering-448a0aba1ee7>. [Accedido: 13 de septiembre de 2022]
- [71] «kmeans». [Online]. Disponible en: [https://www.uniovi.es/computo/laboratorios\\_py/kmeans/kmeans.html](https://www.uniovi.es/computo/laboratorios_py/kmeans/kmeans.html). [Accedido: 13 de septiembre de 2022]
- [72] F. Sanz, «Algoritmo K-Means | Clustering de forma sencilla», *The Machine Learners*, 26 de noviembre de 2020. [Online]. Disponible en: <https://www.themachinelearners.com/k-means/>. [Accedido: 13 de septiembre de 2022]
- [73] «Fuzzy c-means clustering - MATLAB fcm - MathWorks América Latina». [Online]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/fuzzy/fcm.html>. [Accedido: 13 de septiembre de 2022]

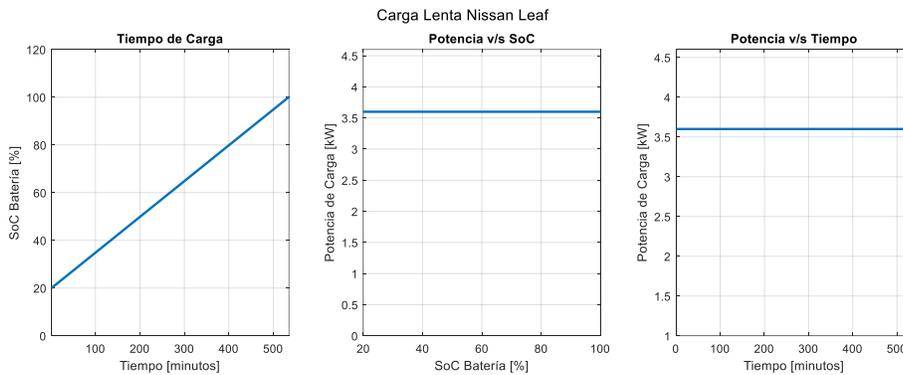
# Anexo A. Carga de los VE: SoC, Potencia y tiempo de carga.



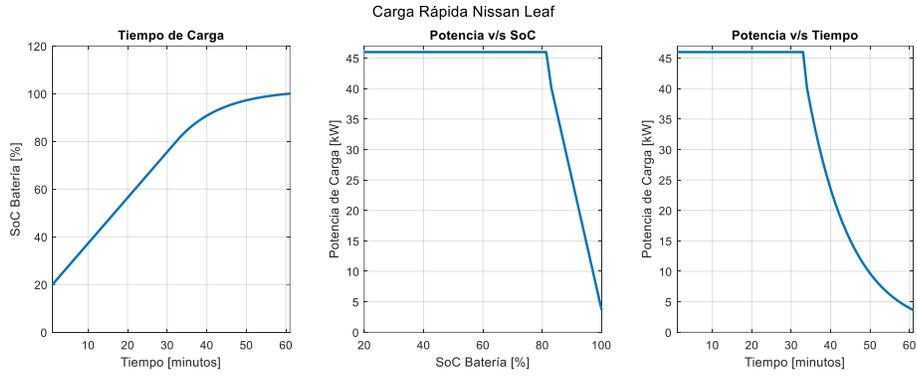
**Figura A-1: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga lenta Hyundai Ioniq para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia).**



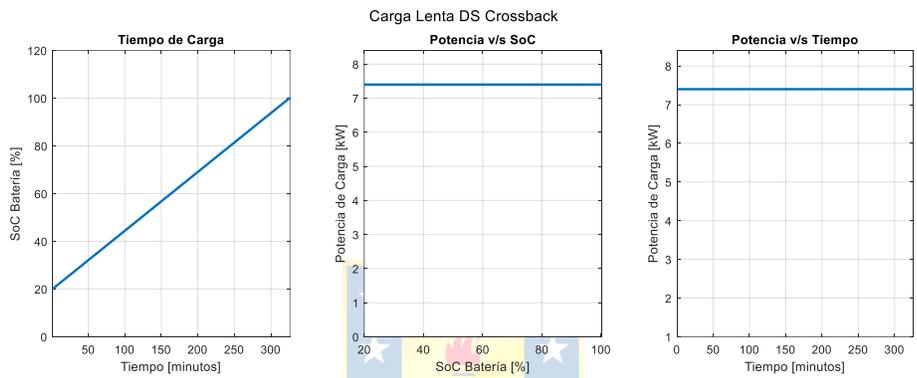
**Figura A-2: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga rápida Hyundai Ioniq para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia).**



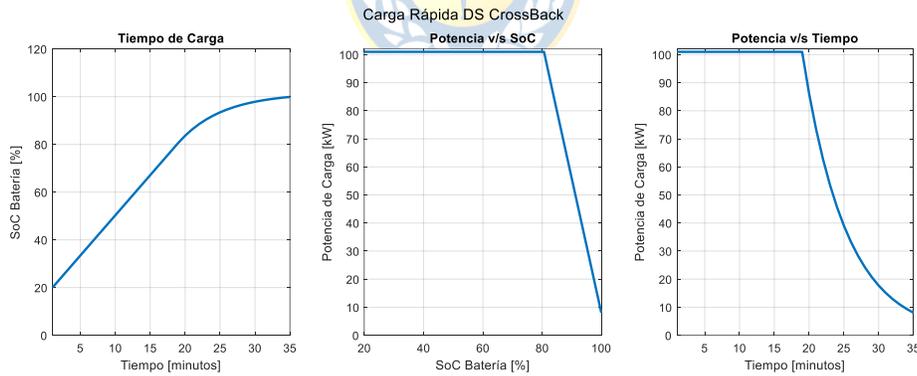
**Figura A-3: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga lenta Nissan Leaf para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia).**



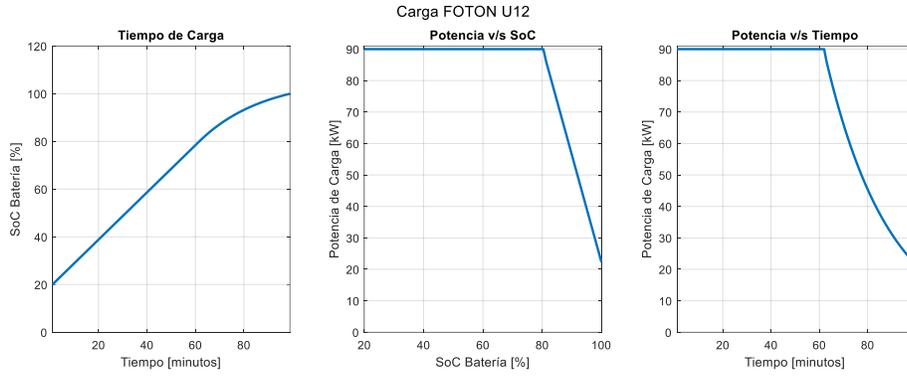
**Figura A-4: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga rápida Nissan Leaf para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia).**



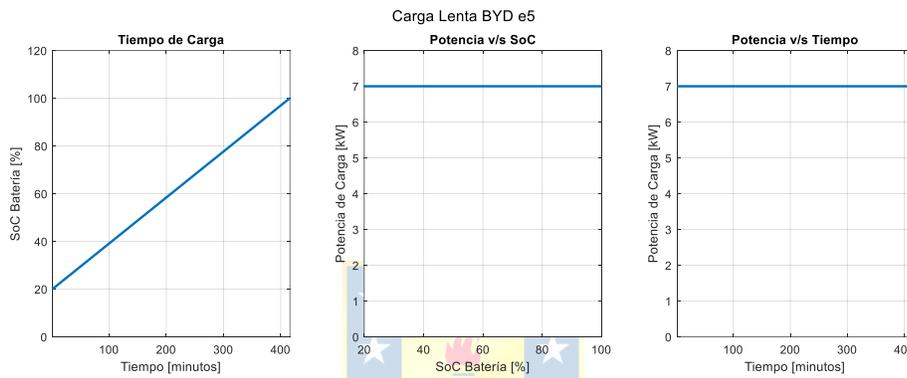
**Figura A-5: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga lenta DS Crossback para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia).**



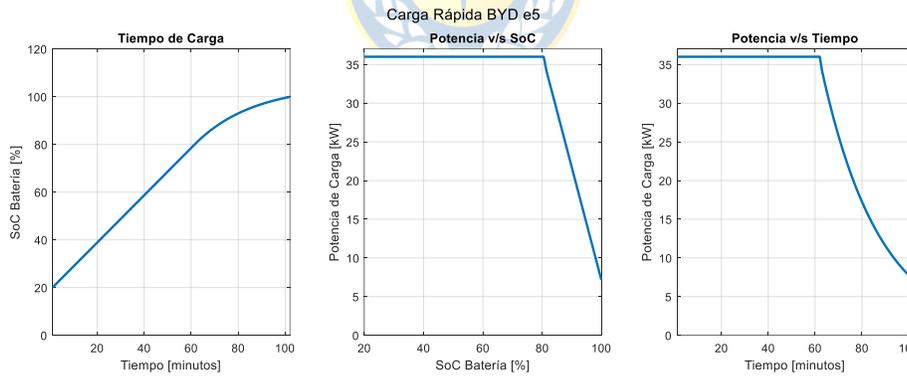
**Figura A-6: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga rápida DS Crossback para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia).**



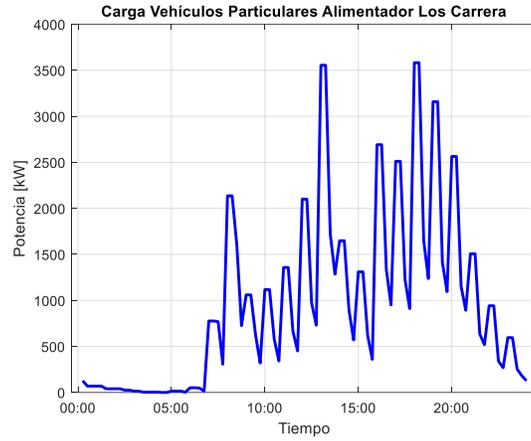
**Figura A-7: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga FOTON U12 para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia).**



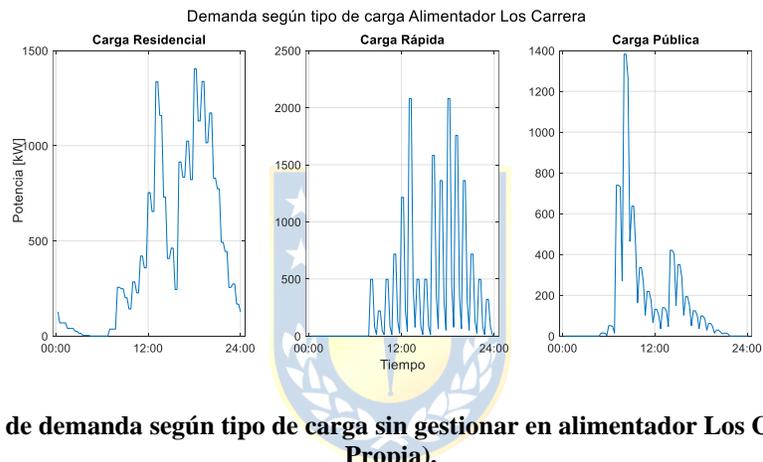
**Figura A-8: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga lenta BYD e5 para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia).**



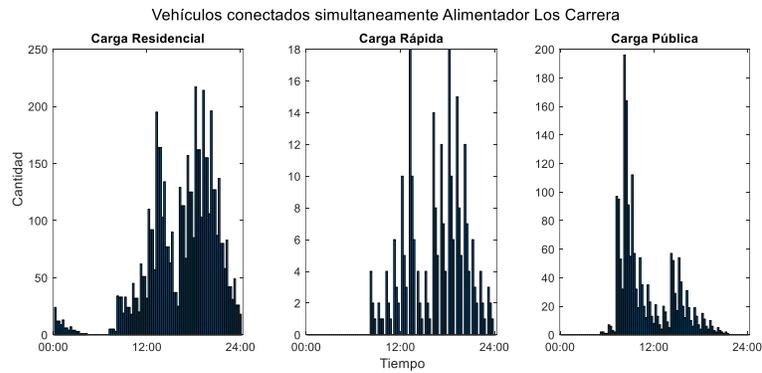
**Figura A-9: SoC vs tiempo, Potencia vs SoC y Potencia vs Tiempo de carga rápida BYD e5 para 20 % SoC inicial (Elaboración Propia).**



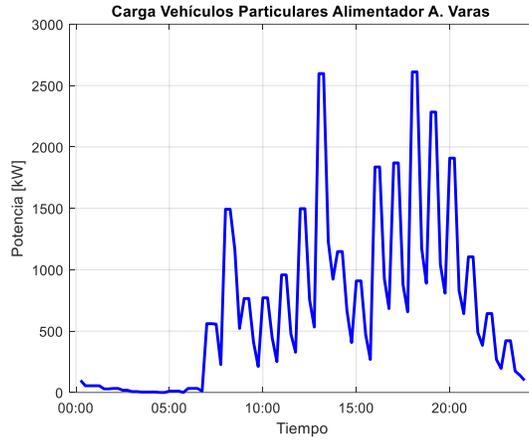
**Figura A-10: Perfil de demanda de vehículos particulares sin gestión de carga en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**



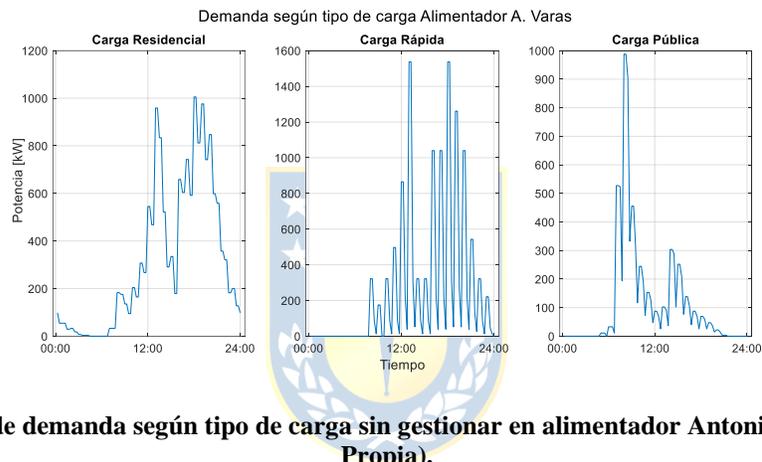
**Figura A-11: Perfil de demanda según tipo de carga sin gestionar en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**



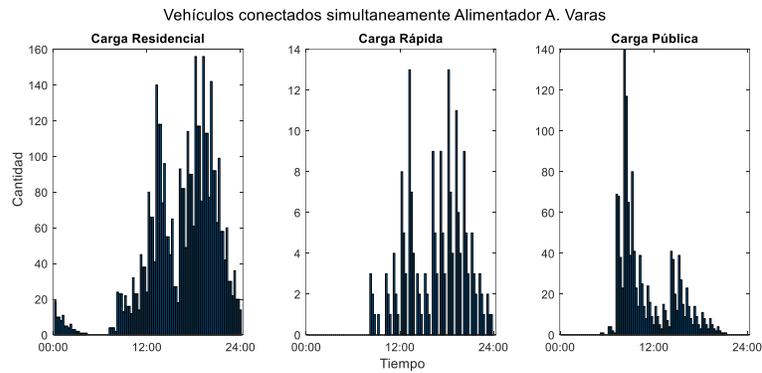
**Figura A-12: Cantidad de vehículos conectados simultáneamente según tipo de carga sin gestión en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**



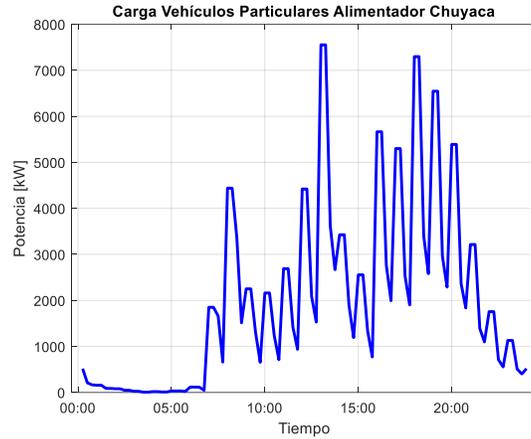
**Figura A-13: Perfil de demanda de vehículos particulares sin gestión de carga en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**



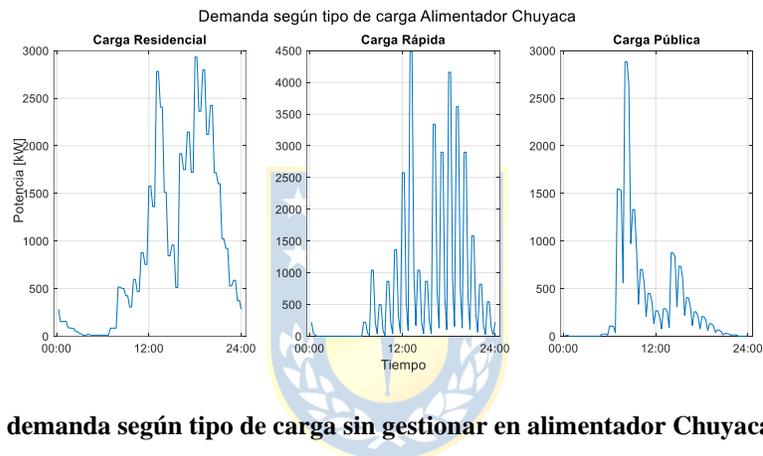
**Figura A-14: Perfil de demanda según tipo de carga sin gestionar en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**



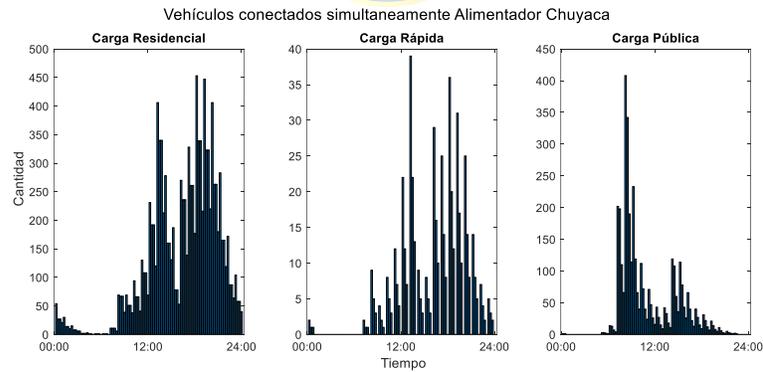
**Figura A-15: Cantidad de vehículos conectados simultáneamente según tipo de carga sin gestión en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**



**Figura A-16: Perfil de demanda de vehículos particulares sin gestión de carga en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**



**Figura A-17: Perfil de demanda según tipo de carga sin gestionar en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**



**Figura A-18: Cantidad de vehículos conectados simultáneamente según tipo de carga sin gestión en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**

## Anexo B. Bandas horarias para Los Carrera y Antonio Varas en enero y julio

### A. Alimentador Los Carrera (enero)

Para el alimentador Los Carrera la demanda en enero y sus curvas agrupadas se muestran en la Figura B-1.

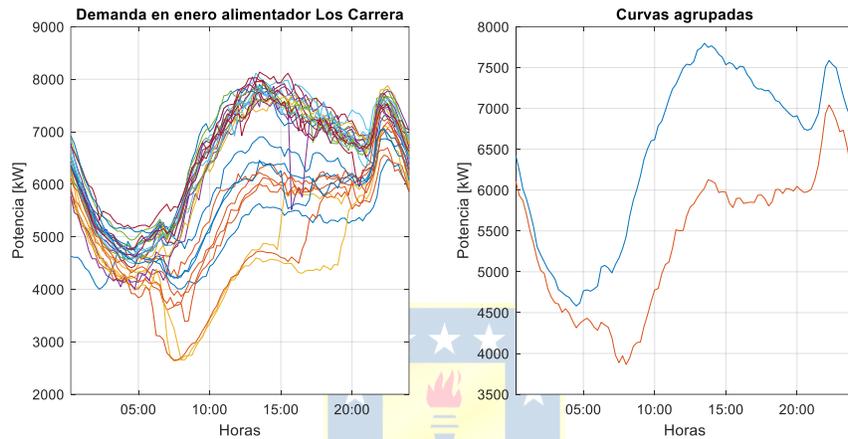


Figura B-1: Demanda en el mes de enero en alimentador Los Carrera y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia).

De la curva agrupada se puede observar que la demanda tiene un perfil residencial. Se visualiza que el consumo aumenta cerca de las 11:00. La curva correspondiente a los días de semana se analiza mediante el algoritmo Fuzzy C-Means obteniendo el resultado presente en la Figura B-2.

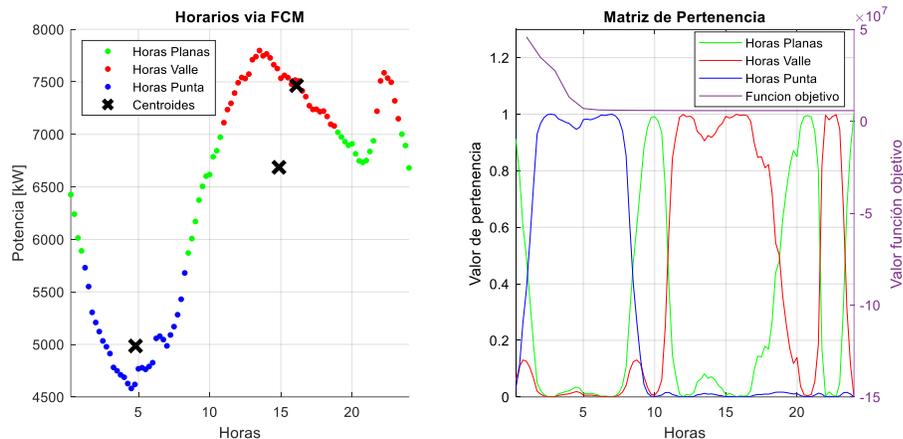


Figura B-2: División de periodos para el mes de enero en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).

La curva analizada muestra que las horas de menor consumo están agrupadas a un solo periodo horario específico. Así también, se tiene que las horas de mayor consumo tienen la tendencia a aparecer entre las 11:00 y las 23:00 horas, aunque estas están divididas en dos periodos.

Con esta información es posible establecer el horario ideal de carga y descarga de VE para los habitantes de Osorno en Los Carrera como se muestra en la Tabla B-1.

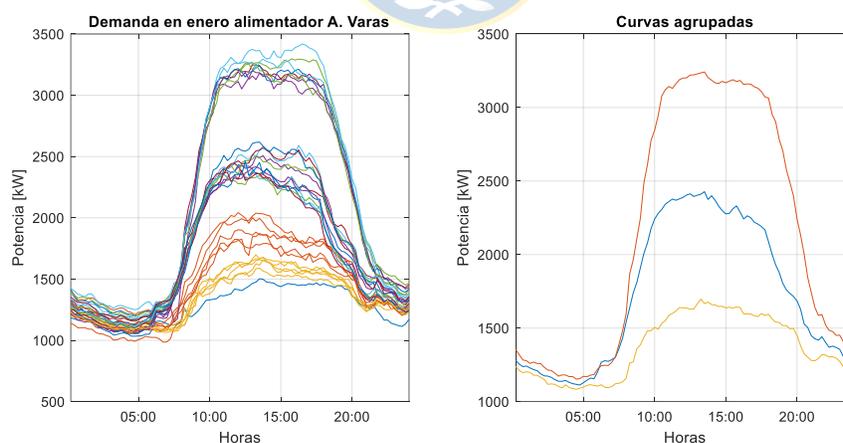
**Tabla B-1: Horarios de carga y descarga de VE para enero en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**

Alimentador Los Carrera	Horario	Cargar Vehículo	Inyectar Energía
Horas Valle	01:15-8:15	Incentivar	Incentivo Bajo
Horas Planas	8:30-10:45	Costo Normal	Incentivo Medio
	19:00-21:30		
	23:30-1:00		
Horas Punta	11:00-18:45	Sancionar	Incentivar
	21:45-23:25		

Los horarios entregados por el algoritmo Fuzzy C-Means logran identificar con claridad las diferencias horarias. Es de importancia estudiar el efecto de clasificar el periodo de 19:00 a 21:30 horas como hora plana, puesto que este está cerca de las horas punta.

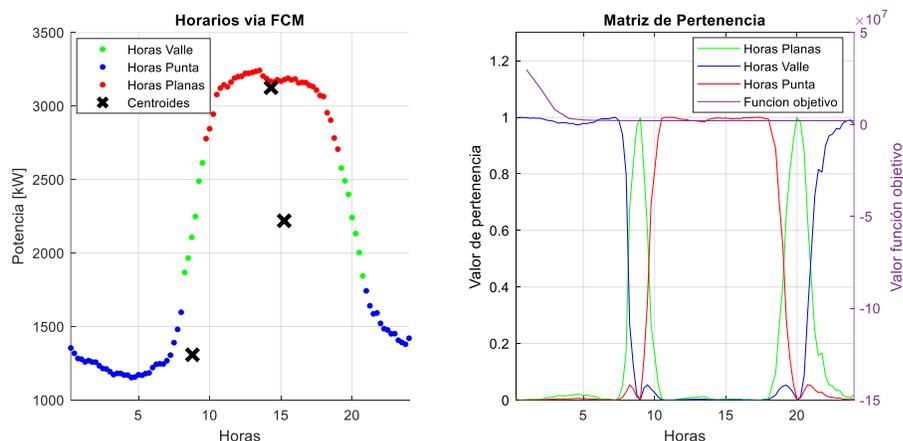
### **B. Alimentador Antonio Varas (enero)**

Para el alimentador Antonio Varas la demanda en enero y sus curvas agrupadas se muestran en la Figura B-3.



**Figura B-3: Demanda en el mes de enero en alimentador Antonio Varas y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia).**

En este caso existen tres perfiles comunes que tienen un perfil comercial. Los dos perfiles superiores corresponden a mediciones de días hábiles. Como interesa analizar el peor caso para la red, se elige la curva de mayor consumo. El análisis de partición de periodos está en la Figura B-4.



**Figura B-4: División de periodos para el mes de enero en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**

Los resultados del análisis con el algoritmo muestran que tanto las horas de mayor como las de menor consumo se encuentran agrupadas en un periodo, que abarca la mayoría de las horas del día. Las horas planas sólo logran estar presentes por cerca de dos horas.

De la información entregada por el algoritmo se definen las horas de carga y descarga como en la Tabla B-2.

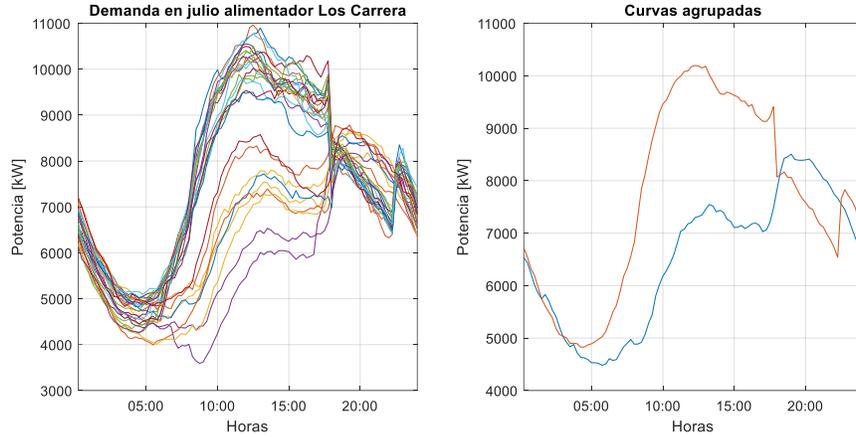
**Tabla B-2: Horarios de carga y descarga de VE para enero en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**

Alimentador Antonio Varas	Horario	Cargar Vehículo	Inyectar Energía
Horas Valle	21:00-08:00	Incentivar	Incentivo Bajo
Horas Planas	08:15-9:30	Costo Normal	Incentivo Moderado
	19:15-20:45		
Horas Punta	09:45-19:00	Sancionar	Incentivo Alto

En este caso las horas valle cubren un periodo de nueve horas, las cuales corresponden a horas nocturnas. Esta cantidad de tiempo permite la carga de todos los modelos de VE con una gran holgura, por lo que todos los VE pueden ser cargados durante este lapso. Las horas planas tienen una duración aproximada de una hora y servirían de transición o última instancia de cargar antes de entrar a las horas punta.

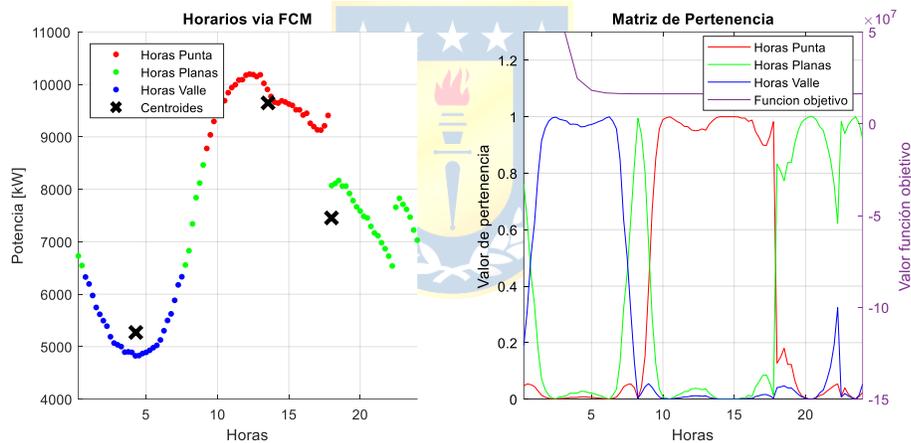
### C. Alimentador Los Carrera (julio)

Para el alimentador Los Carrera se tiene la demanda del alimentador y sus curvas agrupadas como se muestra en la Figura B-5.



**Figura B-5: Demanda en el mes de julio en alimentador Los Carrera y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia).**

Estas curvas muestran claramente los efectos del cobro adicional por consumo en hora de punta CNE, cobro que no se aplica para fin de semana o días festivos. Los periodos que se pueden encontrar mediante el análisis de las curvas agrupadas se ven en la Figura B-6.



**Figura B-6: División de periodos para el mes de julio en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**

Las horas de mayor consumo son menores que en el caso de la demanda de enero. Debido a la disminución de consumo que se presenta desde las 18:00 horas, el algoritmo clasifica el periodo como hora plana. Sin embargo, estas horas se consideran en la creación del horario como horas de mayor consumo.

De esta información, y considerando el periodo de punta existente para el 2022, se establece el horario ideal de carga y descarga de los vehículos en la Tabla B-3.

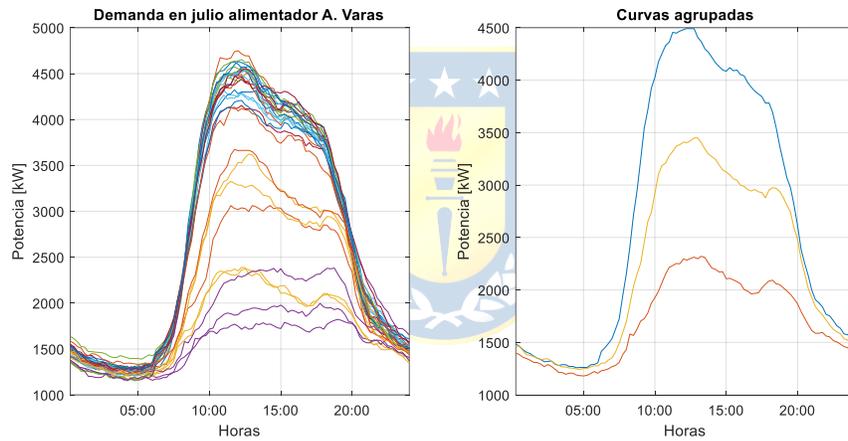
**Tabla B-3: Horarios de carga y descarga de VE para julio en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**

Alimentador Los Carrera	Horario	Cargar Vehículo	Inyectar Energía
Horas Valle	00:45-07:30	Incentivar	Incentivo Bajo
Horas Planas	7:45-9:00	Costo Normal	Incentivo Moderado
	22:15-00:45		
Horas Punta	09:15-17:45	Sancionar	Incentivo Alto
Hora de punta CNE	18:00-22:00	Sancionar	Incentivo Alto

Los horarios de carga son más restrictivos que en enero debido al horario de punta CNE. Por esto, las horas de punta y de punta CNE en conjunto extienden las horas a las cuales se sanciona la carga de los VE en comparación al horario de enero.

**D. Alimentador Antonio Varas (julio)**

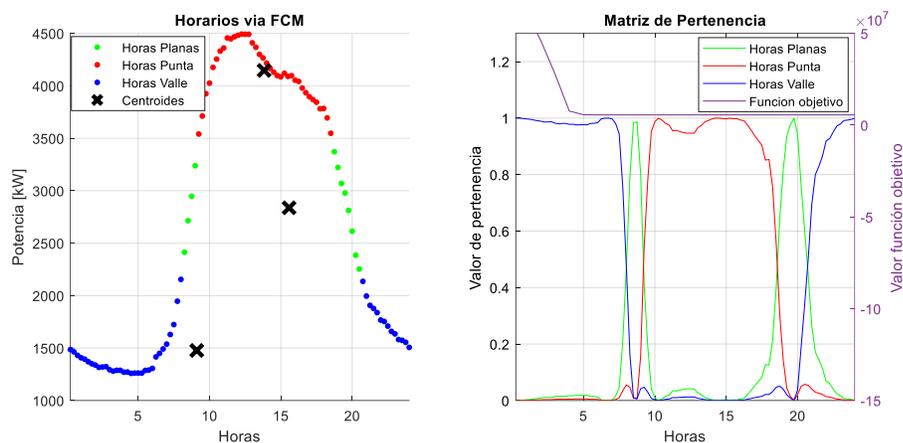
Para el alimentador Antonio Varas la demanda de julio y las curvas agrupadas se presentan en la Figura B-7.



**Figura B-7: Demanda en el mes de julio en alimentador Antonio Varas y sus curvas agrupadas (Elaboración Propia).**

En comparación al mes de enero se presenta una disminución de consumo justamente en horas de punta CNE. Los perfiles siguen siendo similares a lo encontrado en enero.

La división de periodos con el algoritmo Fuzzy C-Means arroja el resultado dado en la Figura B-8.



**Figura B-8: División de periodos para el mes de julio en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**

La agrupación de los periodos de horas planas, horas valle y horas de mayor consumo es similar a la agrupación realizada en el perfil representativo de enero.

De los resultados entregados y el horario de punta CNE se puede establecer el horario para carga y descarga como se muestra en la Tabla B-4.

**Tabla B-4: Horarios de carga y descarga de VE para julio en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**

Alimentador Antonio Varas	Horario	Cargar Vehículo	Inyectar Energía
Horas Valle	22:15-08:00	Incentivar	Incentivo Bajo
Horas Planas	08:15-9:00	Costo Normal	Incentivo Moderado
Horas Punta	09:15-17:45	Sancionar	Incentivo Alto
Hora de punta CNE	18:00-22:00	Sancionar	Incentivo Alto

La diferencia con el horario de enero radica en la disminución de las horas planas y la extensión de las horas de punta. Además, las horas de valle se reducen en una hora.

## Anexo C. Horarios para carga/descarga en alimentadores y demanda gestionada

**Tabla C-1: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Los Carrera para enero (Elaboración Propia).**

	Horario Enero		
Alimentador Los Carrera	1:00	2:00	3:00 - 8:00
Sector 1	Valle Bajo	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 2	Valle	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 3	Valle	Valle	Valle Bajo

**Tabla C-2: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Los Carrera para julio (Elaboración Propia).**

	Horario Julio		
Alimentador Los Carrera	1:00	2:00	3:00 - 7:00
Sector 1	Valle Bajo	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 2	Valle	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 3	Valle	Valle	Valle Bajo

**Tabla C-3: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Antonio Varas para enero (Elaboración Propia).**

	Horario Enero		
Alimentador Antonio Varas	21:00	23:00	1:00-8:00
Sector 1	Valle Bajo	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 2	Valle	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 3	Valle	Valle	Valle Bajo

**Tabla C-4: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Antonio Varas para julio (Elaboración Propia).**

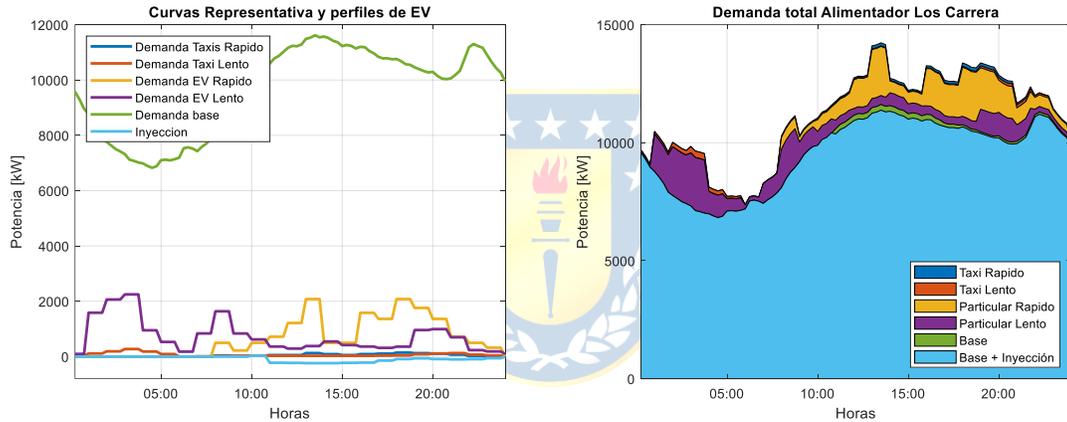
	Horario Julio		
Alimentador Antonio Varas	22:00	0:00	2:00 - 8:00
Sector 1	Valle Bajo	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 2	Valle	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 3	Valle	Valle	Valle Bajo

**Tabla C-5: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Chuyaca para enero (Elaboración Propia).**

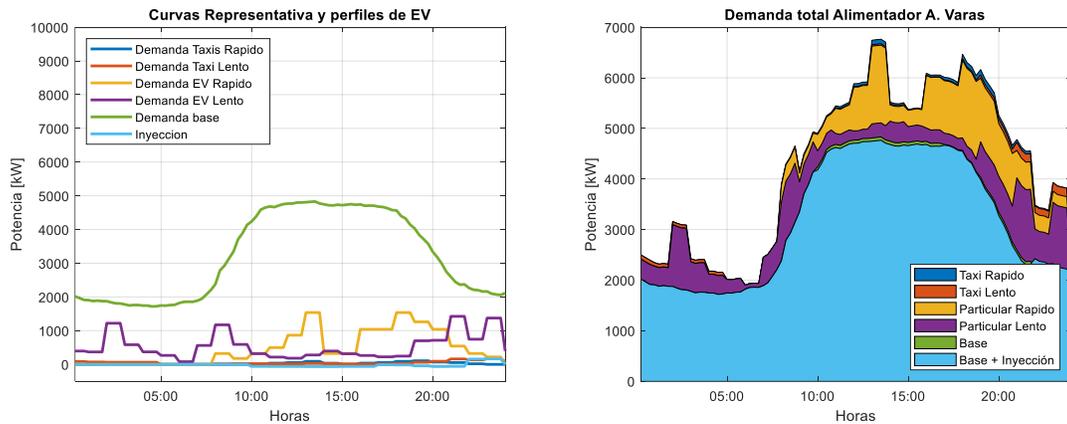
Alimentador Chuyaca	Horario Enero		
	1:00	2:00	3:00 - 8:00
Sector 1	Valle Bajo	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 2	Valle	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 3	Valle	Valle	Valle Bajo

**Tabla C-6: Proposición de división horaria de horas de menor consumo en horas Valle y horas Valle Bajo en alimentador Chuyaca para julio (Elaboración Propia).**

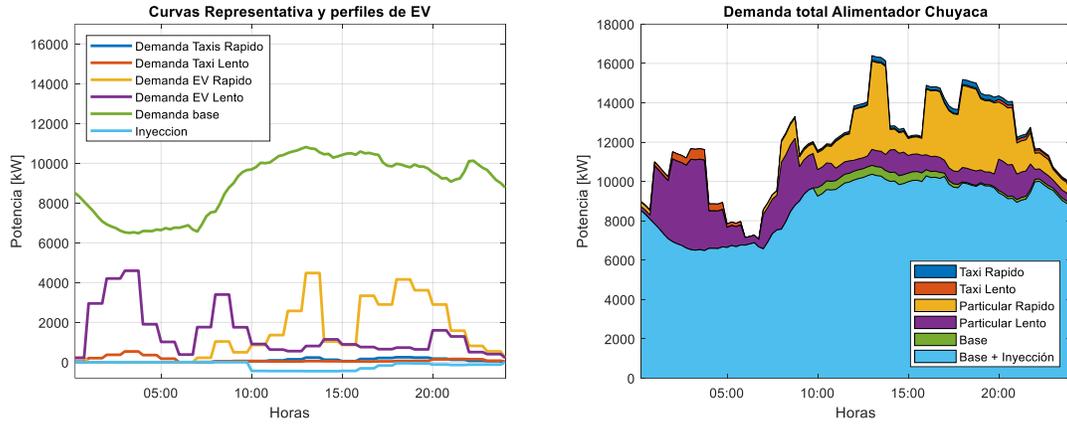
Alimentador Chuyaca	Horario Julio		
	21:00	23:00	1:00-8:00
Sector 1	Valle Bajo	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 2	Valle	Valle Bajo	Valle Bajo
Sector 3	Valle	Valle	Valle Bajo



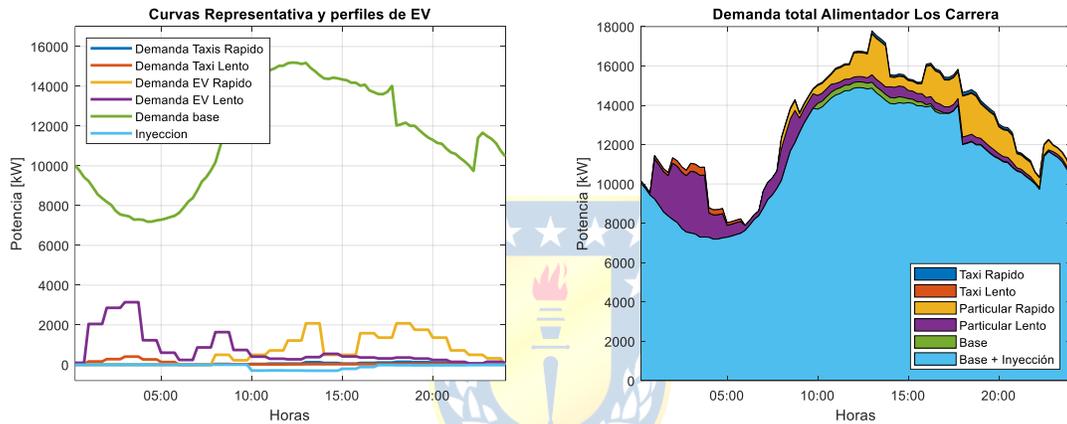
**Figura C-1: Demanda total con desplazamiento de cargas para enero en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**



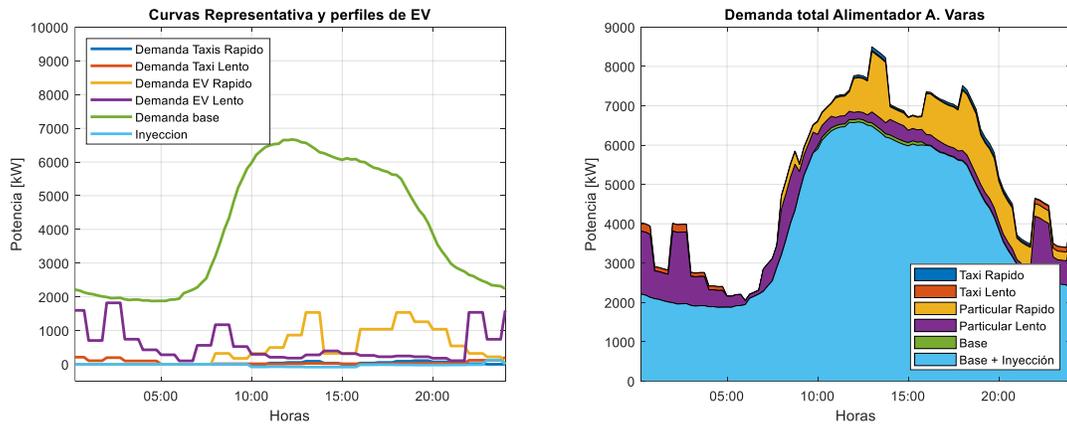
**Figura C-2: Demanda total con desplazamiento de cargas para enero en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**



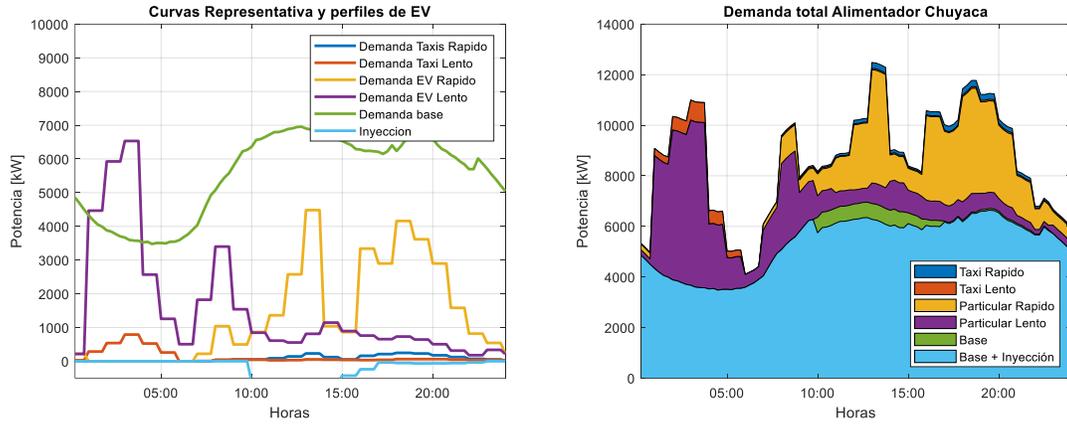
**Figura C-3: Demanda total con desplazamiento de cargas para enero en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**



**Figura C-4: Demanda total con desplazamiento de cargas para julio en alimentador Los Carrera (Elaboración Propia).**



**Figura C-5: Demanda total con desplazamiento de cargas para julio en alimentador Antonio Varas (Elaboración Propia).**



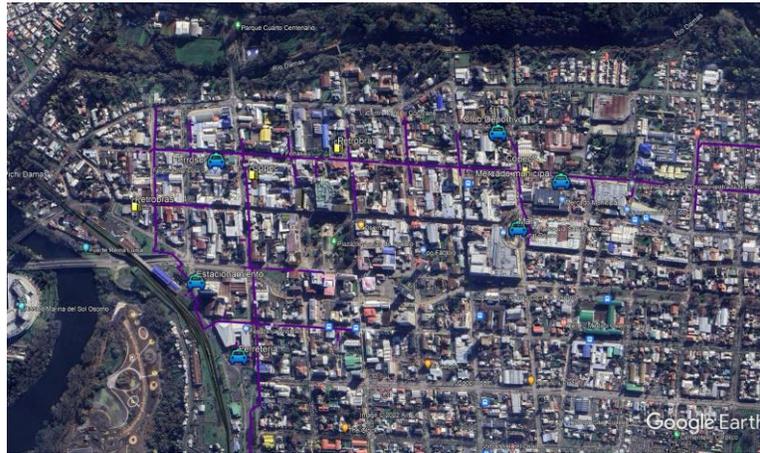
**Figura C-6: Demanda total con desplazamiento de cargas para julio en alimentador Chuyaca (Elaboración Propia).**



## Anexo D. Simulaciones en DigSilent para Los Carrera y Antonio Varas

### Alimentador Los Carrera: julio

Para el área que se encuentra en la red de media tensión energizada por el alimentador Los Carrera, se han ubicado cargadores públicos y estaciones de carga rápida como se ve en la Figura D-1.



**Figura D-1: Cargadores públicos y rápidos contemplados para la simulación en Los Carrera (Elaboración Propia).**

Con estos cargadores eléctricos ubicados se procede a estudiar el impacto resultante por una carga sin gestión y por una en base a horarios.

Para el caso sin vehículos, sin gestión tarifaria y con horarios de carga propuestos se estudia la mayor demanda energética correspondiente a la realizada a las 13:00 horas. La demanda base ha sido escalada según el día 8 de julio de 2021, ya que ese día se produce la mayor demanda a las 13:00 horas, con su respectivo crecimiento vegetativo estimado para el año 2050.

Para el caso gestionado también se estudia la mayor de demanda dada en las nocturnas, correspondiente a la hora 01:00 debido a la conexión de todos los VE particulares. La demanda ha sido escalada según el día 24 de julio de 2021.

### Simulación sin penetración de VE

Si no existen vehículos que demanden carga del sistema y sólo se tiene el crecimiento vegetativo contemplado, se detectan 2 líneas con una carga de 102,2 %, las cuales abarcan 33 metros

de línea. Además, se encuentran 9 líneas con una carga superior a 98,5 % correspondientes a 255 metros de línea.

Por otra parte, 14 de los transformadores de distribución actuales presentarían sobrecarga bajo estas consideraciones.

### Situación sin gestión horaria

La demanda que se estima para las 13:00 horas se muestra según tipo de carga en la Tabla D-1.

**Tabla D-1: Demanda por tipo de carga situación sin gestión en Los Carrera, año 2050 (Elaboración Propia).**

Sin Gestión 13:00 horas	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	195	20	18	19	4
Demanda [kW]	1.336	139	2.080	133	125

La simulación bajo estas condiciones refleja que 67 líneas de media tensión se encuentran sobrecargadas, correspondientes a 1,68 kilómetros de líneas. De estas se tienen 9 líneas con una carga entre 120 % y 128 %; 22 líneas con una carga entre el 111,5 % y 119,2 %; y las 36 líneas restantes con una carga entre 100,4 % y 102,5 %. Además, se identifican 9 líneas con una carga entre 96 % y 98 %. Esta cantidad de líneas congestionadas es esperable puesto que el sistema sin VE ya presenta algunas líneas sobrecargadas o cerca del 100 % de su capacidad nominal.

Se detecta que, de los actuales 31 transformadores de distribución asociados al estudio, 15 de estos se encuentran en situación de sobrecarga.

### Situación con tarifa horaria a las 13:00 horas

En el caso gestionado la demanda estimada de VE correspondiente a las 13:00 horas se encuentra en la Tabla D-2.

**Tabla D-2: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 13 horas en Los Carrera, año 2050 (Elaboración Propia).**

Gestionado 13:00 horas	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	33	20	18	4	4
Demanda [kW]	242	139	2.080	28	125

Con respecto a las líneas de transmisión se encuentran 31 líneas congestionadas, las cuales representan 764 metros. La gestión de carga en banda horaria logra reducir la cantidad de líneas sobrecargadas en 36. Estas 36 líneas tienen una carga entre 96 % y 98,5 % y presentan una longitud de 820 metros.

De los transformadores de distribución se tienen 14 que están sobrecargados, lo que disminuye en una unidad la cantidad de transformadores con alta demanda en comparación con el caso sin gestión.

### Situación con tarifa horaria a la hora 01:00

Analizando la carga en horas nocturnas, se tiene que a la 01:00 hora de la mañana la demanda estimada por los VE es la que se encuentra en la Tabla D-3.

**Tabla D-3: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a la hora 01:00 en Chuyaca, año 2050 (Elaboración Propia).**

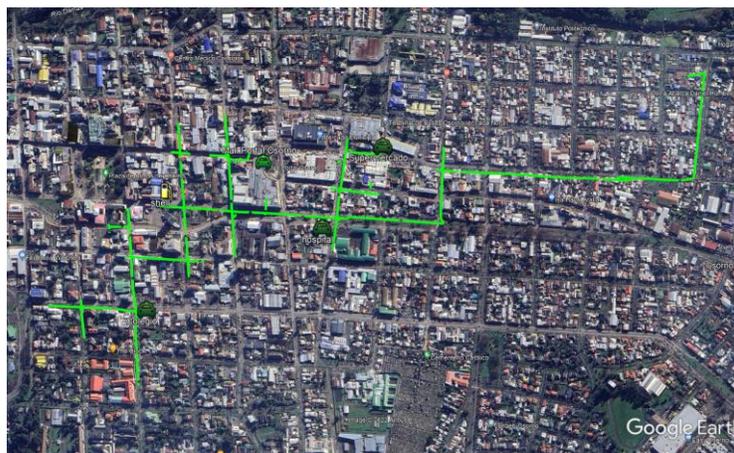
Gestionado hora 01:00	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	268	0	0	23	0
Demanda [kW]	1.954	0	0	161	0

Para una demanda nocturna puramente residencial la simulación muestra que no existen líneas de media tensión congestionadas. La máxima carga presente en las líneas es de 72,9 %.

También se tienen 11 transformadores de distribución que presentarían sobrecarga. La disminución de transformadores sobrecargados en comparación con las horas diurnas demuestra que el crecimiento vegetativo tiene mayor impacto sobre este sistema que la carga de EV.

### Alimentador Antonio Varas: julio

El área contemplada por el alimentador Antonio Varas junto a sus líneas y cargadores públicos y estaciones de carga rápida instaladas se puede apreciar en la Figura D-2.



**Figura D-2: Cargadores públicos y rápidos contemplados para la simulación en A. Varas (Elaboración Propia).**

Al igual que en las simulaciones anteriores, se procede a estudiar el impacto por la carga sin gestión y gestionada de VE en base a horarios.

El caso sin VE, sin gestión y gestionado presentan su mayor demanda a las 13:00 horas. Para esta situación se utiliza la demanda base escalada según el día 2 de julio de 2021.

En el caso gestionado para horas nocturnas se escala en base al día 26 de julio de 2021 a las 22:00 horas debido a que es el horario con mayor demanda dada por los VE.

### **Simulación sin penetración de VE**

Al no presentar vehículos conectados al sistema no se detectan líneas que presenten congestión. La mayor carga presente en las líneas es de 59,5 %, por lo que el sistema puede soportar la demanda dada por el crecimiento vegetativo.

Con respecto a los transformadores de distribución se tiene que 10 de estos estarían en situación de sobrecarga.

### **Situación sin gestión horaria**

La demanda de vehículos con la que se trabajará según las estimaciones de demanda realizadas se encuentra en la Tabla D-4.

**Tabla D-4: Demanda por tipo de carga situación sin gestión en A. Varas, año 2050 (Elaboración Propia).**

Sin Gestión 13:00 horas	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	140	15	13	13	3
Demanda [kW]	959	102	1.537	91	89

Bajo estas condiciones la simulación informa que no existen líneas sobrecargadas en el sistema. Esto es debido a la demanda base que contempla este sistema, la cual es menor a la demanda de los demás alimentadores, ya que la cantidad de clientes es reducida y la infraestructura es similar a la de alimentadores que presentan congestión en sus líneas. Además, como la demanda de VE se ha pronosticado según la cantidad de clientes se tiene que la demanda de estos es la mínima en comparación con las demás zonas de alimentadores.

La mayor carga presente en las líneas es de 58,4 %, lo cual no representa algún problema para la infraestructura disponible.

De los 17 transformadores de distribución a los cuales se les asignó VE, se tiene que 12 de estos presentan sobrecarga. Esto es dos transformadores más que si no hubiese VE conectados, por lo que el problema viene dado mayormente por el crecimiento vegetativo.

## Situación con tarifa horaria a las 13:00 horas

En el caso gestionado la demanda estimada de VE correspondiente a las 13:00 horas se encuentra en la Tabla D-5.

**Tabla D-5: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 13 horas en A. Varas, año 2050 (Elaboración Propia).**

Gestionado 13:00 horas	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	24	15	13	4	3
Demanda [kW]	176	102	1.537	28	89

La simulación muestra que ninguna línea de media tensión está sobrecargada, lo cual es esperable, ya que el caso sin gestión tampoco presenta líneas congestionadas. La mayor carga presente en las líneas es de 53,4 %, lo cual refleja una disminución de 5 % de la carga en las líneas comparado al caso sin gestión.

Con respecto a los transformadores de distribución bajo esta condición se tienen 10 que presentan sobrecarga, lo cual es equivalente al caso sin penetración de EV.

## Situación con tarifa horaria a las 22:00 horas

Para la carga en horas nocturnas, donde se espera que la mayoría de los VE se carguen, se tiene la demanda estimada mostrada en la Tabla D-6.

**Tabla D-6: Demanda considerada según tipo de carga caso gestionado a las 22:00 horas en Chuyaca, año 2050 (Elaboración Propia).**

Gestionado 22:00 horas	Carga Residencial	Carga Pública	Carga Rápida	Carga Lenta Taxis	Carga Rápida Taxis
VE simultáneo	191	0	3	27	1
Demanda [kW]	1.540	0	322	119	17

La simulación de esta condición muestra que ninguna línea de media tensión está congestionada. La mayor ocupación de las líneas corresponde a 30,5 % de su capacidad nominal, por lo que las líneas están aptas para realizar la carga nocturna.

Con respecto a los transformadores de distribución se detectan 12 de estos que no serían capaces de soportar la carga presente puesto que se encuentran sobrecargados. Esto muestra que trasladar la demanda de los VE a horas de menor consumo aumenta el estrés de transformadores de distribución.