



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE LA OPERACIÓN
DEL SISTEMA BIDIRECCIONAL V2G EN LA AGENCIA DE
SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

ESTEBAN ANDRÉ CANDIA GONZALEZ

PROFESOR GUÍA:

WILLIAMS CALDERÓN MUÑOZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

GABRIEL GUGGISBERG ALARCÓN

JORGE REYES MARAMBIO

Este trabajo ha sido en colaboración con la Agencia de Sostenibilidad Energética

SANTIAGO DE CHILE

2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO
POR: ESTEBAN CANDIA GONZALEZ
FECHA: ABRIL DEL 2020
PROF. GUÍA: WILLIAMS CALDERÓN

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA
BIDIRECCIONAL V2G EN LA AGENCIA DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

La gestión energética consiste en la optimización de los componentes consumidores de energía dándoles un uso eficiente, sin disminuir sus prestaciones. La gestión de la energía permite detectar oportunidades de mejora en aspectos técnicos y económicos, logrando relacionar de manera óptima sus componentes consumidores, entonces aumentando la eficiencia del conjunto.

El V2G – vehicle to grid – es una infraestructura que conecta bidireccionalmente a los vehículos eléctricos con la red, por lo tanto permite la carga de las baterías desde la red hacia el vehículo y la inyección de energía desde el vehículo a la red.

La Agencia de Sostenibilidad Energética dispone de un sistema V2G, el cual está compuesto por un vehículo eléctrico, modelo Nissan Leaf que dispone un banco de baterías de 40 kWh, un panel fotovoltaica de 3kW y la infraestructura de carga bidireccional de 15 kW de potencia variable. Los principales componentes de este sistema han sido instalado para ser gestionados por el V2G, de manera tal que se genere un ahorro económico y energético. Además, se ha instalado un sistema de monitoreo que permite obtener los consumos y la generación de cada uno de los componentes.

El objetivo central de este trabajo consiste en identificar el potencial de los beneficios técnicos y económicos del sistema V2G instalado mediante la implementación de una nueva metodología de operación que cual integre las restricciones técnicas y económicas de los componentes.

La Agencia de Sostenibilidad Energética es un cliente regulado con un contratario eléctrico BT4.3 y su perfil de consumos ha sido monitoreado durante cinco meses creando la base de datos utilizada en la investigación. La gestión energética es realizada por el sistema V2G bidireccionando energía desde el vehículo eléctrico a la red. Los desafíos son integrar la energía renovables, aplanar el consumo por potencia y evitar la degradación de las baterías.

En vista de que la metodología pretende generar un beneficio económico y que la tarifa eléctrica BT4.3 asigna cargos por uso de potencia máxima mensual, es que se pretende aplanar el perfil de consumo por potencia, es decir, la metodología permite definir una potencia óptima P^* . Esta potencia será menor a la potencia máxima consumida durante el periodo de implementación gracias a que el sistema V2G inyectara energía cuando la potencia solicitada sea alta, y cargara el vehículo cuando esta sea baja. Por último, para evitar la degradación de la batería la metodología permite determinar el estado de carga inicial que debe tener el vehículo para mantenerse dentro de los rangos recomendados.

El sistema V2G es finalmente un gestor energético que pretende combinar la tecnología emergente de los vehículos eléctricos junto a la necesidad de consumir eficientemente para evitar cobros excesivos y potenciar el uso de energías renovables.

A Silvia, Gertrudis y Pedro...

Agradecimientos

Primero que todo, agradecer a mi familia. A mi madre, Jacqueline por su enorme bondad y paciencia que mantiene la cohesión familiar llenando de alegría a cada instante, por su sabiduría emocional y altura de miras. A mi padre, Alejandro, por ser guerrero de mil y una batallas siempre atento y dispuesto a tender una mano a quién la necesita; por su claridad interna. A mi hermana, Valentina, por su mirada y convicción que cambiarán el mundo de quienes la rodeen, por ser confidente, a quien admiro. A mi hermano, Sebastián, por ser con quién más carcajadas comparto, por crecer juntos, a quien admiro. A mi abuela, Gertrudis, por ser mi segunda madre por su sabiduría y entrega. A mi abuelo, Pedro, por ser mi segundo padre, por su guía ideológica y por entregarme mis pasiones el futbol y la música.

Quiero agradecer de manera muy especial a mi compañera, amiga y pareja, Sara. Agradecer por la fortuna de que nuestros mundos distantes se hayan unido hace tanto tiempo, compartiendo recuerdos por más de una década; por estar siempre sin importar el dónde, sin importar el cuando. Gracias por ser inspiración al ser un agente de cambio en la sociedad, por tus convicciones y por saber entregar amor del bueno.

Agradecer a los miembros de mi comisión quienes guiaron esta investigación. A mi profesor guía Williams Calderón por confiar en este proyecto. A Jorge Reyes por estar siempre dispuesto a contestar mis dudas. Al increíble equipo de Transporte Sustentable de la Agencia de Sostenibilidad Energética, en especial a mi tutor Gabriel Guggisberg por su rigurosidad y comprensión.

Gracias a las Grratas por los viajes de conexión con la Pachamama, por las aventuras en el viejo continente, por ser el escape de esta ciudad en tiempos de crisis, por las horas de conversaciones y risas. En especial al Tre por cimentar en conjunto los suelos musicales que han permitido encender el ser. A mis primos de Serena por todos los veranos juntos. A los cabros de Legouvé por esos dos años de hermandad en las calles Nantesas. Al los K de la E por las changas y todos recuerdos en beauchef. Al Sindicato por los after office de conversación reflexiva. Y por último al team que casi se fue a Pichilemu en abril de este año, ya habrá nuevamente playa en nuestros pies.

También agradecer a todos los equipos de futbol por los goles, por las changas, por los que hemos levantado copas: el Real E, Piscondor FC, Falazias FC, la BB14, la E-Mecánica, les Garslactiques y el TeDeposito FC.

Gracias a la naturaleza por brindarme hermosos paisajes y momentos que llenan el espíritu.

Tabla de Contenido

CAPITULO 1 : INTRODUCCIÓN	1
1.1. MOTIVACIÓN.....	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. General.....	2
1.2.2. Específicos.....	2
1.3. ALCANCE.....	2
1.4. PRINCIPALES SUPUESTOS.....	2
CAPITULO 2 : CONTEXTO DE IMPLEMENTACIÓN	4
2.1. AGENCIA DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA	4
2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES INSTALADOS.....	5
2.2.1. Infraestructura de carga bidireccional V2G.....	5
2.2.2. Vehículo eléctrico – Nissan LEAF.....	6
2.2.3. Monitoreo por sensores IoT.....	7
2.2.4. Panel fotovoltaico instalado.....	9
2.3. FACTOR DE EMISIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA CHILENA	9
2.3.1. Matriz energética Chilena.....	9
2.3.2. Factor de emisión.....	10
2.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	12
CAPITULO 3 : ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA V2G	14
3.1. CONCEPTO DEL SISTEMA V2G.....	14
3.1.1. Integración del VE a la red.....	14
3.2. ESQUEMA DEL V2G Y DESAFÍOS.....	16
3.3. APLICACIONES.....	17
3.3.1. Compra venta de energía	17
3.3.2. Francia	18

CAPITULO 4 : DEGRADACIÓN DE LA BATERÍA.....	19
4.1. COMPARACIÓN ENTRE DOS ESTUDIOS	19
4.2. RANGO DE OPERACIÓN DEL V2G	20
4.2.1. Rangos operación por SOC y recomendación del fabricante.....	20
4.2.2. Rangos de operación por Efecto joule y resistencia interna.....	20
CAPITULO 5 : CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA AGENCIA SE	21
5.1. REGULACIÓN TARIFARIA	21
5.1.1. Contratos eléctricos nacionales	21
5.1.2. Tarifación por Energía y Potencia	21
5.1.3. Facturación de la opción tarifaria baja tensión 4.3.....	22
5.1.4. Análisis tarifario de las boletas de AgenciaSE BT4.3	25
5.2. LEVANTAMIENTO DE DATOS MEDIANTE SENSORES IOT	26
5.2.2. Tratamiento de datos - Código	27
5.3. PERFIL DE CONSUMO	28
5.3.1. Características del perfil de consumo de la AgenciaSE.....	28
5.3.2. Perfil de consumo discreto de la AgenciaSE	30
5.4. POTENCIAL ECONÓMICO DEL SISTEMA V2G EN LA AGENCIASE	32
5.4.1. Esquema de la AgenciaSE – Nivel 1	33
5.4.2. Esquema Flota – Nivel 2.....	34
CAPITULO 6 : OPERACIÓN DEL SISTEMA V2G Y VE	35
6.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE INVESTIGACIÓN	35
6.2. OPERACIÓN TEÓRICA DEL SISTEMA	36
6.3. OPERACIÓN REAL DEL SISTEMA	37
CAPITULO 7 : METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y APLICACIÓN DEL SISTEMA V2G	38
7.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	38
7.2. PARAMETRIZACIÓN DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA AGENCIASE	40
7.2.1. Formulación de las variables $EV2G(t)$ y $PV2G(t)$	40

7.2.2.	<i>Cantidad de energía final del sistema EV2G</i>	42
7.3.	RESTRICCIONES DEL CASO DE INVESTIGACIÓN	43
7.3.1.	<i>Regulación tarifaria: Ahorro por reducción de potencia máxima utilizada</i>	43
7.3.2.	<i>Energía disponible en el VE al final del día</i>	44
7.3.3.	<i>Evitar la degradación de la batería</i>	44
7.4.	BALANCE ENERGÉTICO Y CALCULO DE P *	45
7.5.	CALCULO DEL % SOCinicial PARA EVITAR DEGRADACIÓN DE BATERÍAS	46
7.5.1.	<i>Calculo teórico %SOCinicial</i>	46
CAPITULO 8 : IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA		50
8.1.	CASO TEÓRICO CONTINUO DE LA INVESTIGACIÓN	50
8.1.1.	<i>Implementación: Calcular P^*, $P_{V2G}(t)$</i>	50
8.2.	CASO REAL DISCRETO DE LA INVESTIGACIÓN	53
8.2.1.	<i>Implementación: Definir P^*, $P_{v2g}(t)$ y %SOC_inicial</i>	53
8.2.2.	<i>Resultado real de la implementación</i>	54
CAPITULO 9 : ECONOMÍA DEL V2G		57
9.1.	ECONOMÍA DEL CASO DE INVESTIGACIÓN.....	57
9.1.1.	<i>Resultado esperado del caso en la AgenciaSE</i>	58
9.1.2.	<i>Resultado real del caso en la AgenciaSE</i>	59
9.2.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL CASO DE INVESTIGACIÓN	61
CAPITULO 10 : CONCLUSIONES		63
10.1.	TRABAJO A FUTURO.....	64
CAPITULO 11 : BIBLIOGRAFÍA.....		65

Índice de tablas

Tabla 2.1: Características eléctricas de la infraestructura de carga V2G.	6
Tabla 2.2: Características técnicas del Nissan Leaf 2018.....	7
Tabla 2.3: Factor de emisión horario promedio Chileno (Energía Abierta, 2020)	11
Tabla 5.1: Detalle de cobros tarifa BT4.3 según (Pliego Tarifario, 2020)	23
Tabla 5.2: Costos unitarios por uso energía, potencias y cargos fijos	24
Tabla 5.3: Resumen de las boletas del consum del 18/08/18 al 17/06/19	25
Tabla 5.4: Potencias máximas y mínimas del perfil de consumo promedio de la AgenciaSE	29
Tabla 5.5: Potencia facturable de la AgenciaSE promedio de 5 meses	29
Tabla 5.6: Perfil de consumo promedio mensual discreto	30
Tabla 5.7: Potencias del perfil de consumo discreto de la AgenciaSE	31
Tabla 7.1: Calculo necesarios	42
Tabla 7.2: Potencia obtenidas del perfil de consumo de la AgenciaSE.....	43
Tabla 7.3: Cálculos para gestión energética	47
Tabla 8.1: Aplicación de la metodología en caso continuo	50
Tabla 8.2: Resultados de la metodología de calculo del $SOC^{*}_{inicial}$ - Caso continuo	52
Tabla 8.3: Análisis energético del caso estudiado	53
Tabla 8.4: Resultados de la metodología de calculo del $SOC^{*}_{inicial}$ - Caso discreto.....	54
Tabla 8.5: Potencias promedio en el horario de la jornada laboral.....	54
Tabla 9.1: Características del caso de investigación para análisis económico	57
Tabla 9.2: Potencias y energía esperadas del caso.....	59
Tabla 9.3: Potencias y energías reales del caso	60
Tabla 9.4: Resultado del análisis de sensibilidad.....	61
Tabla 12.1: Variación del estado de carga para el caso discreto con $SOC_{inicial}=40\%$	75
Tabla 12.2: Potencias promedio en periodo de evaluación de 10 días	76

Tabla 12.3: Potencias teóricas del caso de investigación	88
Tabla 12.4: Potencias reales del caso de investigación.....	88
Tabla 10.1: Consumo de energía en de la AgenciaSE para HomerEnergy [kWh]	90

Índice de figuras

Figura 2.1: Esquema Agencia de Sostenibilidad Energética	4
Figura 2.2: Infraestructura de carga bidireccional V2G.	5
Figura 2.3: Vehículo eléctrico Nissan Leaf 2018 utilizado en la investigación.	6
Figura 2.4: Imagen del sistema de monitoreo en tablero eléctrico de la AgenciaSE.....	8
Figura 2.5: Imagen representativa de la información levantada por los sensores instalados (Plataforma WenuWork, 2019).....	8
Figura 2.6: Esquema del techo del estacionamiento, lugar de planta FV	9
Figura 2.7: Composición de la generación de energía Chilena (Energía abierta, 2020)	10
Figura 2.8: Metodología de investigación CIFE "Horseshoe" de (Kunz, 2012).....	13
Figura 3.1: Esquema de la operación del sistema V2G (Clement-Nyns, 2009)	15
Figura 3.2: Niveles de la infraestructura de cargas (U.S. Department of Energy, 2015)	16
Figura 5.1: Esquema del contrato eléctrico BT4.3 (Henriquez S., 2010).....	23
Figura 5.2: Esquema del sistema de monitoreo instalado en la AgenciaSE	26
Figura 5.3: Perfil de consumo de potencias facturables de 5 meses	27
Figura 5.4: Perfil de consumo promedio de mayo a septiembre 2019.....	28
Figura 5.5: Perfil de consumo discreto de la AgenciaSE.....	31
Figura 5.6: Esquema de la línea base de evaluación.....	32
Figura 5.7: Esquema de la instalación del sistema V2G - Nivel 1	33
Figura 5.8: Esquema de incorporar flota Nivel 2.....	34
Figura 6.1: Esquema del caso de investigación	35
Figura 7.1: Esquema de la metodología implementada para operación del sistema V2G.....	38
Figura 7.2: Perfil de consumo ejemplificativo de instalación.....	41
Figura 8.1: Esquema de la línea lógica de implementación de la metodología	50
Figura 8.2: Perfil de consumo de la AgenciaSE para caso teórico continuo	51

Figura 8.3: Comparación entre potencias en el caso teórico	52
Figura 8.4: Perfil de consumo discreto para el caso real de la AgenciaSE.....	53
Figura 8.5: Caracterización del perfil del consumo (Promedio 10 días)	55
Figura 8.6: Comparación de las potencias (Promedio de 10 días).....	56
Figura 9.1: Comparación de potencias facturada esperada y consumida	58
Figura 9.2: Perfil de consumo esperado basado promedio de 10 días	58
Figura 9.3: Perfil de consumo real obtenido promedio de 10 días	59
Figura 9.4: Comparación entre las potencias reales promedio de 10 días	60
Figura 9.5: Comparación entre escenario favorable y desfavorable.....	62
Figura 12.1: Resultado de Mayo - Perfil de consumo y potencias del V2G.....	70
Figura 12.2: Resultado Mayo - Comparación entre potencia facturable y optima P*	70
Figura 12.3: Resultado de Junio - Perfil de consumo y potencias del V2G	71
Figura 12.4: Resultado Junio - Comparación entre potencia facturable y optima P*	71
Figura 12.5: Resultado de Julio - Perfil de consumo y potencias del V2G	72
Figura 12.6: Resultado Julio - Comparación entre potencia facturable y optima P*.....	72
Figura 12.7: Resultado de Agosto - Perfil de consumo y potencias del V2G	73
Figura 12.8: Resultado Agosto - Comparación entre potencia facturable y optima P*.....	73
Figura 12.9: Resultado de Septiembre - Perfil de consumo y potencias del V2G.....	74
Figura 12.10: Resultado Septiembre - Comparación entre potencia facturable y optima P*	74
Figura 12.11: Caracterización del perfil de consumo del 09/12	78
Figura 12.12: Comparación entre potencias del 09/12	78
Figura 12.13: Perfil de consumo 18/10.....	79
Figura 12.14: Comparación entre las potencias del 18/10.....	79
Figura 12.15: Perfil de Consumo del 17/10	80
Figura 12.16: Comparación entre potencias del 17/10	80

Figura 12.17: Perfil de consumo del 16/10.....	81
Figura 12.18: Comparación entre las potencias del 16/10.....	81
Figura 12.19: Caracterización del perfil de consumo del 14/10.....	82
Figura 12.20: Comparación de potencias del 14/10.....	82
Figura 12.21: Caracterización del perfil de consumo del 11/10.....	83
Figura 12.22: Comparación entre las potencias del 11/10.....	83
Figura 12.23: Caracterización del perfil de consumo del 10/10.....	84
Figura 12.24: Comparación entre las potencias del 10/10.....	84
Figura 12.25: Caracterización del perfil de consumo del 09/10.....	85
Figura 12.26: Comparación entre las potencias del 09/10.....	85
Figura 12.27: Caracterización del perfil de consumo del 08/10.....	86
Figura 12.28: Comparación de las potencias del 08/10.....	86
Figura 12.29: Caracterización del perfil de consumo del 07/10.....	87
Figura 12.30: Comparación entre las potencias del 07/10.....	87

Capítulo 1 : Introducción

1.1. Motivación

El fuerte crecimiento de la economía y la población mundial genera un crecimiento de la demanda energética, y en consecuencia un aumento en la cantidad de dióxido de carbono y gases nocivos para la salud. Considerando que una gran parte de las emisiones producidas son creadas por el uso de combustibles fósiles, la electrificación del transporte y el uso de energías renovables son dos alternativas claras para la descarbonización.

La problemática del cambio climático, la sociedad del consumo de lo desechable, la contaminación medioambiental, la extracción excesiva de las reservas de petróleo y el creciente auge de las energías renovables han potenciado el interés a nivel mundial de la fabricación, adquisición y comprensión de vehículos eléctricos. En concordancia la electromovilidad ha sido abordada desde distintos puntos de vistas para construir un ecosistema donde se puedan desarrollar y mejorar las experiencias de uso de un vehículo eléctrico (VE). Desde otra perspectiva, las energías renovables no convencionales (ERNC) se caracterizan por ser poco flexible necesitando por ejemplo tiempos soleados y ventosos para la generación de energía solar y eólica respectivamente. Entonces para aumentar sus beneficios es necesario integrar su producción a la red eléctrica coordinando la generación y la demanda. En respuesta a estas necesidades, la utilización de vehículos eléctricos es una de las soluciones posible al actuar como fuente de almacenamiento de energía. En este contexto, es que se implementa el sistema bidireccional V2G. El sistema V2G – vehicle to grid – es un sistema de carga bidireccional que permite cargar un vehículo eléctrico desde la red y también inyectar energía a la red desde sus baterías o utilizarla como autoconsumo.

La Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE) en un acuerdo publico privado en conjunto con Nissan y Enel, instalan el primer sistema bidireccional V2G de Sudamerica. Este sistema es conformado por un cargador bidireccional V2G, un vehículo eléctrico Nissan Leaf y un panel fotovoltaico de 3 [kW] de potencia instalada en las dependencias de la AgenciaSE. En concordancia, la siguiente investigación analiza desde una perspectiva técnica y económica la operación del sistema V2G al gestionar los flujos de energía entre el vehículo, la generación solar, los consumos y la red.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Identificar los beneficios técnicos-económicos de la implementación de un sistema V2G en condiciones reales de operación de la AgenciaSE y evitando la degradación de las baterías del vehículo eléctrico Nissan Leaf

1.2.2. Específicos

- (1) Cuantificar la reducción de costos asociados a las características de facturación del tipo de tarifa eléctrica escogida en la AgenciaSE.
- (2) Definir rangos horarios y de potencias basado en la metodología de medición propuesta y ajustada a los consumos eléctricos la AgenciaSE evitando la degradación de la batería.
- (3) Basado en la información levantada, evaluar su escalabilidad y sugerir características para un contrato eléctrico especializado para la operación de sistemas de cargas V2G.

1.3. Alcance

La investigación consiste en implementar una metodología de operación de la infraestructura bidireccional V2G, para luego analizar su funcionamiento y sus potenciales beneficios enmarcado en las condiciones organizacionales de la AgenciaSE, es decir, sujeto a:

- (1) Capacidades físicas y tecnológicas de los componentes que integran el sistema V2G instalado en la AgenciaSE: el vehículo eléctrico, el panel fotovoltaico, el sistema de medición y la infraestructura bidireccional.
- (2) Al horario de la jornada laboral (de 09h00 a 18h00) en el que el vehículo eléctrico esté disponible para su operación.
- (3) La degradación que pueden provocar las cargas y descargas de energía en las celdas que componen el banco de baterías del vehículo eléctrico.

1.4. Principales supuestos

El funcionario, quien es propietario del VE, deja a disposición su vehículo para que el empleador pueda operarlo sujeto a tres condiciones:

- (1) El vehículo está conectado toda la jornada laboral (tiempo de carga ociosa) al sistema V2G asegurando la carga mínima para realizar la ruta: Trabajo – Casa – Trabajo.

- (2) El vehículo está inyectando energía durante el periodo de mayor demanda de potencia y cargando sus baterías durante el periodo de menor demanda de potencia.
- (3) La cantidad de energía inyectada y cargada, junto con las potencias de carga y descarga se están determinadas mediante un análisis de los consumos previo a la instalación del cargador V2G. Por lo que se supone el perfil de consumo energético será similar al resto de los meses.

Capítulo 2 : Contexto de implementación

2.1. Agencia de sostenibilidad energética

La AgenciaSE es una fundación de derecho privado sin fines de lucro, que centra sus esfuerzos en consolidar el uso eficiente y sostenible de la energía a nivel nacional, interactuando entre el sector público y el privado. La ASE se caracteriza por implementar programas y proyectos que impulsen la gestión de la energía a nivel industrial. Las principales líneas de trabajo son : industria y minería, transporte, edificación y educación. Donde su misión es “Promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía a nivel nacional, contribuyendo al desarrollo competitivo y sustentable del país”.



Figura 2.1: Esquema Agencia de Sostenibilidad Energética

La agencia de sostenibilidad energética está compuesta por un aproximado de 70 profesionales que trabajan con horario de oficina por lo que tienen variados consumos relacionados al uso de computadores, aparatos electrónicos y aire acondicionado. Así mismo, la ASE está provista de una cocina en su interior con electrodomésticos de alta potencia como hervidores y microwaves. Estos artefactos, constituyen junto con el sistema de red eléctrica de las instalaciones los consumos diarios. Al ser una instalación con trabajo y horario de oficina, los días feriados y fines de semana sus consumos energéticos muy bajos.

El sistema V2G instalado en la AgenciaSE cuenta con tres componentes: Primero, la infraestructura de carga bidireccional (V2G), segundo un panel fotovoltaico (FV) y tercero, un vehículo eléctrico (VE) de marca Nissan, modelo Leaf 2018. Estos componentes están conectados al tablero eléctrico de la AgenciaSE, en donde se han instalado sensores que permiten monitorear los flujos de energía.

2.2. Descripción de los componentes instalados

2.2.1. Infraestructura de carga bidireccional V2G

El cargador bidireccional, Figura 2.2., es el componente principal del sistema V2G debido a que permite cargar y descargar la energía almacenada en las baterías del vehículo eléctrico. Esta infraestructura de carga esta capacitada para inyectar energía a la red o utilizarla como autoconsumo. La carga y descarga es variable con una potencia máxima de 15 kW, ver Tabla 2.1.



Figura 2.2: Infraestructura de carga bidireccional V2G.

El proyecto contempla instalaciones de tipo subterráneo para la alimentación de la carga proyectada, la distribución en baja tensión en 380 Volts trifásico y 220 volts monofásicos, 50 Hz, estas instalaciones se realizaron conforme a la norma (SEC, 2003). La totalidad de las obras fueron proyectadas y desarrolladas bajo las normativas anteriormente mencionadas con el fin de brindar seguridad y estabilidad al sistema eléctrico y a sus usuarios.

Tabla 2.1: Características eléctricas de la infraestructura de carga V2G.

Características V2G	
Tipo de Conector	CHAdMo
Voltaje entrada AC	400 VAC +/- 10%. 50 Hz/60Hz
Potencia entrada AC	18 kW
Voltaje máximo salida	500 V
Corriente Max. salida	40 A
Potencia salida maxima	15 kW
Eficiencia de carga	94,90%
Eficiencia de descarga	95,70%

2.2.2. Vehículo eléctrico – Nissan LEAF

El vehículo eléctrico utilizado durante la investigación es proporcionado por Nissan, de modelo Leaf del año 2018, ver Figura 2.3.



Figura 2.3: Vehículo eléctrico Nissan Leaf 2018 utilizado en la investigación.

En la Tabla 2.2 se resumen las principales características del Nissan Leaf 2018, el cual cuenta con un motor eléctrico de 80 kW de potencia, con una autonomía nominal de 240 km y un banco de baterías de Ion-Litio de 40 kWh (www.nissan.cl, 2020). Este vehículo eléctrico tiene un rendimiento promedio de 5.5 [km/kWh] en rutas interurbanas y cercano a los 7 [km/kWh] en rutas urbanas.

Tabla 2.2: Características técnicas del Nissan Leaf 2018.

Nissan LEAF	
Año	2018
Potencia motor	80 kW
Masa	1580 kg
Energía batería	40 kWh
Rendimiento	5,5 km/kWh
Autonomía nominal	240 km
Tipo de conector DC	CHAdeMo
Tipo de conector AC	Tipo 1

En la investigación se utiliza el Nissan Leaf debido a que es el único modelo en Chile capaz de interactuar con una infraestructura bidireccional V2G. Además este modelo ha sido previamente utilizado en investigaciones para comprender el sistema V2G (Noel et al, 2019).

2.2.3. Monitoreo por sensores IoT

En la AgenciaSE se instaló un sistema de monitoreo del consumo eléctrico de las oficinas y del punto de carga habilitado para vehículos eléctricos; y también la generación eléctrica producida por el panel fotovoltaico y el sistema V2G. La AgenciaSE ya contaba con un sistema de monitoreo interno por lo que sólo se instalaron sensores en el tablero eléctrico para registrar los consumos y generación del panel fotovoltaico y el sistema V2G. En la Figura 2.4., se ve en detalle los sensores instalados. Al almacenar la información de los consumos y generación de cada uno de los componentes se obtiene el detalle energético de la AgenciaSE. En la Figura 2.5 se ven los consumos graficados donde el eje horizontal corresponde al tiempo con resolución horaria y el eje vertical a la cantidad de energía consumida en [kWh].



Figura 2.4: Imagen del sistema de monitoreo en tablero eléctrico de la AgenciaSE

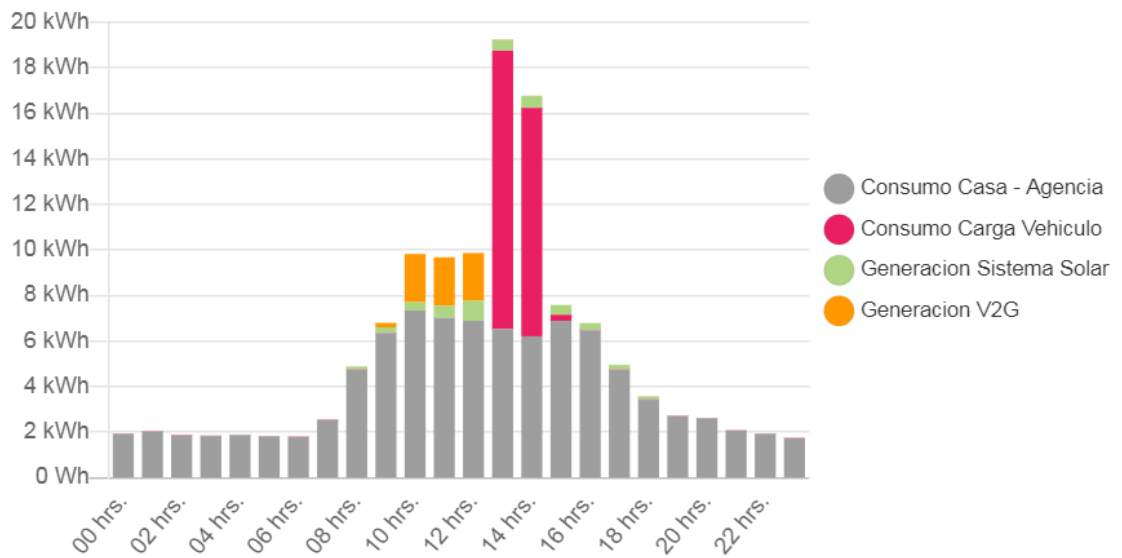


Figura 2.5: Imagen representativa de la información levantada por los sensores instalados (Plataforma WenuWork, 2019)

2.2.4. Panel fotovoltaico instalado

En el techo del estacionamiento donde se encuentra la infraestructura de carga V2G y el vehículo eléctrico hay instalado un panel fotovoltaico con una potencia instalada de 3kW, ver Figura 2.6. La planta fotovoltaica pasa por un inversor antes de llegar al tablero eléctrico permitiéndole acoplarse para que la generación de energía solar sea auto consumida.



Figura 2.6: Esquema del techo del estacionamiento, lugar de planta FV

2.3. Factor de emisión de la matriz energética Chilena

El factor de emisión es el indicador con el que se puede estimar la cantidad de contaminantes producidos o desplazados al utilizar energía eléctrica. Este factor es el que liga el consumo de energía eléctrica con los gases contaminantes emitidos durante la producción de esta electricidad. Por lo que, al hablar de los sistemas que componen la electromovilidad es necesario comprender y cuantificar la emisión de gases contaminantes. Si bien se han promovido los vehículos eléctricos como tecnología potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes mediante el uso de electricidad en lugar de petróleo, este se puede ser más eficiente al proporcionar servicios de vehículo a red (V2G) (Tomic, 2005). Al agregar servicios V2G, como reservas de rotación y almacenamiento de energía, las emisiones de CO₂, SO₂ y NO_x pueden reducirse aún más.

2.3.1. Matriz energética Chilena

La generación de energía en Chile ha tenido variaciones durante los últimos años, principalmente con la implementación de políticas públicas que promueven la utilización de energías renovables ERNC (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2020). En la actualidad la principal fuente de generación de electricidad es la hidráulica, Figura 2.7, seguida por las centrales termoeléctricas de carbón y petróleo que tienen un alto nivel de tasa de contaminación ambiental, además de caracterizarse por tener un bajo rendimiento y ser la generación de electricidad de mayor costo.

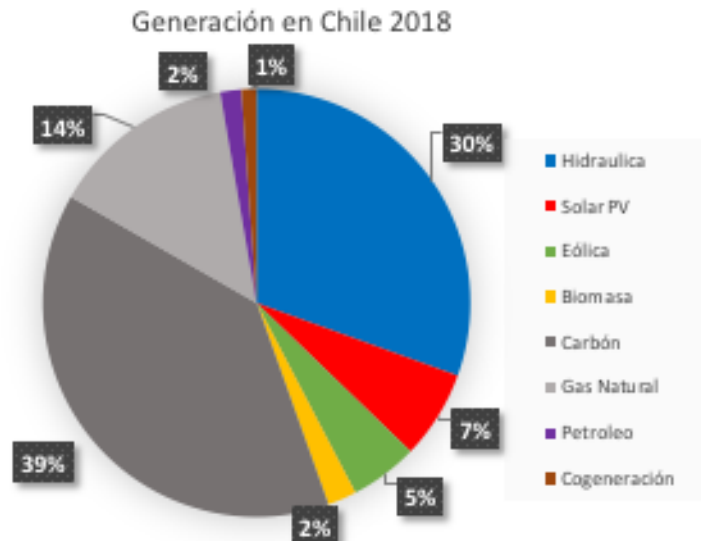


Figura 2.7: Composición de la generación de energía Chilena (Energía abierta, 2020)

Los principales beneficios de la producción de energía eléctrica mediante procesos de generación no convencionales son beneficios sociales, en donde prima la nula emisión de material partícula y producción de gases contaminantes. Para el año 2018 e 15% de la energía fue producida por plantas solares, parques eólicos y centrales geotérmicas (Energía abierta, 2020). La mayor parte de la matriz energética fue producida por energías convencionales, de alto costo y con la mayor tasa de producción de contaminantes como lo son las centrales termoeléctricas a carbón y petróleo.

2.3.2. Factor de emisión

El factor de emisión se define como un valor que cuantifica la cantidad de emisiones de CO₂e liberadas a la atmósfera por cada unidad de energía generada por las centrales que conforman el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Por lo tanto, el factor de emisión del SEN, será equivalente a la cantidad de emisiones de CO₂e emitidas por cada [MWh] de energía producido. La producción de energía en base a combustibles fósiles del SEN es la que aumenta en mayor medida su factor de emisión, para el 2019 el factor de emisión de la red fue de 0,4187 [CO₂eq/MWh].

Tabla 2.3: Factor de emisión horario promedio Chileno (Energía Abierta, 2020)

Hora	Factor de emisión en CO2 equivalente [CO2/MWh]				Promedio
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	
01:00	0,435	0,374	0,4	0,451	0,415
02:00	0,448	0,377	0,409	0,454	0,422
03:00	0,457	0,382	0,412	0,46	0,428
04:00	0,462	0,386	0,414	0,46	0,43
05:00	0,464	0,389	0,416	0,459	0,432
06:00	0,461	0,388	0,415	0,459	0,431
07:00	0,447	0,38	0,415	0,457	0,425
08:00	0,427	0,37	0,407	0,449	0,413
09:00	0,387	0,305	0,348	0,429	0,367
10:00	0,341	0,258	0,302	0,377	0,32
11:00	0,327	0,245	0,284	0,351	0,302
12:00	0,322	0,236	0,271	0,344	0,293
13:00	0,321	0,225	0,262	0,339	0,287
14:00	0,321	0,216	0,258	0,334	0,282
15:00	0,32	0,212	0,256	0,328	0,279
16:00	0,327	0,213	0,256	0,325	0,28
17:00	0,348	0,217	0,26	0,324	0,288
18:00	0,393	0,234	0,268	0,335	0,308
19:00	0,406	0,282	0,289	0,379	0,339
20:00	0,404	0,345	0,333	0,42	0,375
21:00	0,407	0,353	0,374	0,427	0,39
22:00	0,409	0,357	0,371	0,432	0,393
23:00	0,42	0,363	0,376	0,442	0,4
00:00	0,43	0,372	0,387	0,447	0,409

Evaluar las emisiones generadas por un vehículo a combustión interna o eléctrico consiste en calcular la cantidad de contaminantes locales y globales generados durante su operación.

Contaminantes locales (CO, NOx, HC y MP [kg/km]): Los VEs no producen contaminantes a nivel local durante su operación.

Contaminantes globales (Gases de Efecto Invernadero): La cantidad de contaminantes globales emitidos por un VE están ligados directamente a la composición de la matriz energética del país al momento de energizar las baterías. Los GEI, son aquellos tras su generación, se alojan en la Estratosfera y captan radiación, generando el sobrecalentamiento de la tierra. Se cuantifican en CO2e (CO2 equivalente). Estos contaminantes son calculados según el factor de emisión de la tecnología utilizada para propulsar el vehículo.

2.4. Metodología de investigación

Para abordar esta investigación se siguió el método CIFE “horseshoe” propuesto por (Kunz, 2012). Este método se caracteriza por definir un problema observado e intentar resolverlo pudiendo prever cada uno de los pasos a realizar. Es un mapa conceptual que permite identificar las tareas y objetivos a cumplir durante la investigación, en donde cada etapa se relaciona con la siguiente mediante un sistema de flechas negras y rojas, ver Figura 2.8. Las etapas están ordenadas cronológicamente partiendo por un problema observado que permite identificar el punto de partida, luego se identifican las preguntas esenciales de la investigación y cual será el método a seguir para responderlas. Este método permite que la investigación tenga una guía convergente hacia resultados específicos y creación de conocimiento.

CIFE "horseshoe" Research Method

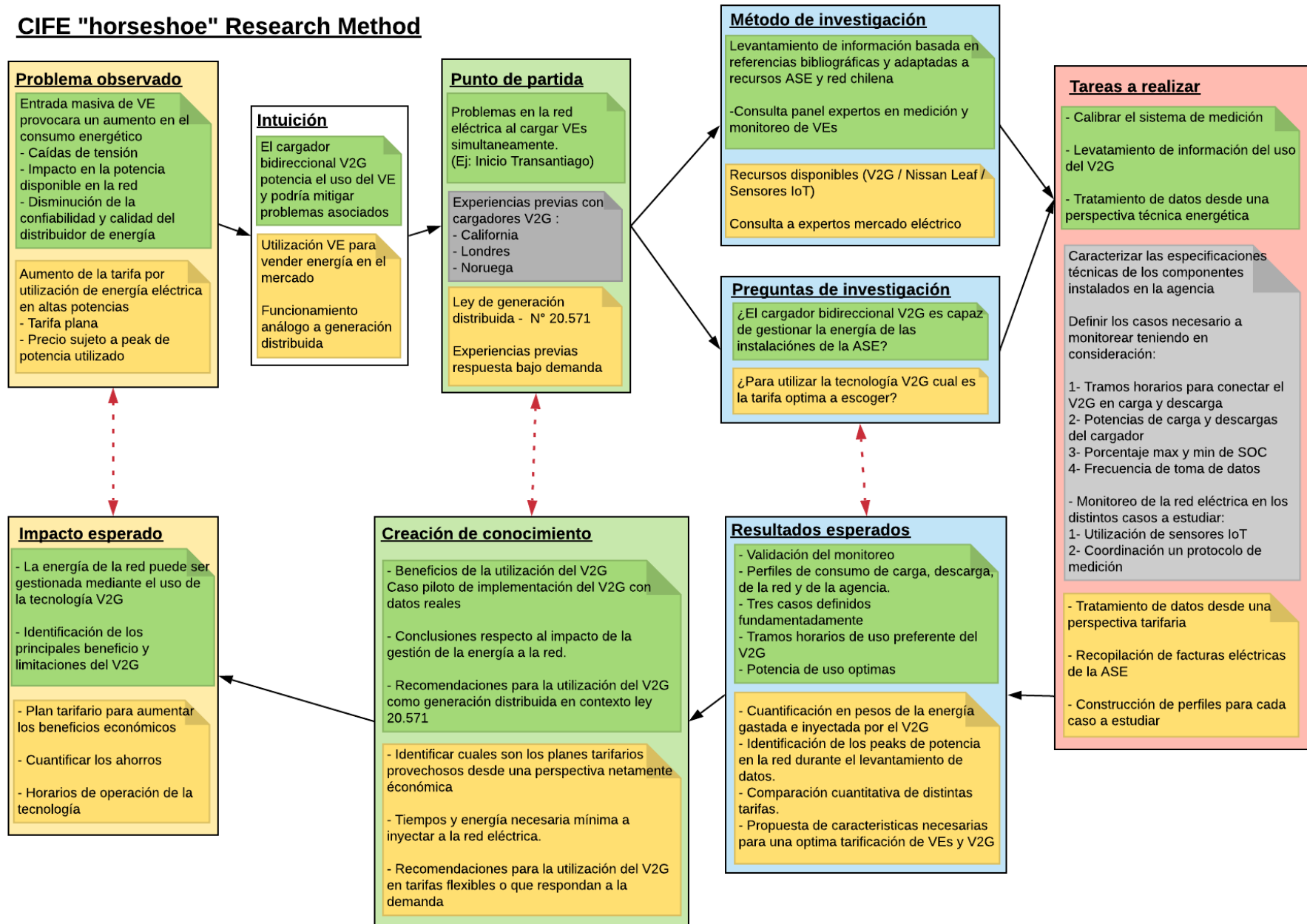


Figura 2.8: Metodología de investigación CIFE "Horseshoe" de (Kunz, 2012).

Capítulo 3 : Estado del arte del sistema V2G

Se presenta el estado del arte de la red eléctrica, los vehículos eléctricos y la tecnología V2G. En este contexto, donde su matriz energética es constituida principalmente por tecnologías renovables y convencionales, se enmarcan los servicios que puede proveer un vehículo eléctrico en conjunto con un sistema V2G. Adicionalmente, un estudio de las diferentes tecnologías de propulsión de vehículos eléctricos es realizado. Luego, la tecnología V2G es introducida junto con las normas de telecomunicación y de gestión energética con el fin de evidenciar el potencial de los servicios que ofrece la utilización de un sistema V2G. Uno de las principales desafíos de esta tecnología es su factibilidad técnica ligada al envejecimiento acelerado en las baterías de los vehículos eléctricos debido a las continuas cargas y descargas de energías [Cap4.1]. Esto supone una aceleración del proceso de envejecimiento, degradando el principal activo físico de un vehículo eléctrico.

3.1. Concepto del sistema V2G

El concepto de “vehicle -to-grid” o vehículo conectado a la red emerge como una tecnología capaz potenciar del uso de un vehículo eléctrico. En términos simples el sistema V2G es la capacidad de gestionar la energía mediante la carga y descarga del banco de baterías de un vehículo eléctrico.

La utilización de un cargador bidireccional o conectado a la red V2G (Vehicle to grid), se diferencia de un cargador convencional, en la posibilidad de utilizar las baterías del vehículo eléctrico como una fuente de almacenamiento de energía, esto permite que se inyecte energía a la red en el momento más propicio desde un punto de vista tarifario y de demanda energético. Entonces, por un lado el sistema V2G permite entregar a la red la energía almacenada en el VE durante los periodos de mayores demandas o cuando el precio unitario de energía llega su precio más elevado. Por otro lado, el sistema V2G permite cargar el VE durante los periodos de menor o cuando el precio unitario de energía es el mas bajo (Steward, 2017).

Desde una perspectiva técnica, la integración de la tecnología V2G al sistema eléctrico será masivo cuando la red eléctrica sea inteligente y los VEs tengan la capacidad de comunicación y coordinación con la red de manera instantánea o bajo respuestas de corto periodo (Noel et al, 2019).

Desde la perspectiva económica, la integración de la tecnología V2G al sistema eléctrico será masivo cuando las regulaciones tarifarias incluyan nuevos modelos económico que consideren las oportunidades y necesidades de la electromovilidad permitiéndole al sistema V2G generar beneficios; estos pueden ser por ahorros de potencia máxima mensual consumida, por compra/venta de energía o integración de energías renovables. Además al reducir el costo de producción de las baterías se espera que el precio de los vehículos eléctricos sea equivalente a uno convencional (Shafiei et al, 2012).

3.1.1. Integración del VE a la red

Actualmente, el emergente concepto de red inteligente (Smart Grid) es investigado en distintos campos para comprender el impacto y contribución de sus aplicaciones a la red eléctrica y a la

sociedad. (Kempton et al, 2008) Los canales de comunicación son fundamentales entre ellos y la coordinación es necesaria para la implementación de nuevas tecnologías. En consecuencia, la implementación de un sistema V2G será beneficiosa técnica y económicamente cuando se cumplan las siguientes condiciones (Kempton et al, 2008):

- La red tenga la capacidad de comunicarse de manera rápida o instantáneamente con el sistema V2G para determinar las potencias de carga o descarga.
- La adaptación de una tarifa eléctrica para propietarios de VEs que permita flexibilizar los cobros por consumo de potencia y de energía por tramos horarios (esto permitiría que el sistema V2G pueda gestionar tanto la potencia máxima utilizada como la energía consumida).
- Los VEs del mercado cuenten con protocolos de comunicación capaces de coordinar las carga y descarga con un sistema V2G.
- La homogenización del precio de los vehículos eléctricos con los vehículos a combustión interna.

El sistema V2G permite integrar las ERNC (eólicas, solar fotovoltaica, entre otras) a la red al almacenar la energía producida en las baterías de los VEs. Estas fuentes de generación eléctrica se caracterizan por ser descentralizadas e incluso domiciliarias, por lo que le permitiría al V2G gestionar la carga y descarga de la batería en función del consumo. No obstante, es fundamental tener en consideración que la electrificación del parque vehicular publico y privado va directamente relacionado con un aumento en los consumos locales y globales de energía eléctrica (Clement-Nyns, 2009).

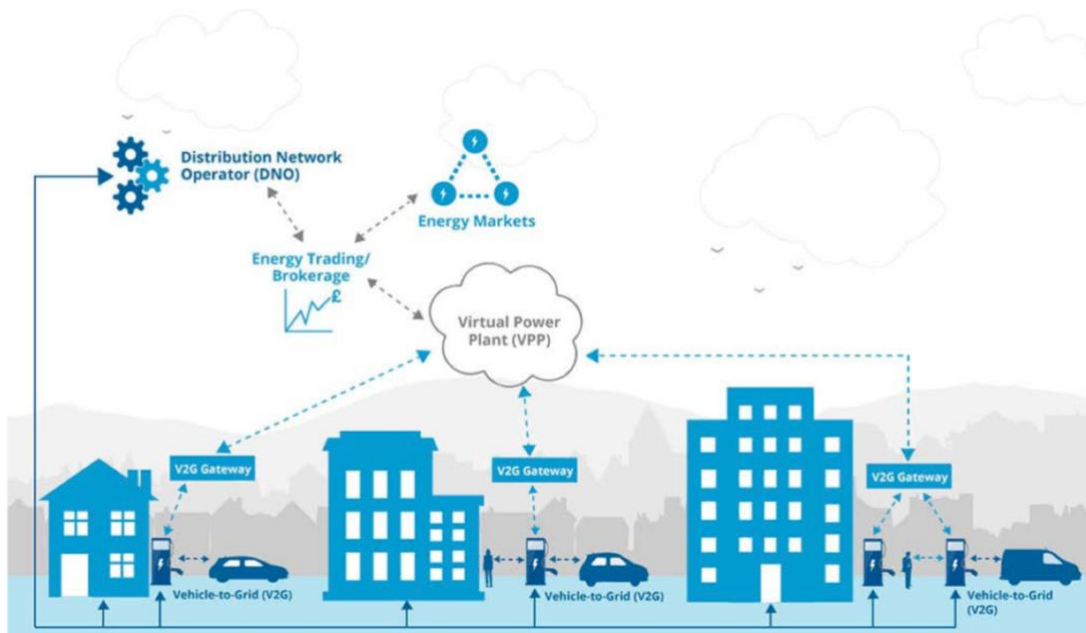


Figura 3.1: Esquema de la operación del sistema V2G (Clement-Nyns, 2009)

En Chile, la integración de los VEs a la red mediante un sistema V2G está determinada por las tarifas eléctricas actuales, por lo que para comprender su aplicación se realizó un análisis tarifario en [Cap5.1]. En donde se explica en detalle los costos asociados al consumo eléctrico por energía y por potencia, concluyendo que la factibilidad económica de la operación del sistema V2G esta condicionada por la regulación tarifaria existente en el lugar de aplicación.

Los beneficios, costos y condiciones para la implementación del V2G esta relacionado con los fabricantes de vehículos, los dueños del vehículo y el operador de la red. El dueño del vehículo debe estar adecuadamente compensado por el operador de la red quien utiliza su vehículo asegurándole el uso personal del vehículo para el transporte de pasajeros (Clement-Nyns, 2009). La Figura 3.1 muestra que el sistema V2G es posible comercialmente de forma masiva en la medida que existan ciertas condiciones con las que un operador de red pueda controlar la carga y descarga del vehículo. La que propone la unión de varios cargadores V2G para ofrecer un servicio en conjunto a la red, y de esta manera obtener mayores resultados.

Charging Level	Vehicle Range Added per Charging Time and Power	Supply Power
AC Level 1	4 mi/hour @ 1.4kW	120VAC/20A <i>(12-16A continuous)</i>
	6 mi/hour @ 1.9kW	
AC Level 2	10 mi/hour @ 3.4kW	208/240VAC/20-100A <i>(16-80A continuous)</i>
	20 mi/hour @ 6.6kW	
	60 mi/hour @ 19.2 kW	
DC Fast Charging	24 mi/20minutes @24kW	208/480VAC 3-phase <i>(input current proportional to output power; ~20-400A AC)</i>
	50 mi/20minutes @50kW	
	90 mi/20minutes @90kW	

Figura 3.2: Niveles de la infraestructura de cargas (U.S. Department of Energy, 2015)

Las infraestructuras de carga están separadas por niveles que dependen de las características mismas del cargador. Como muestra la Figura 3.2 los niveles van de forma creciente ordenados por potencia y voltaje de carga diferenciando entre los cargadores de carga rápida y de carga lenta. La infraestructura de carga bidireccional utilizada en esta investigación está entre el nivel 2 por su potencias de carga máxima de 15 [kW].

3.2. Esquema del V2G y desafíos

El desarrollo de un sistema V2G pretende ser un actor activo en los planes de movilidad sustentable mediante los servicios que puede ofrecer tanto a la red como al usuario. Los cobros mensuales asociados al uso de energía eléctrica dependerán de la tarifa contratada, la cual se divide en tres factores: la cantidad de energía consumida, la potencia máxima utilizada y los cargos por uso de la infraestructura eléctrica. Mediante el intercambio coordinado de energía entre el vehículo

eléctrico y la red se generan beneficios económicos y energéticos tales como el aplanamiento de la curva de la demanda y la disminución de cobros por potencia (Yamileth, 2017).

Energéticos

- **Aplanar la curva de la demanda:** En la industria energética el aplanar la demanda se refiere a la nivelación de las puntas máximas y mínimas de consumo de electricidad por parte de un consumidor. Las puntas máximas son importantes en términos de estabilidad de la red, pero también afectan en los costos de adquisición de la energía debido a mayor demanda energética se necesita una mayor producción ref. En este caso el resultado final del sistema V2G es obtener una curva de consumo plana mediante el proceso de “peak shaving” o aplanamiento de la curva. Esto se realiza mediante el control de descargas y cargas de energía en el momento de máximo y mínimo consumo respectivamente.

Económicos

- **Regulación tarifaria:** Consiste en cargar el vehículo con energía eléctrica cuando el costo es mínimo e inyectar energía a la red cuando el costo es máximo durante el día. Tener la posibilidad de contratar tarifas eléctricas dinámicas – es decir, que el precio unitario de energía varía horariamente teniendo un precio máximo y uno mínimo – por tal motivo al cargar e inyectar energía de manera eficiente sería posible generar una ganancia.
- **Disminución cobros por potencia:** La potencia facturable es el promedio de la potencia consumida cada 15 minutos y la potencia cobrada mensualmente es la potencia máxima facturada. Entonces mediante el sistema V2G es posible inyectar energía a la red como autoconsumo cuando se alcancen las potencias de mayor consumo.

La actual tecnología no permite para todas las marcas o modelos de VE la conexión y comunicación con un cargador bidireccional, además la legislación actual chilena no ha normado la utilización de una infraestructura bidireccional, por consiguiente, la puesta en marcha de un sistema V2G tiene dos limitantes principales (Kempton et al, 2008): La capacidad técnica instalada en los vehículos eléctricos del mercado solo permite cargar el VE y no es apta para realizar descargas de energía a la red, debido a que no cuentan con los componentes físicos para ello (convertidor e inversor), y tampoco con los protocolos de comunicación necesarios para la coordinación del VE con el sistema V2G.

3.3. Aplicaciones

3.3.1. Compra venta de energía

El potencial económico de la utilización del V2G para compra y venta de energía depende principalmente del contrato eléctrico al que está sujeta la instalación. En el caso de tener un contrato eléctrico especializado para el V2G, con precios de venta de energía elevados en horario punta y de compra de energía bajos en horario valle (Richardson, 2013) este podría aumentar notoriamente su atractivo económico.

3.3.2. Francia

Los potenciales servicios que puede proveer un sistema V2G al integrarlo a la red eléctrica Francesa (Sarabi, 2016), gestionado por un agregador y considerando que se tienen las capacidades técnicas de una red inteligente. Además, supone que hay un número considerable de vehículos eléctricos conectados a la red a través de una infraestructura bidireccional consolidando el sistema V2G. Los servicios se pueden dividir en dos principales índoles: la regulación de frecuencias primaria, secundaria y terciaria de la red; y el aplanamiento de la curva de demanda.

- **Regulación primaria de la frecuencia:** la constitución de la reserva primaria esta asegurada por varios productores europeos interconectados en una red eléctrica sincronizada, la cual debe distribuir una potencia de 3000MW aproximadamente, recibiendo un pago por capacidad de 8E/MWh. Para hacer efectiva la regulación primaria de la frecuencia se necesita un estimado de 5000 VEs conectados al sistema V2G aportando un mínimo de 2,7 a 2,4 MW de potencia. (Sarabi, 2016)
- **Regulación secundaria de la frecuencia:** Los grupos generadores de energía eléctrica cuya producción es superior a los 120 MW de potencia tienen la obligación de conectarse a la reserva secundaria, comprendida entre 500MW y 1000MW según el periodo del año, recibiendo un pago por capacidad de 9.3E/MWh. (Sarabi, 2016)
- **Regulación terciaria de la frecuencia:** Los productores y consumidores que disponen de 10MW de potencia participan la reserva terciaria. En este servicio la gestión de la flota de los VEs compleja por la cantidad de productores y consumidores que cumplen con estos requisitos. El interés crecerá dependiendo del precio asignado al propietario que pone a disposición su VE. (Sarabi, 2016)
- **Aplanamiento de la curva de demanda:** La homogenización de la cantidad de energía demandada durante el día supone un beneficioso para los productores, transportadores y distribuidores de la red debido a que habría una tasa constante que suplir, por ende, de fácil de predicción y eliminando la concentración de potencia. Para aplanar la curva de la demanda se necesitan un aproximado de 500 a 1000 VEs, lo que corresponde a una potencia aproximada de 540kW (Sarabi, 2016). A su vez, los consumidores pueden almacenar en el VE la energía producida en horario valle para luego inyectarla en los periodos de mayor demanda, generando ahorros al terminar el mes.

Capítulo 4 : Degradación de la batería

Los vehículos eléctricos en el futuro cumplirán un rol importante en la distribución y alimentación de energía eléctrica. Sin embargo, esto ocurrirá cuando el costo de los vehículos eléctricos equipare a los a combustión interna, una opción para cumplir este objetivo es que no se degraden las baterías aceleradamente. Por ende, (Uddin, 2017) propone que los sistemas de carga de los VEs deben proteger las baterías mediante metodologías que permitan alargar su vida útil. En su investigación analiza la degradación de las baterías de un vehículo eléctrico al operar en un sistema V2G. La degradación de batería esta parametrizado por el año, la temperatura, el estado de carga SOC, el voltaje y la corriente de las celdas de la batería. Si bien existen investigaciones cuyos resultados apuntan a que el V2G es un sistema no viable económicamente debido al alto costo de la batería, que al ser degradada pierde su calidad disminuyendo el valor del activo físico principal del vehículo, en este estudio bibliográfico se indagará en modelos que evitan el envejecimiento prematuro de la batería.

4.1. Comparación entre dos estudios

Dos recientes investigaciones analizan la degradación que genera la constante utilización de un sistema V2G en las baterías del vehículo eléctrico. Estas investigaciones tenían dos focos distintos:

1. Analizar experimentalmente la degradación de las celdas de Ion-Litio producto del flujo de energía producido en entre el vehículo y la red al operar un sistema V2G con el objetivo de maximizar las ganancias económicas del propietario. Esto consistió en inyectar la mayor cantidad de energía almacenada en las baterías durante los peaks de potencia durante una hora. Como resultado se obtuvo una mayor degradación de la batería de lo estimado por le fabricante, estimado una vida útil menor a 5 años junto con una perdida de capacidad hasta el 75% en 18 mese (commission, 2019).
2. Simular la operación de un sistema V2G que interactúa de manera inteligente con la red al coordinar los intercambios de energía, manteniendo en todo momento las celdas de Ion-Litio en sus condiciones ideales de operación con el objetivo de alargar su vida útil. Como resultado se obtuvo una menor degradación de la batería, de hecho, al comparar con los pronósticos de envejecimiento del fabricante, su capacidad y potencia disponible aumentaron en 9.1% y 12.1% respectivamente (Uddin, 2017).

El modelo construido en la investigación (commission, 2019) es gobernado por un algoritmo diseñado para minimizar la degradación de la batería basado en pronósticos de degradación de las celdas de ion-litio. Por otro lado, la investigación (Uddin, 2017) confirmó que la viabilidad técnica y económica del sistema V2G esta gobernada por la degradación de las baterías, es decir por, el envejecimiento de la batería provoca una disminución de los ciclos de carga, la potencia disponible y de la capacidad de carga de las celdas de ion-litio. Debido a que una disminución en la eficiencia eléctrica afecta al que el sistema de almacenamiento y propulsor del vehículo eléctrico disminuyendo su autonomía y potencia disponible respectivamente.

4.2. Rango de operación del V2G

Este trabajo de título no pretende simular la degradación de la batería basado en algún modelo matemático o bajo simulación. Es por esto que se definen los rangos y las condiciones en las que las baterías del VE sufriran la menor degradación posible en las cargas y descargas durante el funcionamiento del sistema V2G.

4.2.1. Rangos operación por SOC y recomendación del fabricante

Los fabricantes de vehículos eléctricos suelen dar recomendaciones de utilización de su tecnología para que así se compruebe su factibilidad durante los años que ellos especifican, como lo es por ejemplo realizar una carga rápida cada cuatro cargas lentas. En este caso, para una batería de un Nissan Leaf las recomendaciones (Department of Energy, 2011) dadas son dos: la condición de profundidad de descarga máxima (4.1) y la condición de estados de carga máximos y mínimo (4.2).

$$0\% < \Delta SOC < 80\% \quad (4.1)$$

$$15\% < SOC(t_i) < 95\% \quad (4.2)$$

4.2.2. Rangos de operación por Efecto joule y resistencia interna

El efecto joule es un fenómeno irreversible donde la energía cinética de los electrones se transforma en calor. Los electrones se mueven de forma totalmente aleatoria, impactando e interaccionando con otras partículas, por lo tanto, generando movimiento y desprendimiento de calor. Durante el uso de una batería los electrones almacenados recorren el circuito desde el polo positivo al negativo, debido a la existencia de una diferencia de potencial entre ellos. Los electrones impactan con partículas y átomos, impidiendo su paso natural en mayor o menor medida. Esto depende directamente del material del cual fue compuesto el material conductor, en este caso el de las celdas de las baterías. El desprendimiento inevitable de energía en forma de calor es el llamado “efecto joule”. Esto provoca un aumento en la temperatura de la batería y la temperatura tiene una fuerte influencia en la capacidad de una celda de ion-litio. Las celdas tienen un rango de temperatura óptimo, el cual al ser traspasado puede tener un efecto de pérdida de capacidad, tanto temporal como permanente (FLORES, 2016). Por otro lado, la impedancia interna posee una estrecha relación con la reducción de la capacidad de una batería de ion-litio. La caída de potencial interna que experimenta la batería está directamente relacionada con la impedancia interna que posee la batería, por esta razón, al incrementarse esta variable, se acortan los ciclos debido a que el voltaje de término de descarga de una batería se alcanza antes (FLORES, 2016). Basado en la comprensión de estos dos fenómenos es que el model de envejecimiento, propuesto por la investigación (Uddin, 2017), determina que los rangos de operación que minimizan la degradación de la batería por efecto joule y resistencia interna es (4.3).

$$15\% < SOC(t_i) < 95\% \quad (4.3)$$

Capítulo 5 : Caracterización energética de la agencia SE

5.1. Regulación tarifaria

5.1.1. Contratos eléctricos nacionales

Tener una visión general de las tarifas eléctrica vigentes en Chile es indispensable para comprender sus regulaciones, limitaciones y cobros asociados al uso de energía eléctrica. De esta manera poder identificar el potencial de aplicación de una infraestructura bidireccional V2G. Existen términos generales existen dos tipos de consumidores de energía: el cliente libre y el cliente regulado.

Cliente libre: Consumidor de una gran cantidad de energía y potencia, donde sus empalmes son superiores a los 2 [MW] de potencia instalada. Estos les otorga la posibilidad de negociar directamente con las empresas eléctricas los precios unitarios de energía [CLP/kWh] y la cantidad máxima de potencia instalada en [kW].

Cliente regulado: Todo consumidor que no cumpla con lo anterior son clientes regulados. Esto implica que la facturación por energía consumida y por potencia utilizada depende del contrato eléctrico seleccionado. Las características de estos contratos están especificadas en el pliego tarifario [referencia] donde se podrán encontrar el detalle de los precios unitarios de energía [CLP/kWh] y de potencia utilizada [CLP/kW] para cada uno de estos.

Los clientes regulados pueden escoger cualquiera de los contratos eléctricos disponibles y este les regirá por los siguientes 12 meses a su instalación. Según las necesidades del cliente este puede escoger un contrato de alta tensión (empalme conectado a la red de distribución con una tensión superior a los 400 volts) o un contrato de baja tensión (empalme conectado a la red de distribución con una tensión inferior a los 400 volts). El detalle de cada una de las tarifas está en el pliego tarifario (Pliego Tarifario, 2020).

5.1.2. Tarificación por Energía y Potencia

Para comprender los cobros mensuales de la instalación eléctrica de la Agencia de Sostenibilidad energética, en primera instancia falta definir sus elementos principales, la energía consumida (5.1), la potencia facturable (5.2) y la potencia facturada (5.3).

- La energía es la potencia consumida en un tiempo determinado y su unidad es el [kWh], siendo su formula:

$$E = P \cdot t [kWh] \quad (5.1)$$

- La potencia facturable $P(t)$ es el promedio de las potencias instantáneas utilizadas durante un periodo de consumo energético de 15 minutos, siendo su formula

$$P(t) = \sum_{i=0}^{15} \frac{P(i)}{15} [kW] \quad (5.2)$$

- La potencia facturada es la potencia efectivamente cobrada al final del mes y dependerá del contrato eléctrico contratado. En términos generales, la potencia facturada es la potencia facturable máxima alcanzada en cualquier momento del mes.

$$P_{facturada} = \max P(t) \text{ siendo } t \text{ cualquier periodo de evaluación durante un mes} \quad (5.3)$$

Adicionalmente, los cobros por energía y potencia tendrán diferentes facturaciones según el tipo de contrato eléctrico instalado, el cual asocia distintos cobros según la cantidad de energía consumida y potencia utilizada en dos franjas horarias: el horario valle y horario punta.

Horario punta: Franja temporal en la que existe una mayor demanda energética a nivel nacional, por lo que el precio unitario de energía [CLP/kWh] y el precio unitario por potencia utilizada [CLP/kWh] alcanzarán sus valores máximos (esto dependerá de la tarifa eléctrica escogida).

Horario valle: Es toda la franja temporal del día que excluye el horario punta. En vista de que el caso de estudio se ubica en Santiago el horario valle será de 00h00 a 18h00 y el punta de 18h00 a 23h00.

5.1.3. Facturación de la opción tarifaria baja tensión 4.3

En la Agencia de Sostenibilidad Energética la opción tarifaria contratada es la de baja tensión 4.3 (o BT4.3). Este contrato eléctrico permite registrar en forma diferenciada la demanda energética en horas punta y horas valle, es decir se hace una distinción en el cobro por potencia utilizada para cada uno de estos horarios. Por lo que la potencia utilizada en horario punta tendrá un valor superior al utilizado en horario valle.

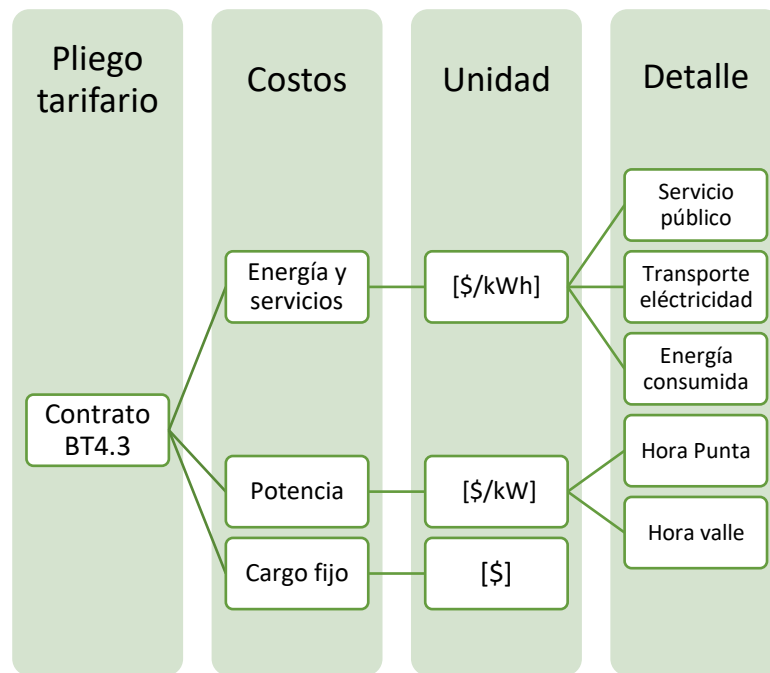


Figura 5.1: Esquema del contrato eléctrico BT4.3 (Henriquez S., 2010)

En la Figura 5.1. se desglosan los cobros mensuales asociados a la opción tarifaria BT4.3, a la cual se le asocian cobros por cargos fijos, cargos por energía consumida y por potencia utilizada en horario punta y valle.

Tabla 5.1: Detalle de cobros tarifa BT4.3 según (Pliego Tarifario, 2020)

Pliego Tarifario						
Servicio Público	Cargo Fijo	Cargo por Energía	Transporte Electricidad	Potencia en hora punta	Potencia en hora valle	Fecha Pliego
CLP/kWh	CLP	CLP/kWh	CLP/kWh	CLP/kW	CLP/kW	
0,39	656,50	63,68	10,26	8.985,81	4.119,01	01-05-19

Estos cobros son detallados en Tabla 5.1 y se definen de la siguiente manera:

- **Cargo fijo mensual:** Son los cobros que no tienen relación directa con el consumo energético tales como la cobranza de boletas. Este cargo puede ser cobrado inclusive si el consumo es nulo.
- **Cargo por uso del sistema troncal:** Es el cobro por el uso de las instalaciones del sistema troncal, corresponde al gasto efectuado por el sistema de distribución para hacer efectiva el suministro de la energía solicitada por el cliente.

- **Cargo por energía:** Es el cobro asociado a la cantidad de energía consumida durante el mes.
- **Cargo por potencia en punta:** Es el cobro asociado a la cantidad de potencia facturable máxima durante el horario punta.
- **Cargo por potencia en valle:** Es el cobro asociado a la cantidad de potencia facturable máxima durante el horario valle.

$$C_{mes} = E_{consumida}[kWh] \cdot A + P_{valle}[kW] \cdot B + P_{punta}[kW] \cdot D + C_{fijo} \quad (5.4)$$

Finalmente, el contrato eléctrico BT4.3 tiene una facturación mensual, C_{mes} , dada por la formula (5.4) en la cual se le asocia una constante A, B y D. La Tabla 5.2. determina los valores de estas constantes dadas por el pliego tarifario.

Tabla 5.2: Costos unitarios por uso energía, potencias y cargos fijos

Valores Unitarios de costos			
Cargo fijo	A: Energía consumida y servicios	B: Potencia en hora punta	D: Potencia en hora valle
CLP	CLP/kWh	CLP/kW	CLP/kW
656,50	74,33	8.985,81	4.119,01

5.1.4. Análisis tarifario de las boletas de AgenciaSE BT4.3

Tabla 5.3: Resumen de las boletas del consum del 18/08/18 al 17/06/19

Periodo			Parámetros Servicio Eléctrico					Costos eléctricos en contrato BT4.3						
			Demanda		Energía			Cargo por servicio público	Administración del Servicio	Cargo Energía Periodo	Transporte Electricidad	Cargo Potencia Max. Hora Punta	Cargo Potencia Max. Hora Valle	Total Con IVA
Desde	Hasta	Días	Leída Hora Punta	Máxima Leída	Lectura Anterior	Lectura Actual	Consumo							
			kW	kW	kWh	kWh	kWh							
17-05-19	17-06-19	32	12,300	31,800	100.392,000	104.970,000	4.578,0	\$1.795	\$656	\$291.918	\$46.960	\$117.238	\$113.367	\$571.934
17-04-19	17-05-19	31	7,800	20,800	97.139,000	100.392,000	3.253,0	\$1.275	\$653	\$207.429	\$33.369	\$74.340	\$96.155	\$413.221
18-03-19	17-04-19	31	6,600	16,700	94.323,000	97.139,000	2.816,0	\$1.104	\$652	\$151.153	\$28.887	\$65.052	\$95.527	\$342.375
15-02-19	18-03-19	32	8,100	15,400	90.817,000	94.323,000	3.506,0	\$1.374	\$651	\$188.189	\$35.964	\$72.800	\$96.115	\$395.093
16-01-19	15-02-19	31	8,100	18,500	86.813,000	90.817,000	4.004,0	\$1.570	\$651	\$214.920	\$41.074	\$72.848	\$96.251	\$427.314
17-12-18	16-01-19	31	8,100	20,000	83.442,000	86.813,000	3.371,0	\$1.321	\$660	\$180.902	\$31.642	\$72.657	\$94.681	\$381.863
16-11-18	17-12-18	32	8,100	16,000	80.118,000	83.442,000	3.324,0	\$1.489	\$670	\$178.334	\$27.888	\$72.431	\$92.867	\$373.679

5.2. Levantamiento de datos mediante sensores IoT

La Figura 5.2 es un esquema de los sensores instalados en el tablero eléctrico de la AgenciaSE permiten obtener información de los consumos y de la generación entregada por las dependencias de la ASE, los paneles FV y de la infraestructura de carga bidireccional V2G.

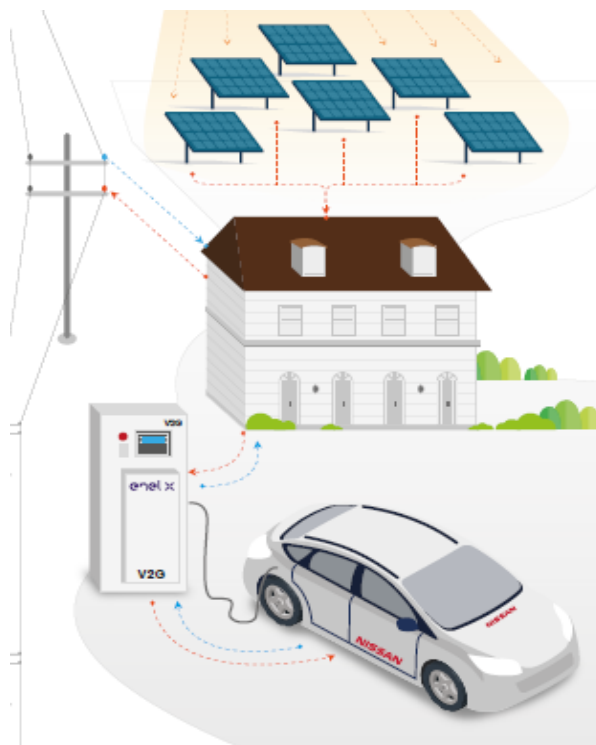


Figura 5.2: Esquema del sistema de monitoreo instalado en la AgenciaSE

La calidad de los datos: los sensores registran la potencia leída cada 1 minuto de operación. No obstante, a partir del mes de Septiembre del 2019, no se registran los últimos 5 minutos de cada hora del día. Esta información afecta los calculos, por lo que deben ser completadas manualmente con el promedio de los 5 valores previos. Esta información queda almacenada en una base de datos a la que uno puede acceder de dos formas:

- (1) Mediante la plataforma en línea contratada por la AgenciaSE, la cual permite descargar los consumos de energía y los usos de potencia cada una hora. Sin embargo, como fue explicado en [Cap5.1.3] es necesario obtener la potencia promedio cada 15 minutos para poder calcular la potencia facturada al final del mes. Si bien la cantidad de energía estimada por esta plataforma concuerdan con los consumos de las boletas, la potencia máxima registrada es la máxima leída y no la máxima potencia facturable. Por lo tanto, se descarta obtener la información por esta vía.
- (2) Contactando directamente al proveedor del servicio, donde se obteniendo los valores de potencia leída cada un minuto. Esta documentación llega en dos formatos: Plantilla Excel y JSON, por lo que se realiza para ambos un tratamiento de datos diferente.

5.2.2. Tratamiento de datos - Código

La información obtenida por los sensores ha sido agrupada en plantillas de excel las que fueron posteriormente tratadas mediante el uso de Python en particular de las librerías pandas, numpy, matplotlib y datetime que permiten trabajar la información en formato de tablas (o DataFrames). El detalle del código se encuentra en [Anexo0]. El código permite es obetener los valores de potencia cada 15 minutos tal como tarifica la regulación escogida BT4.3. Para lograr esto se promedian los consumos diarios del mes y se genera el perfil de consumo mensual. Una vez generado esta información se pueden calcular los promedios cada 15 minutos, que corresponderan a la potencia facturable, así construir los perfiles de consumo de los 5 meses, como se comparados en la Figura 5.3.

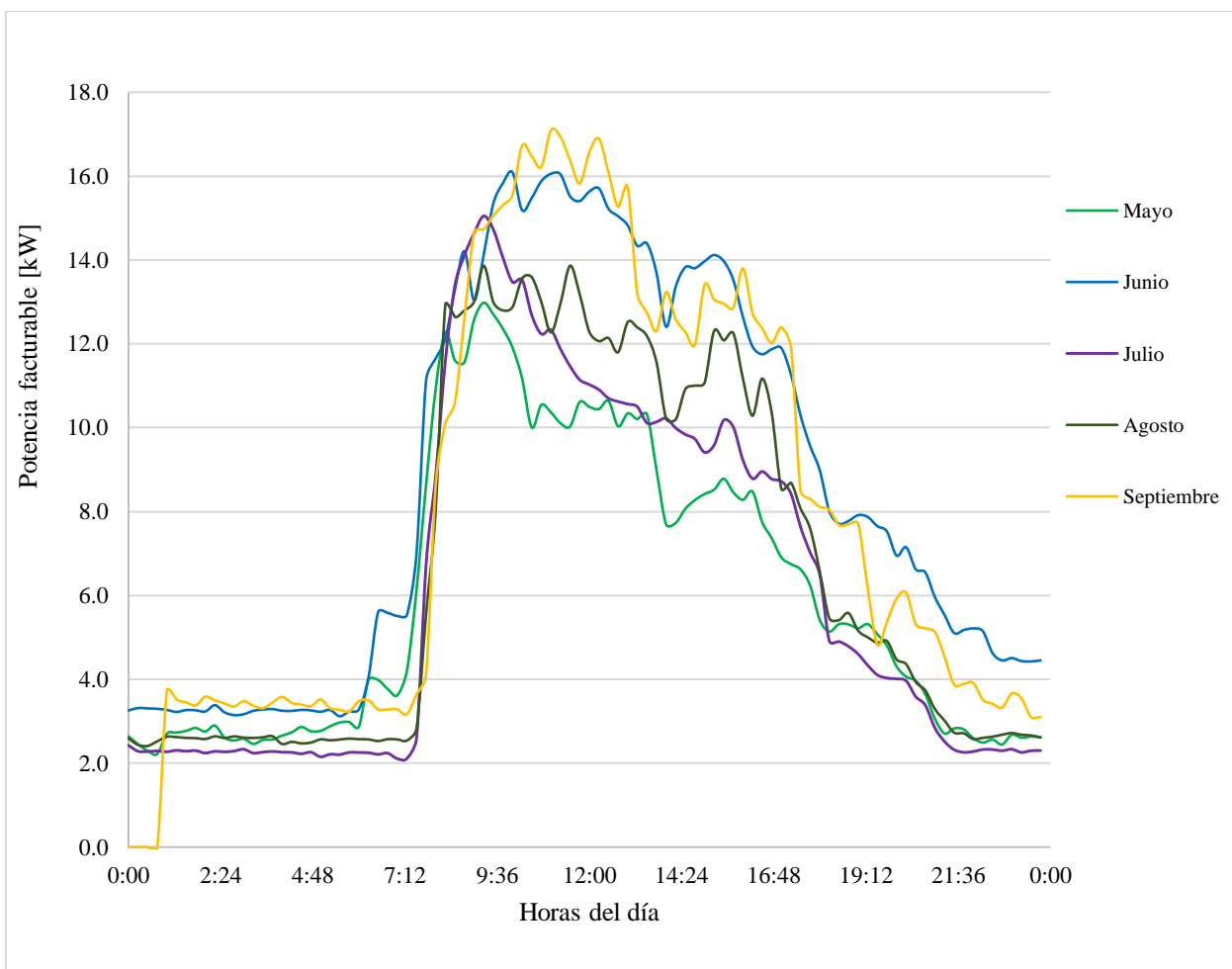


Figura 5.3: Perfil de consumo de potencias facturables de 5 meses

Con esto podemos generar los perfiles de consumos para los meses de evaluación, así caracterizar los consumos de la AgenciaSE durante un horizonte de evaluación de mayo del 2019 a septiembre del 2019.

5.3. Perfil de consumo

Para que el perfil de consumo sea representativo y concuerde con el cobro asociado por el uso de potencia y energía según la opción tarifaria BT4.3 es que este debe ser construido con las potencias facturables del día. Por lo que necesitamos tratar la data obtenida por los sensores que entregan la información por minuto y calcular según (5.2) la potencia cada 15 minutos, es decir la potencia facturable $P(t)$. Por ende esta curva horaria caracterizada por la potencia facturable corresponde al perfil de la demanda de dicho cliente para cada mes. En el caso de investigación los valores de potencia facturable es posibles calcularlos con la información levantada mediante sensores.

La AgenciaSE fue monitoreada durante un horizonte temporal de 5 meses, de mayo a septiembre, con el objetivo de conocer su comportamiento energético y así estimar las cargas y descargas a realizar para gestionar la energía consumida mediante el sistema V2G. El detalle de los perfiles de consumo y de las potencias máximas facturables de los 5 meses se encuentran en [Anexo0]. La Figura 5.4. muestra el perfil de consumo promedio de los cinco meses monitoreados en la AgenciaSE.

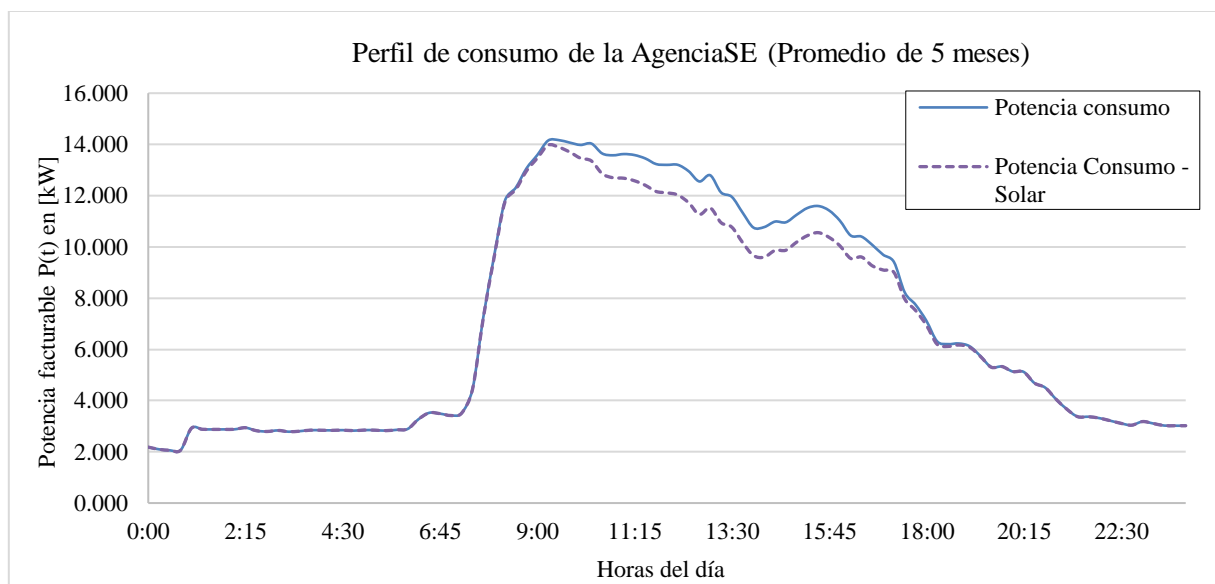


Figura 5.4: Perfil de consumo promedio de mayo a septiembre 2019

Además, el objetivo de la construcción del perfil de consumo es poder predecir el comportamiento energético de la instalación en cuestión, para este caso los consumos de AgenciaSE, para luego cuantificar el impacto que puede tener la instalación de un sistema V2G.

5.3.1. Características del perfil de consumo de la AgenciaSE

Del tratamiento de los datos obtenemos en particular los perfiles de consumo para los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre del 2019. En estos perfiles de consumo se identificaron tres tramos horarios caracterizados por:

- La principal utilización de potencia facturable es durante el comienzo de la jornada laboral de 9h00 a 13h00. Esto tiene razón lógica con el funcionamiento de la AgenciaSE pues es

cuando se encienden los aires acondicionados, computadores y los electrodomésticos instalados como describe fue previamente descrito [Cap2.1].

El horario de máxima producción de energía solar está dado entre las 12h00 a 15h00, por lo que en este instante los CO₂eq producidos por el consumo de energía eléctrica es menor en concordancia con su factor de emisión

- Tabla 2.3.
- Finalmente, de las 17h00 a las 18h00 los consumos comienzan a disminuir de forma considerable debido al termino de la jornada laboral.

Tabla 5.4: Potencias máximas y mínimas del perfil de consumo promedio de la AgenciaSE

	Potencia de consumo de la AgenciaSE [kW]	Potencia de generación solar [kW]	Potencia facturable P(t) [kW]
Max	14,166	1,071	13,970
Min	7,117	0,101	6,945

Como expuesto en [Cap5.1.3] es de interés realizar un recorte de las potencias máximas en el horario valle debido a que disponemos del VE para realizar la gestión energética con el sistema V2G. Entonces de la

Tabla 5.5 que contiene las potencias facturables P(t) en este horario, las potencias de consumo de la AgenciaSE y las potencias de generación solar, podemos definir sus valores máximos y mínimos, ver Tabla 5.4.

Tabla 5.5: Potencia facturable de la AgenciaSE promedio de 5 meses

Horas del día	Potencia de consumo AgenciaSE en [kW]	Potencia planta FV en [kW]	Potencia facturable P(t) en [kW]
09:00:00	13,584	0,10	13,463
09:15:00	14,150	0,15	13,970
09:30:00	14,166	0,23	13,889
09:45:00	14,069	0,31	13,702
10:00:00	13,979	0,43	13,461
10:15:00	14,033	0,56	13,356
10:30:00	13,647	0,66	12,859
10:45:00	13,575	0,73	12,699
11:00:00	13,623	0,79	12,680
11:15:00	13,583	0,84	12,579
11:30:00	13,450	0,87	12,403
11:45:00	13,232	0,89	12,162
12:00:00	13,201	0,91	12,109
12:15:00	13,202	0,98	12,027
12:30:00	12,955	1,02	11,725
12:45:00	12,554	1,07	11,268
13:00:00	12,796	1,06	11,520
13:15:00	12,125	0,98	10,945
13:30:00	11,952	0,99	10,769
13:45:00	11,335	0,97	10,168
14:00:00	10,754	0,91	9,664
14:15:00	10,773	0,98	9,600
14:30:00	10,987	0,94	9,863

14:45:00	10,961	0,91	9,869
15:00:00	11,254	0,89	10,186
15:15:00	11,519	0,90	10,441
15:30:00	11,594	0,87	10,555
15:45:00	11,421	0,87	10,372
16:00:00	11,023	0,82	10,043
16:15:00	10,443	0,75	9,549
16:30:00	10,401	0,66	9,604
16:45:00	10,075	0,68	9,260
17:00:00	9,693	0,50	9,096
17:15:00	9,411	0,34	9,004
17:30:00	8,222	0,21	7,966
17:45:00	7,743	0,19	7,519
18:00:00	7,117	0,14	6,945

5.3.2. Perfil de consumo discreto de la AgenciaSE

En concordancia con los valores máximos y mínimos del perfil de consumo y las características horarias de los consumos es que se realiza un símil del perfil de consumo pero de forma discreta. Esto con la intención de simplificar la operación del sistema V2G al no contar con un controlador que pueda interactuar directamente con la red eléctrica y modificar las potencias de carga y descarga de forma automática. El perfil de consumo discreto está caracterizado por cinco tramos horarios diferentes, ver Tabla 5.6, de los cuales sólo nos centraremos en los tres de ellos (I, II, II) que ocurren durante el horario de jornada laboral.

Tabla 5.6: Perfil de consumo promedio mensual discreto

Tramo Horario	Característica	Tipo de Horario	Tarifa [CLP/kW]
0 – 10 horas (basal)	Fuera del la jornada Laboral	Valle	4.115
I – 4 horas	Máximo peak de potencia utilizada por ASE	Valle	4.115
II – 4 horas	Máxima producción de planta Fotovoltaica	Valle	4.115
III – 1 hora	Mínimo peak de potencia utilizada por ASE	Valle	4.115
IV – 5 horas (basal)	Horario de alta tarificación	Punta	8.985

De esta manera discretizando los valores de la Tabla 5.5, se definen las potencias de consumo, de generación y la potencia facturable $P(t)$ del caso discreto, Tabla 5.7, que determinarán el perfil de consumo discreto del caso de investigación, ver Figura 5.5.

Tabla 5.7: Potencias del perfil de consumo discreto de la AgenciaSE

Tramo horario	Potencia de consumo ASE en [kW]	Potencia planta FV en [kW]	Potencia facturable P(t) en [kW]
I	14	0,5	13,5
II	11	1,0	13
III	7,5	0,25	7,25

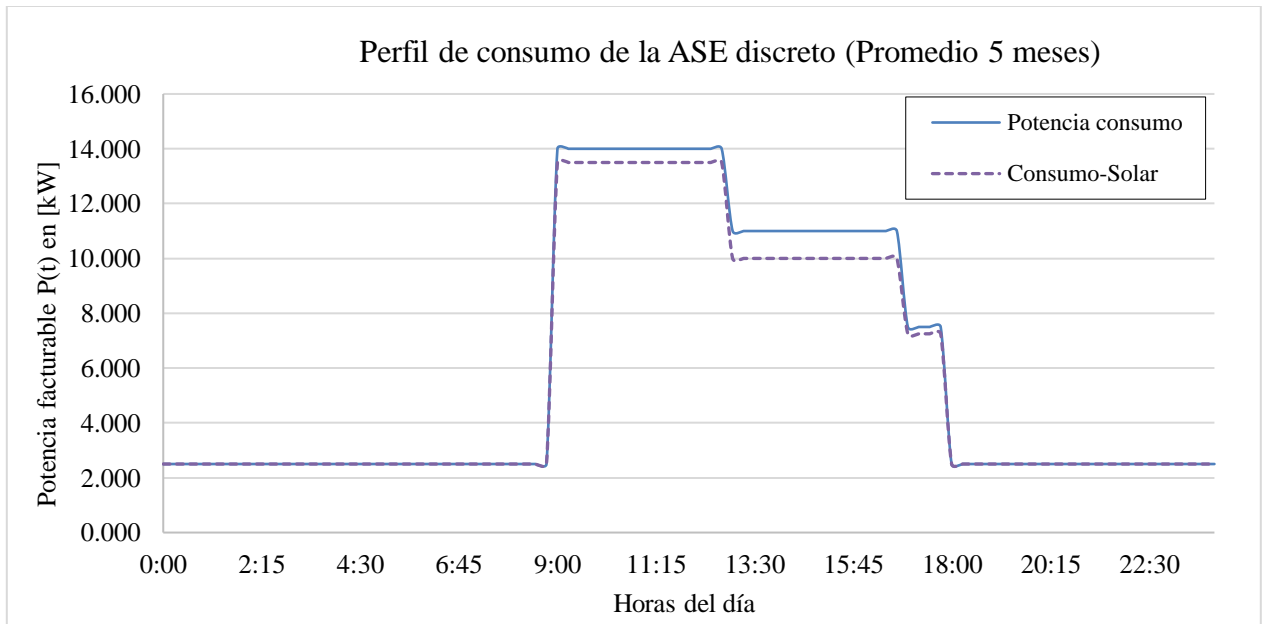


Figura 5.5: Perfil de consumo discreto de la AgenciaSE

5.4. Potencial económico del sistema V2G en la AgenciaSE

El potencial económico de un sistema V2G dependerá de múltiples variables como lo son el contrato eléctrico [Cap5.1], el perfil de consumo [Cap5.2.2], el tiempo disponible del vehículo eléctrico[Cap6.1], la capacidad de energía máxima de almacenamiento del vehículo y de la infraestructura bidireccional [Cap2.2]. Es por esto que, para cuantificar los costos y beneficios de la tecnología se analiza los escenarios bajo el sistema de niveles de carga [3], definiendo el punto de partida de comparación, el caso de investigación de la AgenciaSE (**nivel 1**) y luego la extrapolación a una flota de vehículos (**nivel 2**).

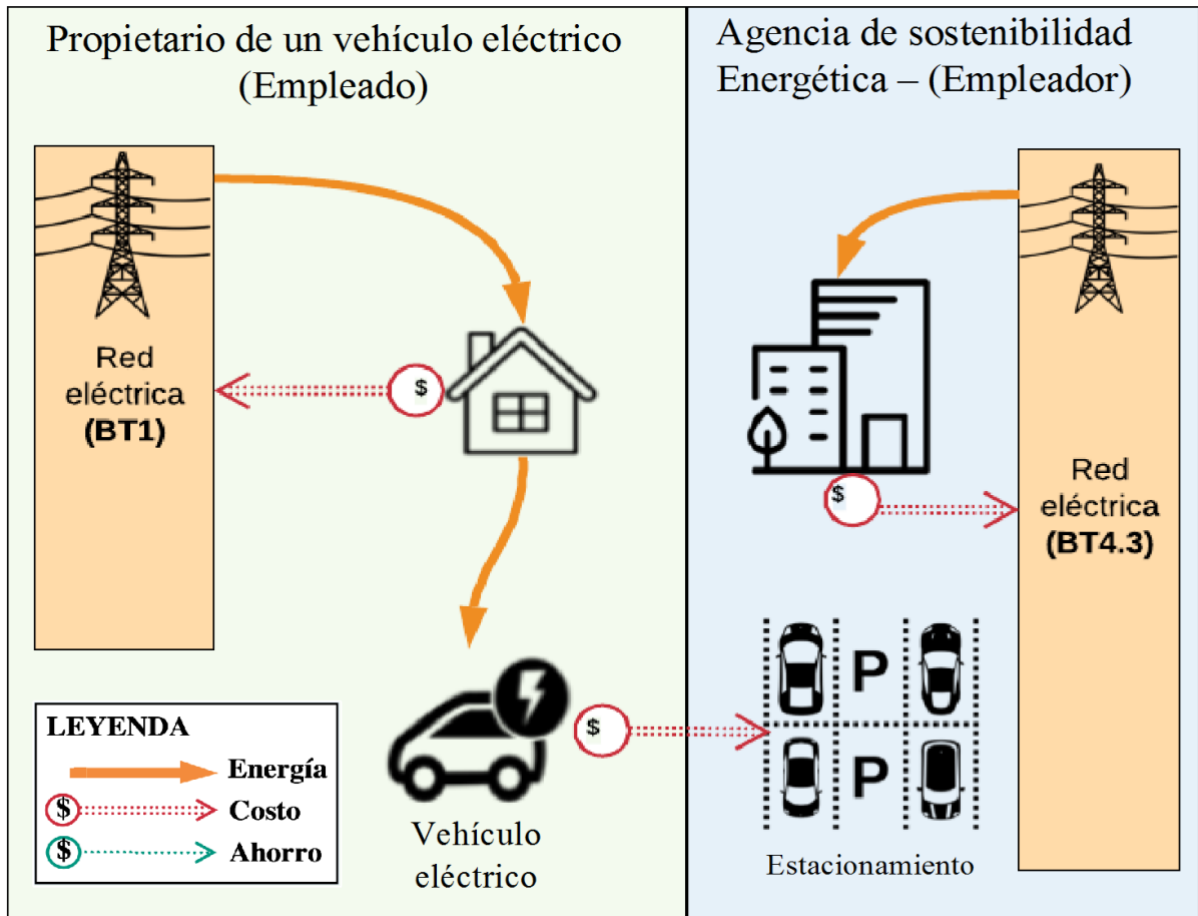


Figura 5.6: Esquema de la línea base de evaluación

La economía del sistema debe ser beneficiosa para el propietario del vehículo eléctrico (empleado tipo) y para el propietario del sistema V2G, en este caso la AgenciaSE (empleador). Por ende, se debe compensar equitativamente a ambas partes considerando las capacidades técnicas de los componentes. La línea base del caso de investigación (Figura 5.6), estado previo a la instalación de la infraestructura bidireccional V2G, no genera un ahorro y los costos de las partes son totalmente independientes.

5.4.1. Esquema de la AgenciaSE – Nivel 1

Al integrar en el sistema la infraestructura bidireccional V2G, tenemos una variación en los flujos de energía, de costos y se generan ahorros (los que vemos como beneficio). En este caso el vehículo queda a disposición del empleador para realizar gestión energética durante la jornada laboral, y el empleado no carga el vehículo en su casa, por lo que lo pagado a fin de mes será únicamente lo consumido por su domicilio.

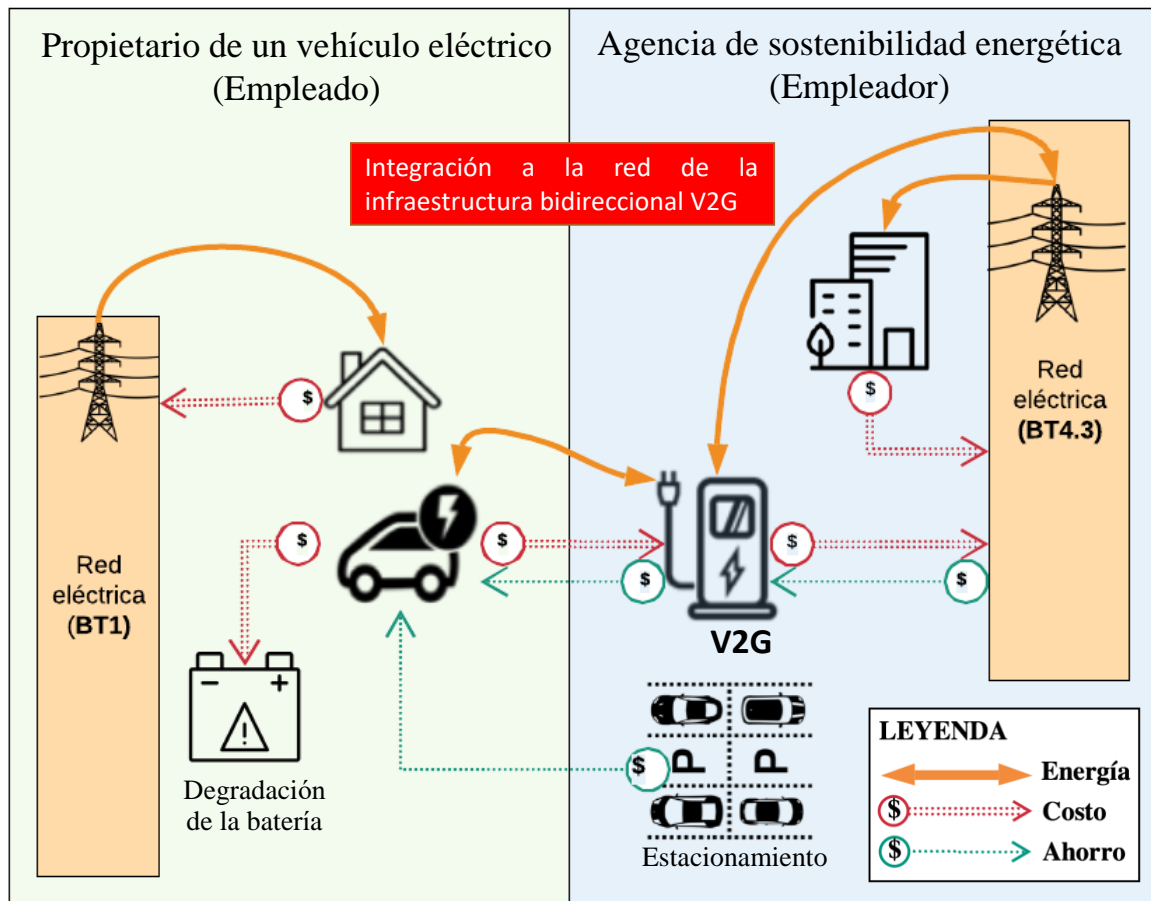


Figura 5.7: Esquema de la instalación del sistema V2G - Nivel 1

Del esquema Figura 5.7, podemos ver que al integrar a la red la infraestructura bidireccional V2G, los flujos de energía van desde la red a las instalaciones, y bidireccionalmente al vehículo pasando por el V2G. Su funcionamiento genera un ahorro para el empleador desde la red al aplanar la curva de demanda [Cap3.2], pero también le supone un costo extra por consumo de energía consumida por el vehículo eléctrico. Desde la perspectiva del empleado, este al no cargar el vehículo en su casa, su costo energético corresponderá únicamente al consumo domiciliario. Al permitir que el V2G gestione la energía de su VE mediante cargas y descargas se genera una degradación de la batería, por lo que al disminuir la capacidad de su almacenamiento, se ve desvaluado más rápido que lo normal, lo que se asume como un costo. De acuerdo con definición del caso [Cap6.1] el empleado dispondrá de una cantidad de energía cargada gratuitamente lo que le genera un ahorro mensual.

5.4.2. Esquema Flota – Nivel 2

En el caso hipotético de gestionar una flota con un sistema V2G, Figura 5.8, la coordinación de las cargas y descargas es el primordial objetivo, debido a que de esta manera podremos reducir la degradación de batería y aplanar la demanda del empleador. A su vez, dependiendo del tamaño de la flota y de los consumos de las instalaciones del empleador, este podría eventualmente funcionar desconectado de la red en los periodos de mayor conveniencia, en los horarios punta.

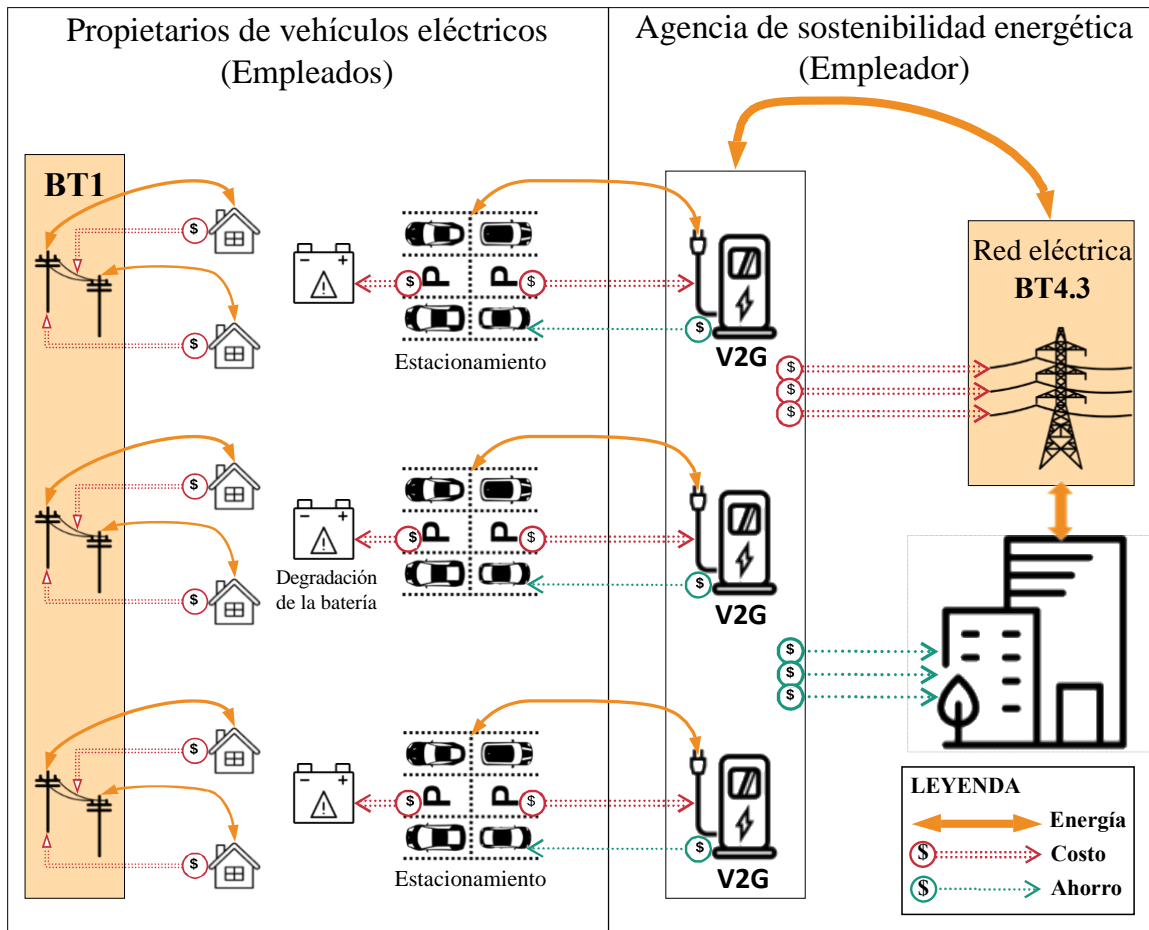


Figura 5.8: Esquema de incorporar flota Nivel 2

Desde la perspectiva del empleado, el hecho de participar de la gestión de la energía mediante una flota de vehículos conectados a la red no influye en los consumos domiciliarios, y manteniendo el mismo criterio tampoco influirá en la cantidad de energía para ir y volver a casa. Sin embargo, el hecho de contar con más vehículos conectados permite que las variaciones del SOC se mantengan en los rangos óptimos recomendados para disminuir la degradación de las baterías [Cap4.2].

Capítulo 6 : Operación del sistema V2G y VE

6.1. Descripción del caso de investigación

El caso investigado se presentará mediante un esquema, Figura 6.1, que cuenta una historia de gestión energética en la que interactúan un empleado (Juan Perez) quien es propietario de un VE y su empleador (AgenciaSE) quien posee un V2G.

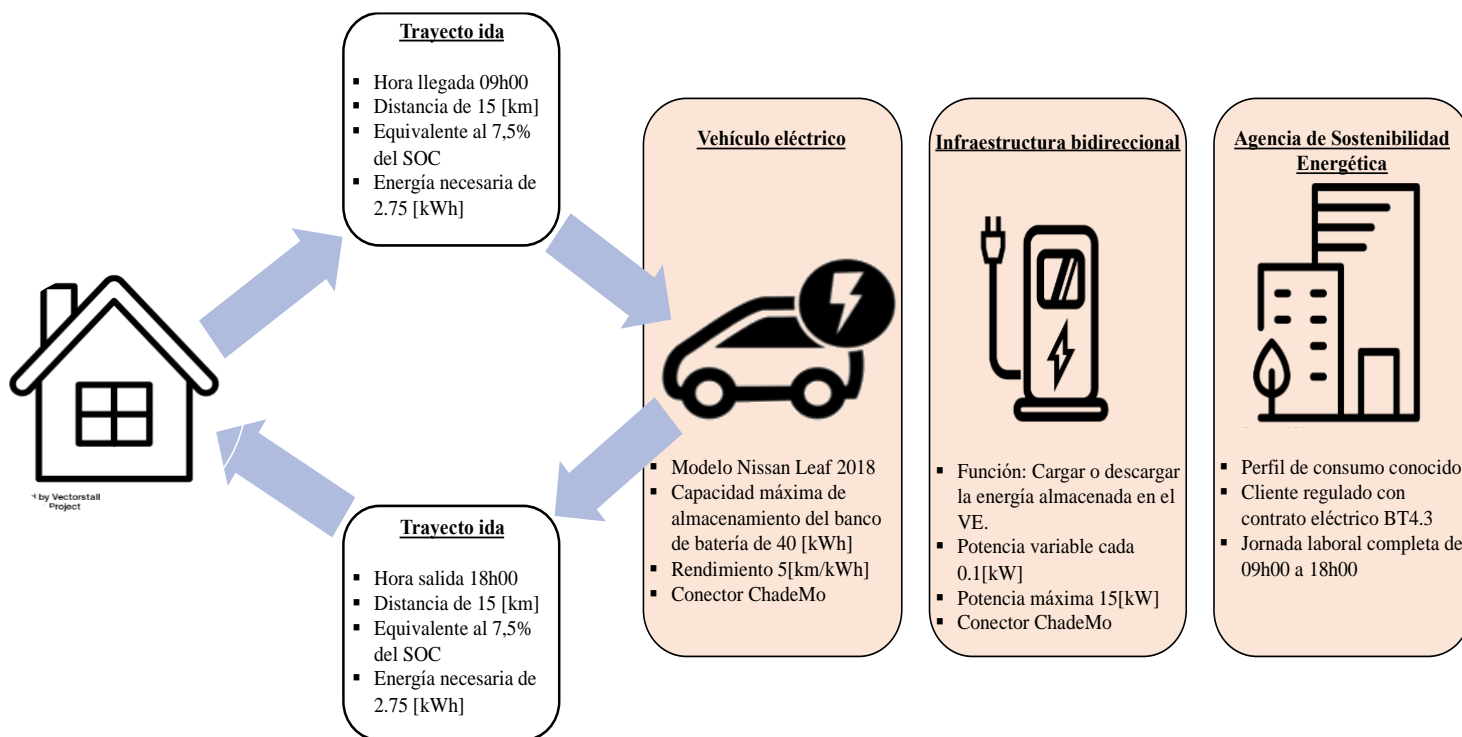


Figura 6.1: Esquema del caso de investigación

Historia explicativa:

El empleado tipo tiene un VE Nissan Modelo Leaf 2018, donde sus características fueron previamente detalladas [Cap2.2.2], este puede conectarse a una infraestructura bidireccional diseñada para interactuar con vehículos eléctricos. El empleado tipo vive a 15 [km] de su trabajo y su medio preferido para transportarse hasta su lugar de trabajo es utilizando su VE. El empleado cumple con una jornada laboral completa en la AgenciaSE, entonces estaciona su vehículo en la mañana a las 9h00 y lo retira para volver a su casa a las 18h00, lo que equivale a 9 horas de tiempo ocioso de carga. Adicionalmente, para Juan debe pagar por su estacionamiento.

Por una parte, el empleador (AgenciaSE), quien tiene conciencia de su regulación tarifaria [Capítulo 5 :] y que previamente ha caracterizado [Cap5.2.2] su perfil de consumo energético ve la posibilidad de disminuir sus cobros por potencia mensuales al conectar el VE de empleado a su sistema V2G. En concordancia, le ofrece al empleado que estacione su VE en la AgenciaSE y lo deje conectado al V2G durante su jornada laboral. Por otra parte, el uso constante de la batería del

vehículo eléctrico supone una degradación acelerada de las celdas de ion-litio, por lo que definen rangos de operación en el que estará el %SOC.

Finalmente el compromiso entre el empleado y el empleador es: el VE estará disponible durante toda la jornada laboral para gestionar la energía de las instalaciones mediante el uso del V2G; para evitar la degradación acelerada de la batería el %SOC del vehículo estará siempre dentro de los rangos recomendados. Como es imposible evitar la degradación de la batería se le proporcionará al empleado una carga gratis diaria de 5.5 [kWh], equivalente a un 15% del SOC, correspondiente a la energía necesaria para realizar el trayecto del trabajo al hogar ida y vuelta.

6.2. Operación teórica del sistema

El cargador bidireccional V2G permite r flujos de energía eléctrica entre la red y el vehículo eléctrico, por lo que este cargador es regulable manualmente mediante su interfaz. Una de las principales características de este es la posibilidad de variar las potencias de carga y descarga del vehículo cada 0.1 [kW]. Las potencias máximas de carga y descarga indicadas por el fabricante son de 15 [kW].

El vehículo eléctrico disponible para la realización de la gestión energética descrita por el caso de investigación corresponde a un Nissan Leaf, cuyas características técnicas fueron descritas anteriormente [Cap2.2.2]. El rendimiento del vehículo, estimado en 5 [km/kWh], y la capacidad máxima de la batería de 40 [kWh] son esenciales para determinar el estado de carga inicial y la energía disponible para realizar la gestión mediante el sistema V2G.

Por otro lado, se considera que el vehículo estará todos los días hábiles del mes disponible para su carga o descarga durante el horario laboral estacionado en la ASE, por lo que el empleado propietario de este se compromete a que el VE estará estacionado de 9h00 a 18h00.

Por ultimo, se asume que el empleador mantiene sus consumos energéticos homogéneos durante todos los días de operación. Por lo que uno de los principales supuestos es que el perfil de consumo diario de la AgenciaSE es idéntico al perfil de consumo promedio de los cinco meses monitoreados.

6.3. Operación real del sistema

La operación se hace efectiva al coordinar los flujos energéticos entre la red y el vehículo, trabajo realizado por el cargador bidireccional, que en su interior aloja componentes eléctricos (convertor e inversor, luces, pantallas de interfaz, entre otros) que consumen energía durante su funcionamiento. La cantidad de energía consumida dependerá del tiempo que se utilice el vehículo, pero la potencia residual necesaria para su funcionamiento es de 1.5 [kW]. En consecuencia, el funcionamiento real de la infraestructura bidireccional permite cargar o descargar el VE a una potencia máxima de 13.5 [kW].

Si bien la interfaz del V2G permite regular las potencias de carga y descarga, es necesario realizar una operación manual que toma 3 minutos:

- En primera instancia, para terminar la carga o descarga se pulsa el botón stop y se procede a desconectar el VE del V2G;
- En segunda instancia, para reiniciar una carga o descarga se parametriza manualmente su potencia y se conecta el VE al V2G, en este instante comienzan a interactuar el vehículo con el cargador mediante el seguimiento de los protocolos de comunicación internos para asegurar la seguridad de la operación;
- Finalmente, se inicia la carga o descarga de energía entre la red y el VE.

La infraestructura bidireccional V2G en operación real te permite descargar energía regulando la potencia cada 0.1 [kW] en un rango entre los 0 a 13.5 [kW]. No obstante, esto no es factible para la carga puesto que independiente de la potencia que se indique el V2G siempre cargará a potencia máxima, es decir a 13.5 [kW]

Por otro lado, el VE utilizado en esta investigación es utilizado por otros empleados y proyectos, por lo que su disponibilidad está acotada al calendario y necesidades de la AgenciaSE. Esto repercute en que no se dispone del VE de 9h00 a 18h00 invariablemente todos los días hábiles del mes, y que tampoco se inicializan las mediciones con el estado de carga inicial óptimo calculado por la metodología que se explicara a continuación [Cap7.5]. En este mismo contexto, la caracterización de la curva de consumos promedios calculados [Cap5.2.2] no es siempre predictivo con la realidad, debido a que en las dependencias se realizan variados eventos que producen variaciones en los consumos y potencias utilizadas.

Capítulo 7 : Metodología de medición y aplicación del sistema V2G

7.1. Descripción de la metodología

La metodología presentada a continuación tiene como objetivo reducir los costos mensuales por uso de potencia en la factura eléctrica de la AgenciaSE gestionando el flujo de energía durante la jornada laboral entre el VE y la red mediante la operación del sistema V2G; de forma tal que se minimice la degradación de la batería, se genere un ahorro por uso de potencia al empleador, y a su vez se le garantice al propietario del VE un estado de carga que le permita realizar el trayecto Trabajo – Casa – Trabajo todos los días hábiles.

En concordancia con el caso de investigación expuesto anteriormente [Cap6.1], se ha construido una metodología que sea capaz de agrupar las restricciones técnicas de los componentes comprometidos en esta investigación: la infraestructura bidireccional V2G, las baterías del VE y perfil de consumo de la AgenciaSE y las condiciones horarias de la implementación. Esto intentando cumplir con los objetivos económicos propuestos para el empleado y el empleador al gestionar la energía mediante la operación del sistema V2G.

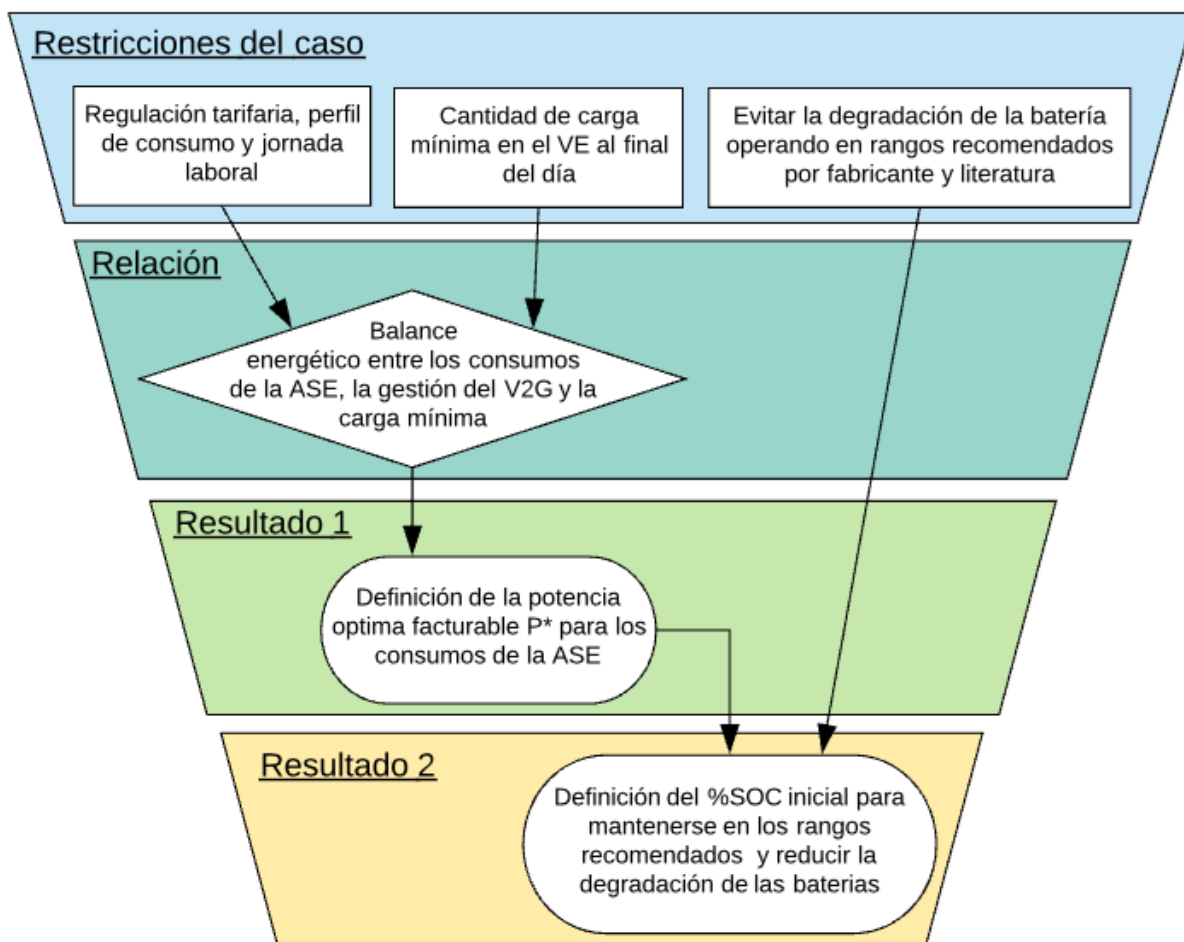


Figura 7.1: Esquema de la metodología implementada para operación del sistema V2G

Para mayor comprensión de la formulación de la metodología se presenta un esquema resumen Figura 7.1, que agrupa las principales tomas de decisiones, las restricciones del caso y como interactúan entre ellas. Es necesario entender que para lograr el objetivo técnico y económico impuesto es necesario definir la potencia optima facturable P^* y el estado de carga inicial del VE $\%SOC_{inicial}^*$. Entonces la metodología pretende definir estos dos valores considerando lo siguiente:

Restricciones del caso:

- Técnica: Dada por la capacidad tecnológica de los componentes V2G y VE
- Energética: Existencia de dos potencias máximas locales en el perfil de consumo
- Económica para el empleador: Generar ahorros por uso de potencia máxima mensual
- Económica para el empleado: Garantizar la energía mínima de carga

Balance energético: Debido a que estamos en un problema de gestión de la energía, se debe necesariamente realizar un balance energético entre los consumos y la generación de los componentes del sistema V2G.

Resultados:

- El primer resultado corresponde a la definición de la potencia optima facturable P^* , es decir, del parámetro que asegura el máximo ahorro posible por uso de potencia para el empleador
- El segundo resultado corresponde a la definición del estado de carga inicial del VE para evitar la degradación de la batería

Parámetros a calcular:

- Potencia optima facturable P^*
- Tiempos ociosos de carga del VE
- Estado de carga inicial optima $SOC^*_{inicial}$
- Cantidad de energía cargada al día E_{ruta}
- Potencias de carga y descarga del sistema V2G, P_{V2G}

7.2. Parametrización de la gestión energética en la AgenciaSE

7.2.1. Formulación de las variables $E_{V2G}(t)$ y $P_{V2G}(t)$

Para determinar la potencia optima facturable P^* se debe caracterizar matemáticamente mediante una formula genérica la energía de carga o descarga del vehículo a la red $E_{V2G}(t_i)$ para cualquier horario de la jornada laboral (7.1), siendo el total de horas de la jornada laboral definida por T_{V2G} . A su vez, la cantidad de energía en $E_{V2G}(t_i)$ dependerá de la potencia de carga o descarga del sistema $P_{V2G}(t_i)$, ver (7.2), y de la temporalidad t_i de su aplicación, luego

$$E_{V2G}(t_i) = P_{V2G}(t_i) \cdot t_i \quad ; \quad \forall t_i \in T_{V2G} \quad (7.1)$$

Así mismo la potencia de carga o descarga $P_{V2G}(t_i)$ será la diferencia entre la potencia optima facturable P^* y la potencia facturable en el momento de la evaluación $P(t_i)$.

$$P_{V2G}(t_i) = P^* - P(t_i) \quad ; \quad \forall t_i \in T_{V2G} \quad (7.2)$$

A modo explicativo, y para corroborar que la formulación es válida se analiza el siguiente caso para un perfil de consumo cualquiera, Figura 7.2, en donde se evalúa la energía $E_{V2G}(t_i)$ y la potencia $P_{V2G}(t_i)$ durante los periodos A y B característicos de la curva de consumo explicados a continuación.

- a) Entonces evaluamos en el punto A (7.3), donde la potencia facturable necesaria $P(t_A)$ es mayor a la potencia optima facturable P^* . Obtenemos que la energía $E_{V2G}(t_A)$ es negativa con lo que se está inyectando energía a la red desde el VE.

$$P^* < P(t_A) \rightarrow E_{V2G}(t_A) = P_{V2G}(t_A) \cdot T_A = [P^* - P(t_A)] \cdot T_A \rightarrow E_{V2G}(t_A) < 0 \quad (7.3)$$

- b) Entonces evaluamos en el punto B (7.4), donde la potencia facturable necesaria $P(t_B)$ es menor a la potencia optima facturable P^* . Obtenemos que la energía $E_{V2G}(t_B)$ es positiva con lo que se está cargado el VE desde la red.

$$P^* > P(t_B) \rightarrow E_{V2G}(t_B) = P_{V2G}(t_B) \cdot T_B = [P^* - P(t_B)] \cdot T_B \rightarrow E_{V2G}(t_B) > 0 \quad (7.4)$$

Se comprueba entonces que la formulación de las variables es correcta y sus signos tiene sustento lógico durante una variación de energía utilizando como punto de referencia el vehículo eléctrico.

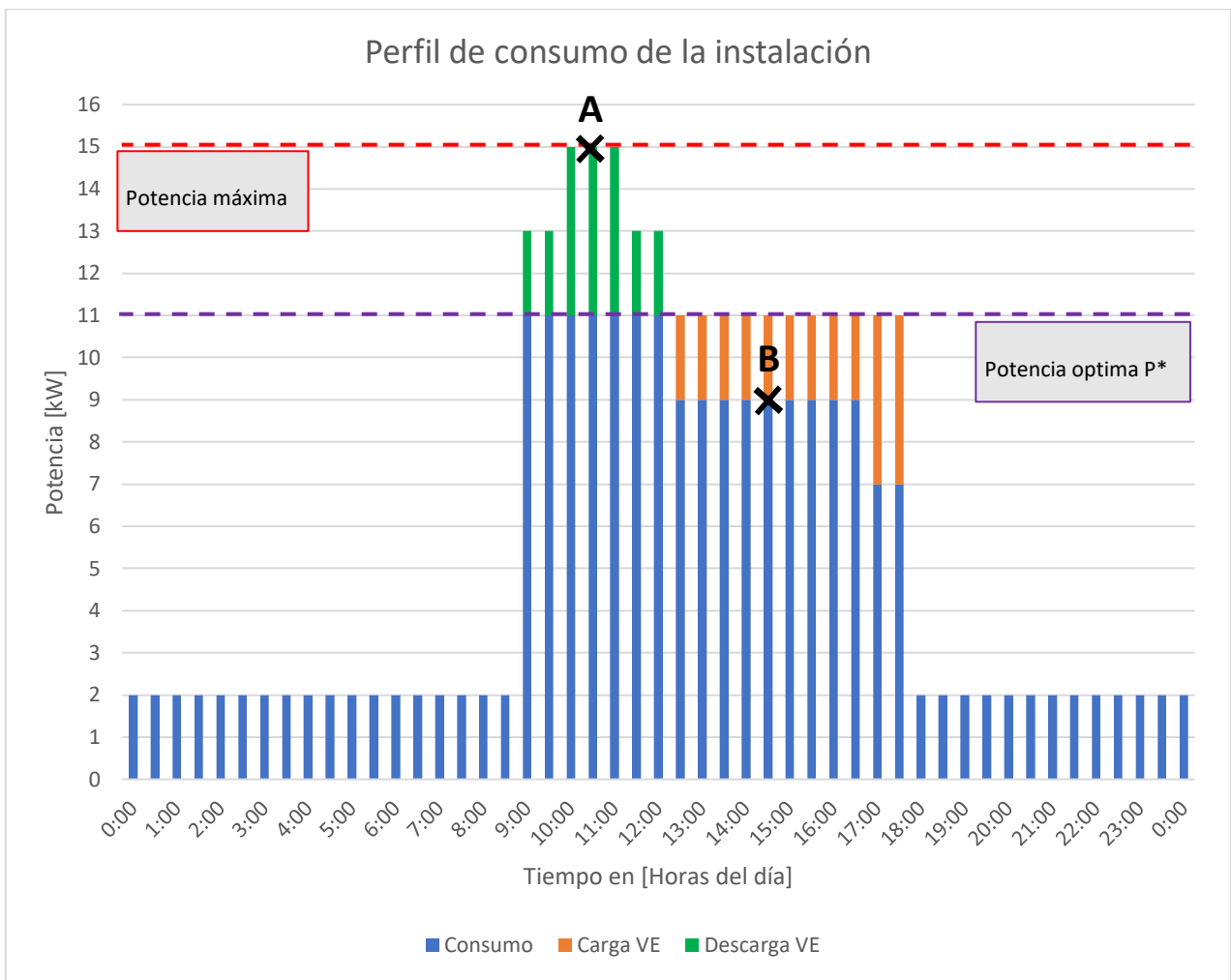


Figura 7.2: Perfil de consumo ejemplificativo de instalación

7.2.2. Cantidad de energía final del sistema E_{V2G}

Para calcular la cantidad de energía final del sistema, debemos en primera instancia calcular la cantidad de energía cargada y descarga desde el vehículo a la red durante su operación mediante el uso de las variables $E_{V2G}(t)$ y $P_{V2G}(t)$, como lo muestra la Tabla 7.1.

Tabla 7.1: Calculo necesarios

Tiempo [h]	P(t) en [kW]	Potencia del V2G [kW]	Energía del V2G en [kWh]
t_0	$P(t_0)$	$P_{V2G}(t_0) = 0$	$E_{V2G}(t_0) = 0$
t_1	$P(t_1)$	$P_{V2G}(t_1) = P^* - P(t_1)$	$E_{V2G}(t_1) = P_{V2G}(t_1) \cdot (t_1 - t_0)$
t_1	$P(t_2)$	$P_{V2G}(t_2) = P^* - P(t_2)$	$E_{V2G}(t_2) = P_{V2G}(t_1) \cdot (t_2 - t_1)$
...
t_i	$P(t_i)$	$P_{V2G}(t_i) = P^* - P(t_i)$	$E_{V2G}(t_i) = P_{V2G}(t_i) \cdot (t_i - t_{i-1})$
...
t_N	$P(t_N)$	$P_{V2G}(t_N) = P^* - P(t_N)$	$E_{V2G}(t_N) = P_{V2G}(t_N) \cdot (t_N - t_{N-1})$

Luego, para conocer la cantidad total de energía al final del día del sistema V2G, sólo tendremos que adicionar todas sus variaciones durante el día (7.5), obteniendo que:

$$\begin{cases} E_{V2G} = \sum_i^N E_{V2G}(t_i) = \sum_i^N [P^* - P(t_i)] \cdot [t_i - t_{i-1}] \\ T_{V2G} = \sum_i^N [t_i - t_{i-1}] \end{cases} \quad (7.5)$$

Entonces,

$$E_{V2G} = P^* \cdot T_{V2G} - \sum_i^N P(t_i) \cdot [t_i - t_{i-1}] \quad (7.6)$$

Considerando que la calidad de los datos del perfil de consumo analizado es tal que se tiene un delta tiempo muy pequeño, el problema caracterizado por (7.6) puede ser considerado como continuo (7.7), por ende:

$$\begin{cases} E_{V2G} = \int_{t_0}^{t_N} [P^* - P(t)] \cdot dt \\ T_{V2G} = t_N - t_0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} E_{V2G} = P^* \cdot T_{V2G} - \int_{t_0}^{t_N} P(t) \cdot dt \end{cases} \quad (7.7)$$

7.3. Restricciones del caso de investigación

7.3.1. Regulación tarifaria: Ahorro por reducción de potencia máxima utilizada

El único ahorro que se puede generar con la regulación tarifaria BT4.3 es mediante la disminución de los cobros mensuales por potencia facturable máxima utilizada en horario valle [Cap5.1.3].

Tabla 7.2: Potencia obtenidas del perfil de consumo de la AgenciaSE

Tiempo [h]	Potencia facturable [kW]
$t_1 = 0,25$	$P(t_1)$
$t_2 = 0,50$	$P(t_2)$
...	...
t_i	$P(t_i)$
...	...
$t_N = 9$	$P(t_N)$

De acuerdo con el caso estudiado, se conoce el perfil de consumo, resumido en Tabla 7.2, por lo que el empleador conoce a su vez el valor de cada potencia consumida facturable $P(t_i)$ para cada tiempo t_i , donde t_i pertenece al universo de temporal de carga ociosa en que el vehículo eléctrico esta conectado a la infraestructura bidireccional $T_{V2G} = [t_1, \dots, t_N]$. Es decir, se conoce la potencia máxima facturable P_{max} y cuando ocurre:

$$\max P(t_i) = P_{max} \quad ; \quad \forall t_i \in T_{V2G} \quad (7.8)$$

Los costos mensuales del empleador siempre estarán determinados por una potencia máxima facturable (7.8) y la suma mensual de la cantidad de energía consumida diariamente E_{ASE} ,

$$E_{ASE} = \sum_i^N P(t_i) \cdot t_i \quad ; \quad \forall t_i \in T_{V2G} \quad (7.9)$$

Debido a que no se puede generar un ahorro por compra/venta de energía, debemos encontrar la potencia óptima P^* que aplane el perfil de consumo de la ASE y le permita funcionar con normalidad mediante la gestión energética.

7.3.2. Energía disponible en el VE al final del día

Al finalizar la jornada laboral, el VE debe disponer una carga mínima de 5.5 [kWh], equivalente al 15% del SOC, para poder realiza la ruta Trabajo – Casa – Trabajo de 30 km.

$$E_{ruta}(30 \text{ km}) = 5,5[\text{kWh}] \quad (7.10)$$

No obstante, el vehículo eléctrico al estar conectado al V2G se encuentra constantemente realizando fluctuaciones de energía, cargando y descargando el VE para poder satisfacer las necesidades del empleador, donde

$$E_{carga} = \sum_i^N E_{carga}(t_i) \quad ; \quad E_{carga}(t_i) = \begin{cases} P_{V2G}(t_i) \cdot t_i & \text{si } P^* > P(t_i) \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \quad (7.11)$$

$$E_{descarga} = \sum_i^N E_{descarga}(t_i) \quad ; \quad E_{descarga}(t_i) = \begin{cases} P_{V2G}(t_i) \cdot t_i & \text{si } P^* \leq P(t_i) \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \quad (7.12)$$

Entonces, la energía al final del día corresponde a las sumas de energías de la carga y descarga, que a su vez es la energía E_{ruta} para poder realizar la ruta Trabajo – Casa – Trabajo.

$$E_{ruta} = E_{carga} + E_{descarga} \quad (7.13)$$

El hecho de imponer una cantidad de energía mínima al finalizar el periodo de operación diario obliga a que el balance energético sea positivo, desde la perspectiva del VE, es decir la cantidad de energía cargada sea mayor a la de descarga.

7.3.3. Evitar la degradación de la batería

La degradación de las celdas que componen la batería esta gobernada por dos principales fenómenos electroquímicos: el aumento de la resistencia interna de las celdas de la batería y la transformación de energía eléctrica en calor por el Efecto Joule [Cap4.2.2]. A fin de evitar la degradación de la batería y basándose en la literatura investigada [Cap4.2], la metodología actual debe respetar las siguientes condiciones:

- Recomendación del fabricante

$$15\% < SOC(t_i) < 95\% \quad (7.14)$$

- Variación máxima de estado de carga

$$0\% < \Delta SOC(t_i) < 80\% \quad (7.15)$$

- Rango de menor aumento de la resistencia interna, y de perdida por calor

$$40\% < SOC(t_i) < 60\% \quad (7.16)$$

7.4. Balance energético y calculo de P^*

El empleador (ASE) no puede provocar que sus empleados consuman más o menos mientras trabajan pues supondría una coordinación enorme, por ejemplo, apagar o encender los aires condicionados a ciertas horas del día. Para asegurar que se satisfaga el consumo energético de la ASE y la carga mínima del VE, reduciendo los costos mensuales por potencia máxima utilizada, se debe operar a una potencia optima facturable que cumpla los siguientes requisitos:

$$P^* < P_{max} \quad ; \quad E^* = \sum_i^N P^* \cdot t_i = E_{ASE} + E_{ruta} \quad (7.17)$$

Esto es posible utilizando el sistema V2G de manera que inyecte energía a la red cuando la potencia facturable $P(t_i)$ en el instante t_i sea mayor a la potencia optima facturable P^* y que consuma energía cuando la potencia facturable $P(t)$ es menor a la potencia optima facturable P^* .

$$\begin{cases} E^* = E_{ASE} + E_{ruta} \\ E_{V2G} = E^* + E_{ASE} \end{cases} \rightarrow E_{V2G} = E_{ruta} \quad (7.18)$$

Si bien aún no es conocida la potencia optima P^* , se puede calcular según (7.2) debido a que se conocen en detalle la potencia facturable $P(t_i)$ utilizada en todo momento t_i , y de esta manera se puede calcular cuando, durante cuanto tiempo y a que potencia cargar o descargar energía $P_{V2G}(t_i)$.

$$\begin{cases} E_{V2G} = P^* \cdot T_{V2G} + \int_{t_0}^{t_N} P(t) \cdot dt \\ E_{V2G} = E_{ruta} \end{cases} \quad (7.19)$$

Finalmente despejando la ecuación (7.19) se obtiene el valor de la potencia optima facturable

$$P^* = \frac{1}{T_{V2G}} \left[E_{ruta} + \int_{t_0}^{t_N} P(t) \cdot dt \right] \quad (7.20)$$

7.5. Cálculo del % $SOC_{inicial}$ para evitar degradación de baterías

Como última parte de la metodología y así cumplir con todos los criterios impuestos se debe definir el estado de carga inicial $SOC_{inicial}$, la cual corresponde a la cantidad de energía que dispone el vehículo eléctrico al comenzar el horario laboral, es decir a las 9h00 am.

$$SOC_{inicial} = SOC(t_0) \quad (7.21)$$

El estado de carga inicial óptimo $SOC_{inicial}^*$ determinará el estado de carga máximo óptimo SOC_{max}^* y mínimo óptimo SOC_{min}^* alcanzado durante la implementación de la metodología, lo que nos permitirá cumplir con la restricción [Cap7.3.3] de proporcionalidad de carga.

$$SOC_{min}^* < 40\% < SOC(t_i) < 60\% < SOC_{max}^* \quad ; \quad \forall t_i \in T_{V2G} \quad (7.22)$$

Para determinar los estados de carga óptimos SOC_{min}^* debemos imponer que la diferencia sea idéntica ∂_{SOC}^* entre ambas cotas.

$$\begin{cases} SOC_{min} = 40\% - \partial_{SOC}^* \\ SOC_{max} = 60\% + \partial_{SOC}^* \end{cases} \quad (7.23)$$

Cabe recordar que por la formula (7.20) con el que calculamos la potencia óptima P^* el estado de carga final SOC_{final} siempre será no nulo y equivalente a la energía necesaria para realizar la ruta Trabajo-Casa-Trabajo.

7.5.1. Cálculo teórico % $SOC_{inicial}$

En primera instancia se estudiará la implementación de la metodología para un caso genérico continuo, es decir, donde se dispone de todas las condiciones contextuales y técnicas teóricas ideales descritas previamente [Cap0].

La metodología propuesta para encontrar el estado de carga ideal $SOC_{inicial}^*$ consiste en calcular como primera iteración las variaciones de energía que se aplicarán durante la operación del sistema V2G considerando un $SOC_{inicial} = 50\%$. Se le otorga este valor debido a que no sabemos a priori si se alcanzará primero el estado de carga máximo o mínimo.

Completando la Tabla 7.1 podemos identificar las potencias $P_{V2G}(t_i)$ del sistema V2G, y también la variación de energía $E_{V2G}(t_i)$ que esta produce en todo tiempo t_i de aplicación dada por las siguientes fórmulas:

$$P_{V2G}(t_i) = P^* - P(t_i) \quad (7.24)$$

$$E_{V2G}(t_i) = P_{V2G}(t_1) \cdot (t_i - t_{i-1}) \quad (7.25)$$

Durante todo el tiempo de operación del sistema V2G, el estado de carga $SOC(t_i)$ variará según la cantidad de energía cargada o descarga en ese instante $E_{V2G}(t_i)$ de la siguiente forma:

$$SOC(t_i)[\%] = SOC_{inicial} [\%] + \sum_{t_0}^{t_i} E_{V2G}(t_i) \cdot \frac{100}{E_{bateria(max)}} [\%] \quad (7.26)$$

Aplicando estas fórmulas tendremos las potencias y energías del sistema V2G, junto con el estado de carga del VE en todo el tiempo de evaluación.

Tabla 7.3: Cálculos para gestión energética

Tiempo en[h]	P(t) en [kW]	Potencia del V2G [kW]	Energía del V2G en [kWh]	Estado de carga en [%]
$t_0 = 0$	$P(t_0)$	$P_{V2G}(t_0) = 0$	$E_{V2G}(t_0) = 0$	$SOC(t_0) = SOC_{inicial} = 50$
$t_1 = 0,25$	$P(t_1)$	$P_{V2G}(t_1) = P^* - P(t_1)$	$E_{V2G}(t_1) = P_{V2G}(t_1) \cdot (t_1 - t_0)$	$SOC(t_1) = 50 + \sum_{t_0}^{t_1} E_{V2G}(t_1) \cdot \frac{100}{E_{bat}}$
$t_2 = 0,50$	$P(t_2)$	$P_{V2G}(t_2) = P^* - P(t_2)$	$E_{V2G}(t_2) = P_{V2G}(t_1) \cdot (t_2 - t_1)$	$SOC(t_2) = 50 + \sum_{t_0}^{t_2} E_{V2G}(t_2) \cdot \frac{100}{E_{bat}}$
...
t_i	$P(t_i)$	$P_{V2G}(t_i) = P^* - P(t_i)$	$E_{V2G}(t_i) = P_{V2G}(t_i) \cdot (t_i - t_{i-1})$	$SOC(t_i) = 50 + \sum_{t_0}^{t_i} E_{V2G}(t_i) \cdot \frac{100}{E_{bat}}$
...
$t_N = 9$	$P(t_N)$	$P_{V2G}(t_N) = P^* - P(t_N)$	$E_{V2G}(t_N) = P_{V2G}(t_N) \cdot (t_N - t_{N-1})$	$SOC(t_1) = 50 + \sum_{t_0}^{t_N} E_{V2G}(t_N) \cdot \frac{100}{E_{bat}}$

Una vez completada la Tabla 7.3 se puede encontrar el máximo y el mínimo del estado de carga durante esta iteración. A su vez, es necesario conocer el tiempo en el que ocurrió este máximo t_{max} o mínimo t_{min} , puesto que la formula (7.31) que ocuparemos mas adelante para calcular el estado de carga inicial optimo $SOC_{inicial}^*$ dependerá de si fue alcanzado primero durante la iteración el estado de carga mínimo o el máximo.

$$\begin{cases} SOC(t_{min}) = SOC_{min} = \min[SOC(t_i)] ; \forall t_i \in T_{V2G} \\ SOC(t_{max}) = SOC_{max} = \max[SOC(t_i)] ; \forall t_i \in T_{V2G} \end{cases} \quad (7.27)$$

Al comparar los estados de carga mínimo y máximo con la restricción de homogeneidad (7.22), vemos que, ∂_{SOC}^1 , la diferencia entre el valor del estado de carga mínimo y la cota inferior dada por la restricción, no es necesariamente igual al valor de ∂_{SOC}^2 , la diferencia entre el valor del estado de carga máximo y la cota superior dada por la restricción.

$$\begin{cases} \partial_{SOC}^1 = SOC_{min} - 40\% \\ \partial_{SOC}^2 = SOC_{max} - 60\% \end{cases} \quad (7.28)$$

Para que esta restricción (7.22) sea respetada, se debe encontrar el estado de carga optimo mínimo SOC_{min}^* y máximo SOC_{max}^* . Para ello, la diferencia entre los valores del estado de carga optimo mínimo y máximo en relación con la cota inferior y superior respectivamente debe ser idéntica ∂_{SOC}^* , donde

$$\partial_{SOC}^* = \frac{1}{2}[\partial_{SOC}^1 + \partial_{SOC}^2] \quad (7.29)$$

De esta forma tendremos finalmente los valores del SOC_{min}^* y SOC_{max}^* que cumplirán con la restricción de homogeneidad (7.22),

$$\begin{cases} SOC_{min}^* = 40\% - \partial_{SOC}^* \\ SOC_{max}^* = 60\% + \partial_{SOC}^* \end{cases} \quad (7.30)$$

Por último, con estos valores podremos calcular el estado de carga inicial optimo con el que debe llegar el vehículo al iniciar la jornada laboral en t_0 . Es importante recordar que los SOC_{min}^* y el SOC_{max}^* son alcanzados en los tiempos calculados previamente t_{min} y t_{max} respectivamente. Y que dependiendo de cual fue alcanzado primero variará el calculo del $SOC_{inicial}^*$, debido a que se ha cargado o descargado una mayor cantidad de energía para alcanzar en todo momento la potencia optima facturable P^* . Aplicando la formula (7.26) para los estados de carga óptimos mínimos y máximos tenemos que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } t_{min} < t_{max} \rightarrow SOC(t_{min}) = SOC_{min}^* = SOC_{inicial}^* + \sum_{t_0}^{t_{min}} E_{V2G}(t_i) \cdot \frac{100}{E_{bateria(max)}} \\ \text{Si } t_{min} > t_{max} \rightarrow SOC(t_{max}) = SOC_{max}^* = SOC_{inicial}^* + \sum_{t_0}^{t_{max}} E_{V2G}(t_i) \cdot \frac{100}{E_{bateria(max)}} \end{array} \right. \quad (7.31)$$

Finalmente obtenemos la formula (7.32) para calcular el estado de carga inicial optimo $SOC_{inicial}^*$ para aplicar la metodología cumpliendo con las restricciones [Cap7.3.3] para evitar la degradación de la batería.

$$SOC_{inicial}^* = \left\{ \begin{array}{l} SOC_{min}^* - \sum_{t_0}^{t_{min}} E_{V2G}(t_i) \cdot \frac{100}{E_{bateria(max)}} ; \text{ si } t_{min} < t_{max} \\ SOC_{max}^* - \sum_{t_0}^{t_{max}} E_{V2G}(t_i) \cdot \frac{100}{E_{bateria(max)}} ; \text{ si } t_{min} > t_{max} \end{array} \right. \quad (7.32)$$

Capítulo 8 : Implementación y resultados de la metodología

En este capítulo se implementará la metodología y se analizará su resultado para un caso teórico continuo y para un caso real discreto, este último siendo el caso de la investigación. Para ambos casos el perfil de consumo analizado está basado en la caracterización de la AgenciaSE luego de ser monitoreada por cinco meses [Cap5.3].

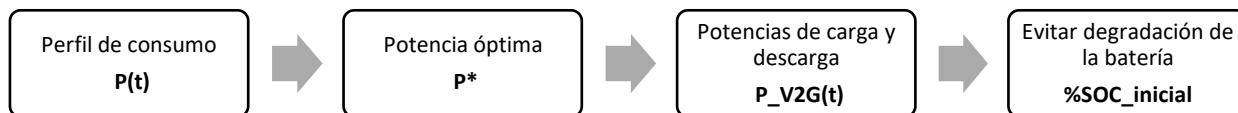


Figura 8.1: Esquema de la línea lógica de implementación de la metodología

La implementación de la metodología consiste en, ver Figura 8.1, determinar en primera instancia el perfil de consumo de la instalación para poder calcular la potencia óptima P^* del caso en el que se aplique. En segunda instancia, calcular $P_{V2G}(t)$ las potencias de carga y descarga que debe realizar el sistema V2G así asegurar que la potencia facturable sea constante durante el tiempo de evaluación. Luego se puede calcular el %SOC inicial necesario para realizar la operación evitando en el mayor grado posible la degradación de la batería.

8.1. Caso teórico continuo de la investigación

8.1.1. Implementación: Calcular P^* , $P_{V2G}(t)$

Para obtener el valor del P^* se calcula completando la Tabla 7.2, y aplicando la fórmula (7.20) obtenemos que $P^* = 11,8$ [kW].

Luego, para calcular las potencias de carga y descarga del V2G junto con la variación del estado de carga considerando que iniciamos con un $SOC_{inicial} = 50\%$, como indica la metodología en la Tabla 7.3, obtenemos los siguientes resultados, ver Tabla 8.1.

Tabla 8.1: Aplicación de la metodología en caso continuo

Horas del día	Potencia facturable [kW]	Potencia V2G [kW]	Energía V2G [kWh]	SOC [%]
09:00:00	13,463	-1,580	-0,395	49%
09:15:00	13,970	-2,087	-0,522	48%
09:30:00	13,889	-2,006	-0,502	46%
09:45:00	13,702	-1,819	-0,455	45%
10:00:00	13,461	-1,578	-0,394	44%
10:15:00	13,356	-1,473	-0,368	43%
10:30:00	12,859	-0,976	-0,244	43%
10:45:00	12,699	-0,816	-0,204	42%
11:00:00	12,680	-0,797	-0,199	42%
11:15:00	12,579	-0,696	-0,174	41%
11:30:00	12,403	-0,520	-0,130	41%
11:45:00	12,162	-0,279	-0,070	41%
12:00:00	12,109	-0,226	-0,057	41%
12:15:00	12,027	-0,144	-0,036	41%

12:30:00	11,725	0,158	0,040	41%
12:45:00	11,268	0,615	0,154	41%
13:00:00	11,520	0,363	0,091	41%
13:15:00	10,945	0,938	0,234	42%
13:30:00	10,769	1,114	0,279	43%
13:45:00	10,168	1,715	0,429	44%
14:00:00	9,664	2,219	0,555	45%
14:15:00	9,600	2,283	0,571	47%
14:30:00	9,863	2,020	0,505	48%
14:45:00	9,869	2,014	0,503	49%
15:00:00	10,186	1,697	0,424	50%
15:15:00	10,441	1,442	0,361	51%
15:30:00	10,555	1,328	0,332	52%
15:45:00	10,372	1,511	0,378	53%
16:00:00	10,043	1,841	0,460	54%
16:15:00	9,549	2,334	0,584	55%
16:30:00	9,604	2,279	0,570	57%
16:45:00	9,260	2,623	0,656	58%
17:00:00	9,096	2,787	0,697	60%
17:15:00	9,004	2,879	0,720	62%
17:30:00	7,966	3,917	0,979	64%
17:45:00	7,519	4,364	1,091	67%

Con esta información ya podemos definir el perfil de consumo de la implementación de la metodología indicando cuales serán las potencias de carga y descarga, ver Figura 8.2.

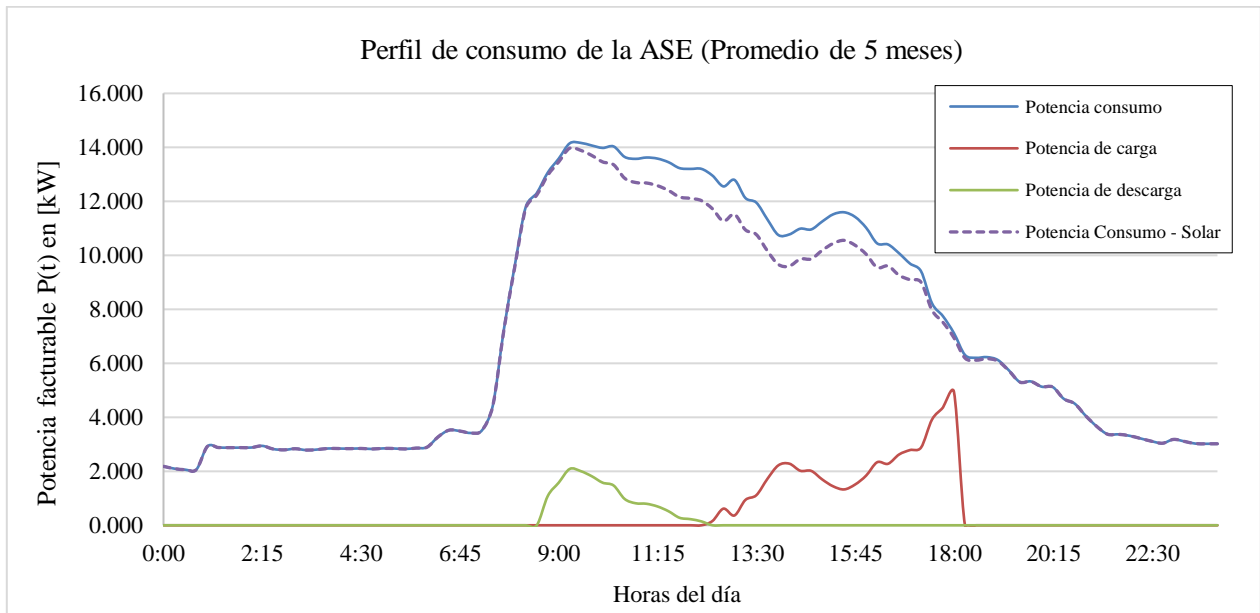


Figura 8.2: Perfil de consumo de la AgenciaSE para caso teórico continuo

En consecuencia, obtenemos la potencia facturada luego de la gestión energética realizada por el sistema V2G, ver Figura 8.3. Al ser este el caso teórico vemos que la potencia facturada es exactamente la misma que la potencia óptima P^* previamente calculada, en el intervalo horario correspondiente a la jornada laboral.

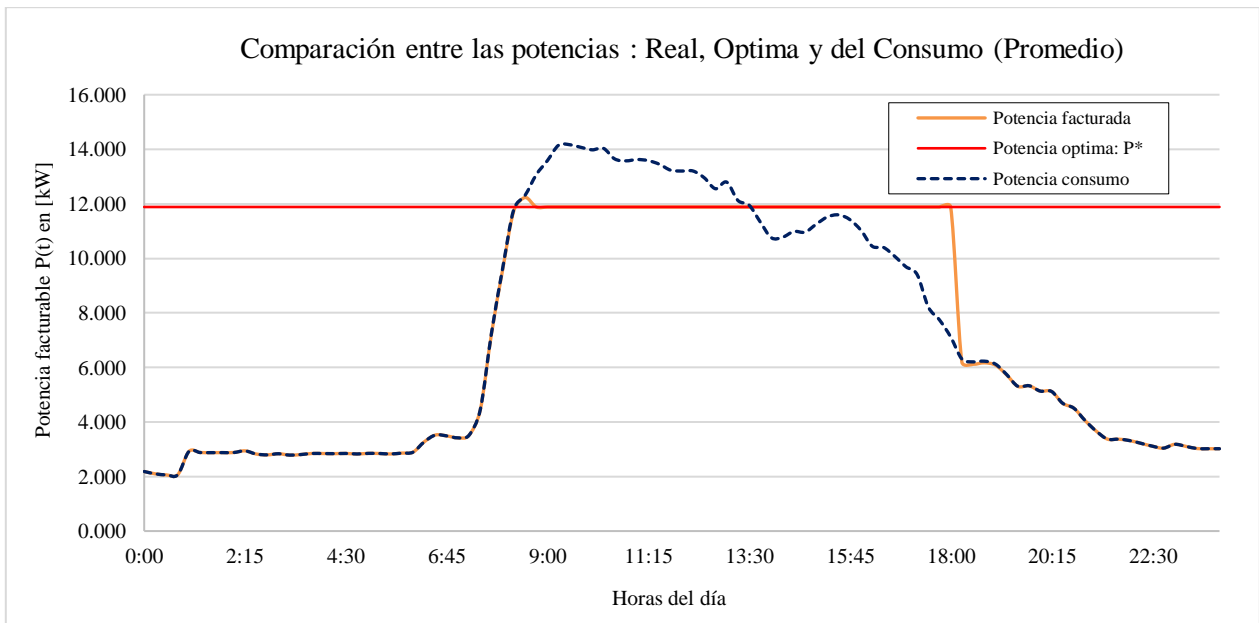


Figura 8.3: Comparación entre potencias en el caso teórico

Finalmente, para no degradar la batería tenemos que aplicar lo explicitado en [Cap7.5]. El detalle de estos cálculos se encuentra en [Anexo0].

Tabla 8.2: Resultados de la metodología de calculo del $SOC^*_{inicial}$ - Caso continuo

Ecuación (7.27)	%SOC	Ecuación (7.29)	%SOC	Ecuación (7.32)	%SOC
SOC_inicial	50%	d*_óptimo	3%	SOC*_inicial	46%
SOC_max	67%	d_max	7%	SOC*_max	63%
SOC_min	41%	d_min	-1%	SOC*_min	37%

Entonces, el resultado una vez aplicadas las ecuaciones correspondientes, ver Tabla 8.2, nos permiten obtener que el estado de carga inicial óptimo, $SOC^*_{inicial}$ para evitar la degradación de la batería (8.1).

$$SOC^*_{inicial} = 46\% \quad (8.1)$$

8.2. Caso real discreto de la investigación

8.2.1. Implementación: Definir P^* , $P_{v2g}(t)$ y $\%SOC_{inicial}$

Del perfil de consumo discreto promedio de la AgenciaSE, se obtiene aplicando la metodología, que P^* es 11,8 [kW], por lo que se puede definir sus potencias de carga y descarga necesarias a realizar por el sistema V2G.

Luego, para calcular las potencias de carga y descarga del V2G junto con la variación del estado de carga considerando que iniciamos con un $SOC_{inicial} = 50\%$, como indica la metodología en la Tabla 7.3, obtenemos los siguientes resultados, ver Tabla 8.3.

Tabla 8.3: Análisis energético del caso estudiado

Tiempo en[h]	Potencia facturable [kW]	Potencia del V2G [kW]	Energía del V2G en [kWh]	Estado de carga en [%]
$t_0 = 0$	13,5	0	0	50
$t_1 = 4$	13,5	-1,6	-6,6	34
$t_2 = 8$	11	1,9	7,4	52
$t_3 = 9$	7,5	4,6	4,6	64

Con esta información ya podemos definir el perfil de consumo de la implementación de la metodología indicando cuales serán las potencias de carga y descarga, ver Figura 8.4.

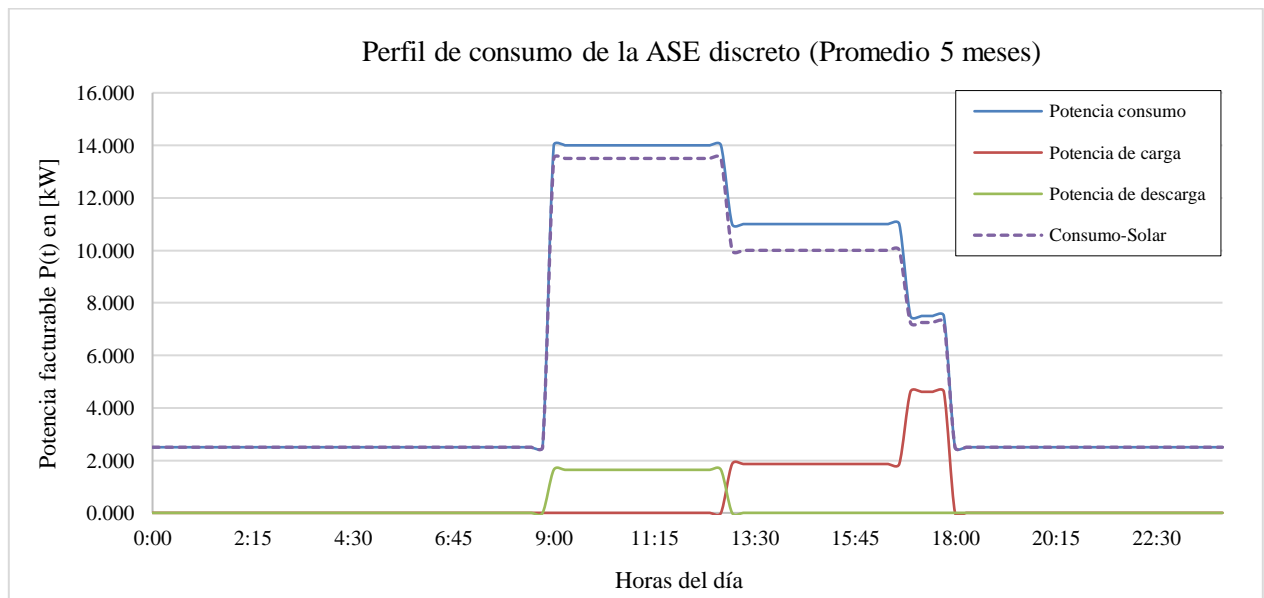


Figura 8.4: Perfil de consumo discreto para el caso real de la AgenciaSE

Finalmente, para no degradar la batería tenemos que aplicar lo explicitado en [Cap7.5]. El detalle de estos cálculos se encuentra en [Anexo0].

Tabla 8.4: Resultados de la metodología de calculo del SOC*_{inicial} - Caso discreto

Ecuación (7.27)	%SOC	Ecuación (7.29)	%SOC	Ecuación (7.32)	%SOC
SOC_inicial	50%	d*_óptimo	5%	SOC*_inicial	51%
SOC_max	64%	d_max	4%	SOC*_max	65%
SOC_min	34%	d_min	6%	SOC*_min	35%

Entonces, el resultado una vez aplicadas las ecuaciones correspondientes, ver Tabla 8.4, nos permiten obtener que el estado de carga inicial óptimo, SOC*_{inicial} para evitar la degradación de la batería (8.2).

$$SOC_{inicial}^* = 51\% \quad (8.2)$$

8.2.2. Resultado real de la implementación

Se implementaron las cargas y descargas planificadas en Tabla 8.3, para un perfil de consumo discreto, debido a las condiciones contextuales de [Cap0]. Por ende, las potencias consumidas, de generación solar, de carga y descarga, fueron distintos de lo planificado, ver Tabla 8.5.

Tabla 8.5: Potencias promedio en el horario de la jornada laboral

Horas del día	Potencia de consumo [kW]	Potencia de carga [kW]	Potencia de descarga [kW]	Potencia solar [kW]	Potencia facturada [kW]
09:00:00	16,23	0,03	0,00	0,17	16,09
09:15:00	15,82	0,03	0,53	0,25	15,07
09:30:00	16,44	0,03	1,66	0,38	14,42
09:45:00	15,69	0,02	1,96	0,51	13,24
10:00:00	16,44	0,02	2,11	0,72	13,64
10:15:00	17,39	0,02	2,14	0,94	14,33
10:30:00	17,32	0,02	2,15	1,09	14,10
10:45:00	16,23	0,02	2,11	1,22	12,93
11:00:00	16,55	0,02	2,10	1,31	13,16
11:15:00	15,22	0,02	2,59	1,39	11,25
11:30:00	15,78	0,02	2,78	1,45	11,56
11:45:00	15,77	0,02	2,75	1,49	11,55
12:00:00	15,31	0,02	2,75	1,52	11,06
12:15:00	15,48	0,03	1,69	1,63	12,18
12:30:00	15,69	0,03	0,52	1,71	13,49
12:45:00	13,97	0,03	0,51	1,79	11,70
13:00:00	13,43	3,72	0,01	1,77	15,37
13:15:00	9,60	12,33	0,00	1,64	20,29
13:30:00	9,18	14,52	0,00	1,64	22,06
13:45:00	9,48	13,67	0,00	1,62	21,52
14:00:00	12,62	11,77	0,00	1,51	22,88
14:15:00	15,67	7,81	0,00	1,63	21,85
14:30:00	17,39	5,27	0,00	1,56	21,10
14:45:00	18,04	3,73	0,00	1,52	20,25

15:00:00	17,33	2,14	0,00	1,48	17,99
15:15:00	17,37	0,99	0,00	1,50	16,87
15:30:00	17,50	0,40	0,00	1,44	16,45
15:45:00	16,42	0,06	0,00	1,46	15,03
16:00:00	15,78	0,03	0,28	1,36	14,17
16:15:00	15,56	0,03	0,00	1,24	14,35
16:30:00	15,54	0,03	0,00	1,11	14,46
16:45:00	12,14	0,03	0,00	1,13	11,04
17:00:00	10,85	0,03	0,00	0,83	10,05
17:15:00	10,37	0,03	0,00	0,56	9,84
17:30:00	9,19	0,03	0,00	0,36	8,87
17:45:00	8,61	0,03	0,00	0,31	8,33
18:00:00	8,42	0,03	0,00	0,24	8,21

La operación real del sistema consiste 10 días de correcta implementación de las cargas y descargas planificadas, las que están en detalle en [Anexo0]. Para realizar la evaluación tomaremos el perfil de consumo promedio de los 10 días, ver Figura 8.5.

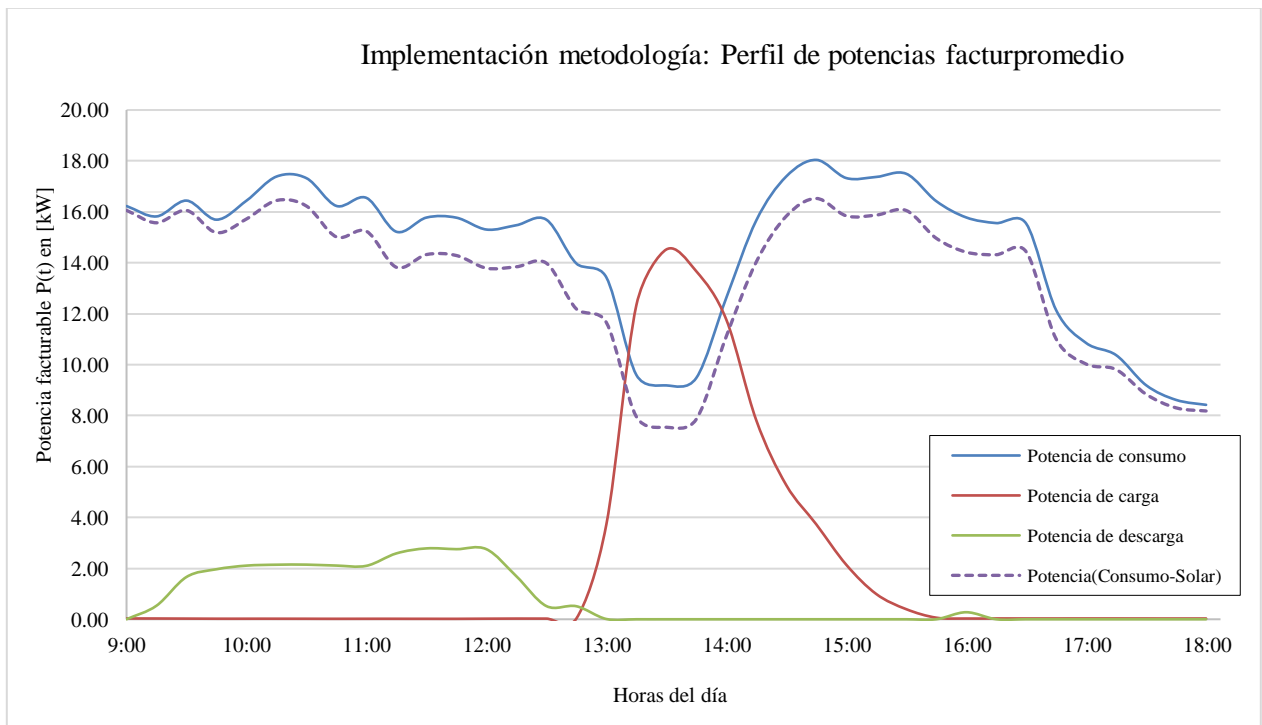


Figura 8.5: Caracterización del perfil del consumo (Promedio 10 días)

El hecho de que la infraestructura de carga bidireccional V2G cargue el vehículo siempre a la potencia máxima, independiente de la potencia que se indique en la configuración de este, provoca la principal diferencia entre la potencia facturada y la potencia optima P^* calculada, ver Figura 8.6.

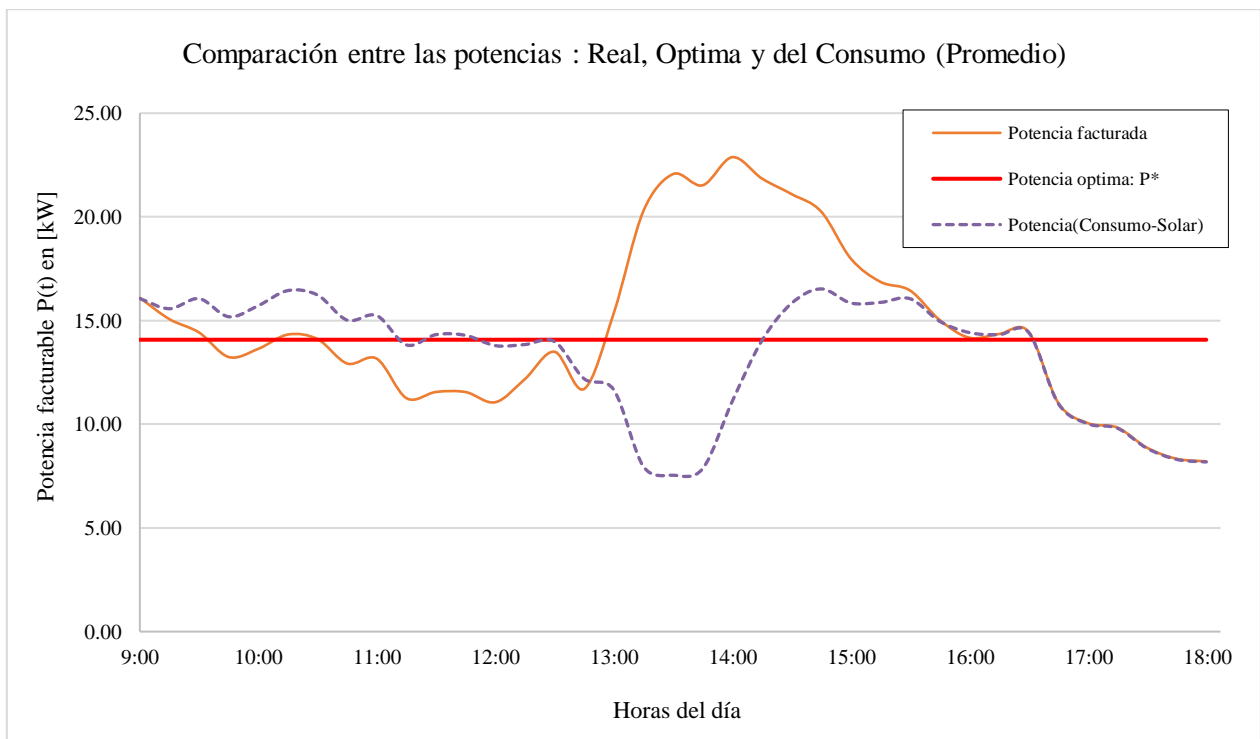


Figura 8.6: Comparación de las potencias (Promedio de 10 días)

Capítulo 9 : Economía del V2G

9.1. Economía del caso de investigación

La evaluación económica se realiza en tres partes, los resultados esperados y reales obtenidos seguido de un análisis de sensibilidad respecto a el precio unitario de la potencia en horario valle y la distancia necesaria para realizar la ruta Casa-Trabajo-Casa.

- Basado en lo supuestos iniciales del caso de investigación, el propietario del vehículo debe disponer de una cantidad de energía mínima al finalizar la jornada laboral. Lo cual incurre en un costo para el empleador.
- El recorrido de la ruta determina la energía necesaria para su realización, lo a su vez define la potencia optima P^* que luego será facturada, tal como lo muestra la ecuación (5.1).
- El precio unitario de los cargos por potencia determina el potencial económico, debido a que la disminución de la potencia facturada es la que genera el potencial ahorro.

Tabla 9.1: Características del caso de investigación para análisis económico

Características del problema						
Energía Baterías	Rendimiento del VE	Ruta	Energía ruta	Horas disponibles	Días disponibles	Vehículo eléctrico
kWh	km/kWh	km	kWh	hora	días	
40	5,5	30	5,45	9,00	20,00	Nissan leaf

Para la evaluación económica, incluimos en la ecuación (5.4) las constantes obtenidas por el pliego tarifario en la Tabla 5.2, obteniendo la ecuación (9.1) con la que podremos calcular los ahorros generados.

$$C_{mes} = E_{consumida} \cdot 74,33 + P_{valle} \cdot 4119,01 + P_{punta} \cdot 8985,81 + 656,5 \quad (9.1)$$

Debido a que la tarifa en cuestion BT4.3 no considera una variación del precio unitario de compra y venta de energía según la zona horaria [Cap5.1.3] no podemos realizar una compra/venta de energía, entonces realizamos una disminución en el uso de potencia. El ecuación de la economía del V2G (9.2) lo determinará entonces los costos por energía del V2G, que corresponde a la diferencia entre la energía carga y descargada E_{V2G} y los ahorros generados por la disminución por potencia.

$$Econo_{V2G} = P_{ahorrada}[kW] \cdot 4119,01 \left[\frac{CLP}{kW} \right] - E_{V2G}[kWh] \cdot 74,33 \left[\frac{CLP}{kWh} \right] \quad (9.2)$$

9.1.1. Resultado esperado del caso en la AgenciaSE

El perfil de consumo esperado luego de la implementación de la metodología al cumplir con las condiciones explicadas previamente [Cap6.2], tiene la característica de que la potencia optima P^* es exactamente la potencia máxima leída, la cual será la potencia facturada en Figura 9.1.

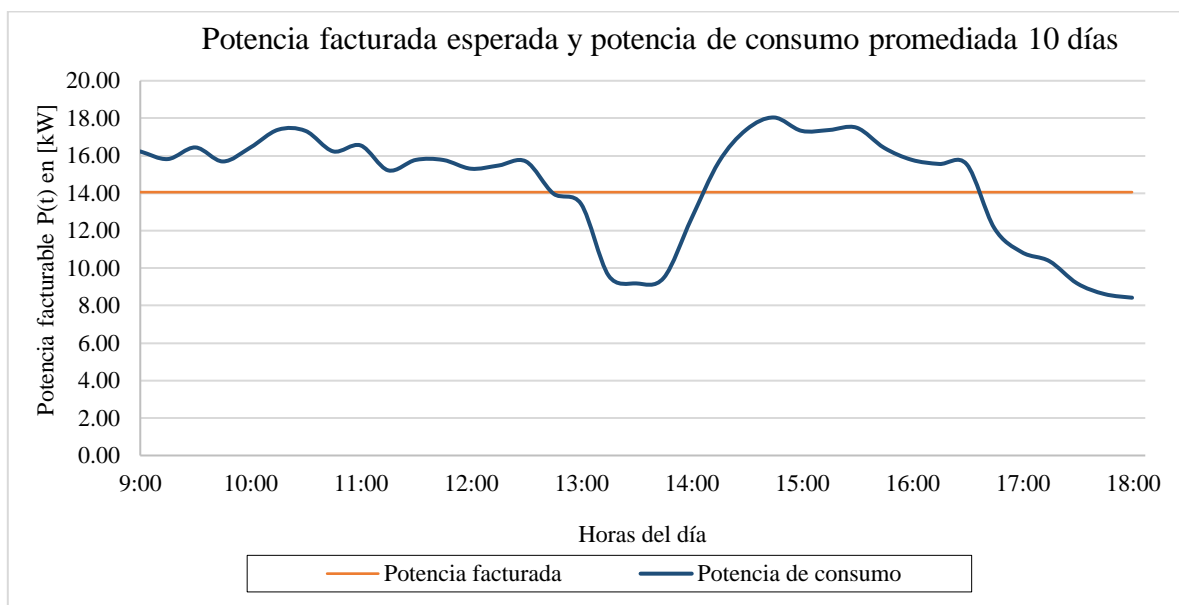


Figura 9.1: Comparación de potencias facturada esperada y consumida

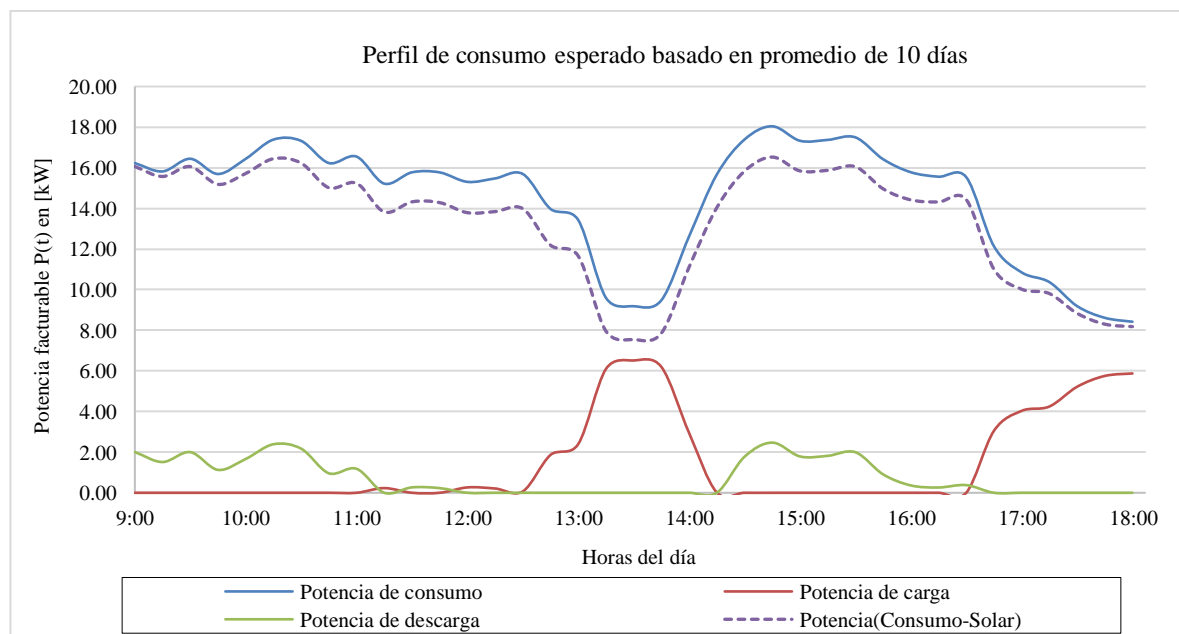


Figura 9.2: Perfil de consumo esperado basado promedio de 10 días

Al contar con el perfil de consumo, podemos obtener los valores de potencias y energías necesarias para realizar el análisis económico dadas por Tabla 9.2, el detalle de las potencias en [Anexo0].

Tabla 9.2: Potencias y energía esperadas del caso

Potencia	[kW]	Energía	[kWh]
Máxima Carga	6,51	Cargada	12,28
Máxima Descarga	2,47	Descargada	6,82
Máxima Consumo	18,04	Energía V2G	5,45
Máxima facturada	14,05	Solar producida	10,87
Ahorrada	3,99	Consumida ASE	133,96

De la ecuación (9.2) e integrando los valores de la tabla obtenemos el beneficio mensual esperado

$$Econo_{V2G} = 3,99[kW] \cdot 4119,01 \left[\frac{CLP}{kW} \right] - 5,45[kWh] \cdot 74,33 \left[\frac{CLP}{kWh} \right] = 8310 \left[\frac{CLP}{mes} \right] \quad (9.3)$$

9.1.2. Resultado real del caso en la AgenciaSE

El perfil de consumo en horario laboral real obtenido luego de la implementación de la metodología evidencia los principales problemas enunciados previamente [Cap6.2], donde el que tiene un mayor impacto en los resultados es no poder programar cargas del vehículo a diferentes potencias.

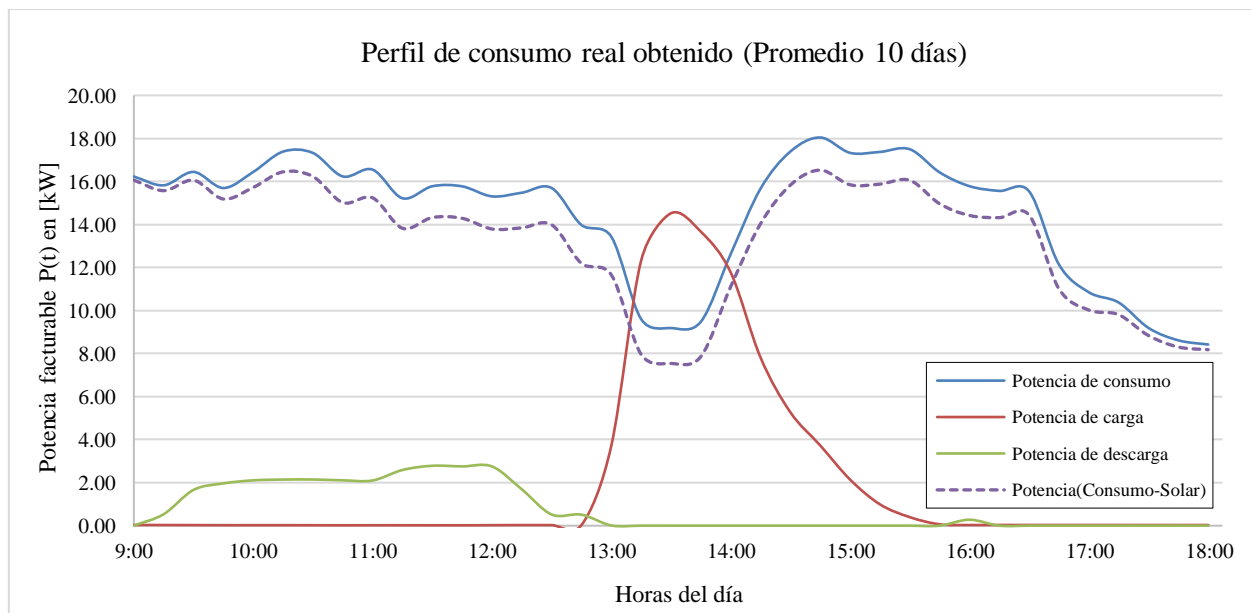


Figura 9.3: Perfil de consumo real obtenido promedio de 10 días

Esta limitante técnica condiciona en gran medida el potencial económico de la metodología, ver Figura 9.4, debido a que la potencia facturada es mayor a la potencia consumida por la ASE, y a su vez es mayor que la potencia óptima P^* . Estos valores se encuentran en detalle en [Anexo0].

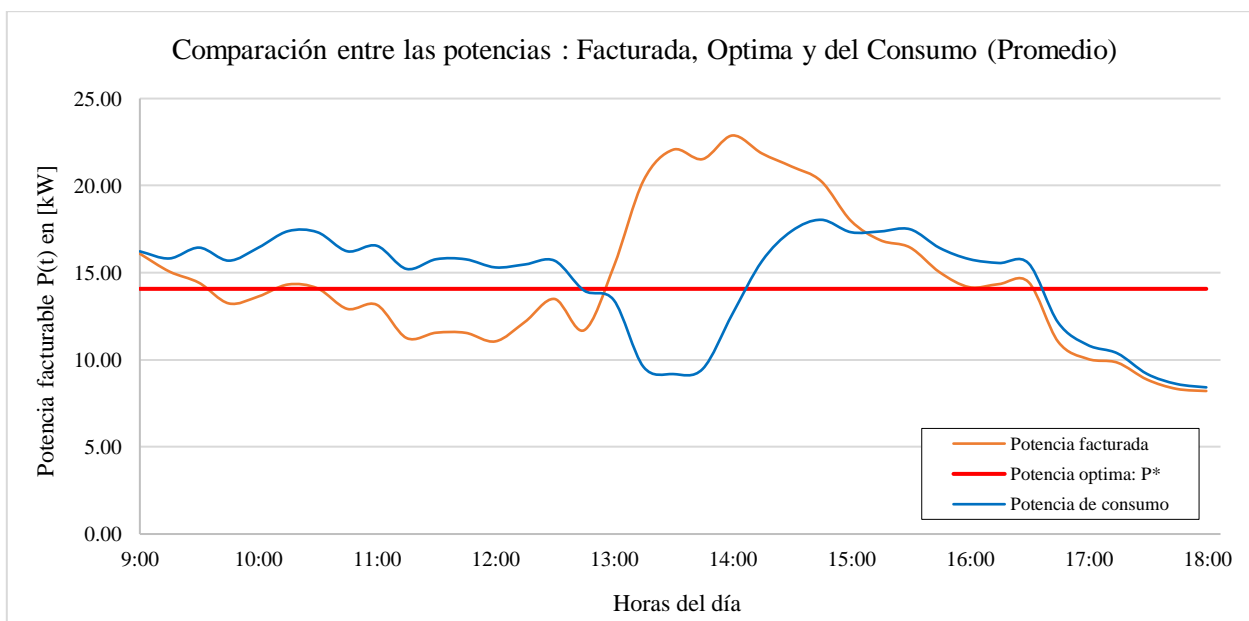


Figura 9.4: Comparación entre las potencias reales promedio de 10 días

Las potencias y energías consumidas determinan entonces el potencial económico de la aplicación real de la metodología, ver Tabla 9.3. En este caso, la potencia facturada es mayor a la potencia consumida entonces no se genera un ahorro. La potencia facturada aumentó en 4,84 [kW] lo que se traduce en un aumento de 20.834 [CLP] al mes.

Tabla 9.3: Potencias y energías reales del caso

Potencia	[kW]	Energía	[kWh]
Máxima Carga	14,52	Cargada	19,26
Máxima Descarga	2,78	Descargada	7,16
Máxima Consumo	18,04	Energía V2G	12,09
Máxima facturada	22,88	Solar	10,87
Ahorrada	-4,84	Consumida ASE	133,96

Finalmente, reemplazando los valores de la Tabla 9.3 en la ecuación (9.1) que permite calcular e ahorro mensual generado obtenemos un resultado negativo(9.4). Entonces no se redujo el cobro si no se aumento en 20.834 [CLP] mensuales.

$$Econo_{V2G} = -4,84[kW] \cdot 4119,01 \left[\frac{CLP}{kW} \right] - 12,09[kWh] \cdot 74,33 \left[\frac{CLP}{kWh} \right] = -20834 \left[\frac{CLP}{mes} \right] \quad (9.4)$$

9.2. Análisis de sensibilidad del caso de investigación

Para la realización de este análisis de sensibilidad se debe recurrir al caso de teórico de la implementación de la metodología, debido a que de esta manera es posible variar el kilometraje de la ruta Casa-Trabajo-Casa, km_{ruta} y los cargos por potencia en horario valle, CP_{valle} . Es necesario comprobar que efectivamente la fórmula del ahorro (9.3) depende de distancia de la ruta mediante las ecuaciones (7.1),(7.2),(7.10) y (7.20) como muestra (9.5).

$$Econo_{V2G}(E_{V2G}) \rightarrow E_{V2G}(P^*) \rightarrow P^*(E_{ruta}) \rightarrow E_{ruta}(km_{ruta}) \quad (9.5)$$

En concordancia, la función objetivo es el potencial ahorro a generar mediante la implementación de la metodología en un contrato tarifario BT4.3.

$$Econo_{V2G} = E_{V2G}(km_{ruta})[kWh] \cdot 74,33 \left[\frac{CLP}{kWh} \right] + P_{ahorrada}[kW] \cdot C_{P_{valle}} \left[\frac{CLP}{kW} \right] \quad (9.6)$$

La evaluación se realiza para km_{ruta} entre [10 ; 110] kilómetros y para CP_{valle} entre [1000 ; 8989] CLP por kilowatts de potencia consumida, siendo su cota superior el cargo por potencia del horario punta en el contrato BT4.3.

Tabla 9.4: Resultado del análisis de sensibilidad

		Cargos por potencia en horario valle en [CLP/kW]					
		1.000	2.000	4.119	6.000	8.000	8.986
Ruta Casa-Trabajo-Casa en [km]	10	\$1.687	\$6.077	\$15.380	\$23.638	\$32.419	\$36.747
	30	-\$4.123	-\$136	\$8.310	\$15.808	\$23.781	\$27.710
	50	-\$9.932	-\$6.350	\$1.240	\$7.978	\$15.142	\$18.674
	70	-\$15.742	-\$12.564	-\$5.830	\$148	\$6.504	\$9.637
	90	-\$21.552	-\$18.778	-\$12.900	-\$7.682	-\$2.134	\$601
	110	-\$27.362	-\$24.992	-\$19.970	-\$15.512	-\$10.772	-\$8.436

De esta manera podemos comparar la combinación más favorable y desfavorable económicamente, estos escenarios serían $(km_{ruta}, CP_{valle})=(10,8986)$ y $(km_{ruta}, CP_{valle})=(110,1000)$ respectivamente.

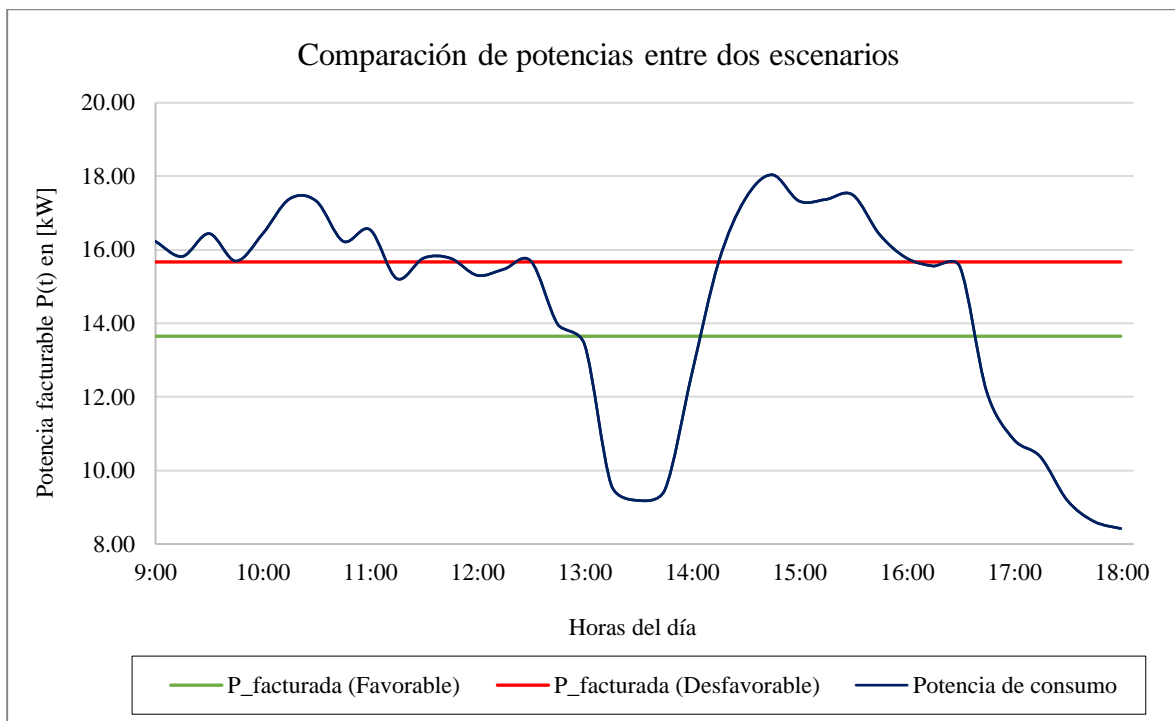


Figura 9.5: Comparación entre escenario favorable y desfavorable

La diferencia entre estos dos escenarios queda retratada por figura, donde la diferencia de potencia facturada es del 2.02 [kW], lo que significa una diferencia de 64.109 CLP mensuales.

Capítulo 10 : Conclusiones

Lo primero que se puede concluir es que el sistema V2G instalado en la AgenciaSE permite gestionar la energía de sus instalaciones mediante el uso de la energía almacenada en el vehículo eléctrico. Esta aceveración se desprende de que se ha construido una metodología de operación capaz de integrar la necesidad energética de la agencia, el vehículo eléctrico y los paneles fotovoltaicos. En consecuencia, la operación del sistema V2G está condicionada por las capacidad técnicas y económica de los componentes.

Desde lo económico, la operación del sistema V2G dependera principalmente del regulación tarifaria contratada y de la degradación del banco de baterías. El contrato eléctrico BT4.3 con el que cuenta la Agencia, es el único en baja tensión que nos permite generar un beneficio mediante la disminución de la potencia máxima consumida. Contrato que a su vez tiene precios diferenciados entre los horarios dentro y fuera de punta, lo que supone para este caso una ventaja, pues la gestión energética es realizada durante la jornada laboral, es decir, sólo en horario valle o fuera de punta. La degradación de la batería es el elemento que une lo técnico y lo económico, debido a que este es el principal activo físico y de mayor valor de un vehículo eléctrico, por lo es valido considerar su degradación como la depreciación acelerada del principal activo del VE. Si bien no se simula la degradación que generaría la operación del sistema V2G la metodología puede disminuir su la degradación debido a que el banco de baterías opera siempre dentro de los parametros recomendados. Por último, la degradación generada equivale a una perdida de valor del activo para el propietario del vehículo, por lo que es compensada mediante una carga gratis diaria. En el ambito técnico, la gestión energética está sujeta a la capacidad máxima y vida util de la batería por lo tanto de gran importancia. Desde lo técnico, la operación del sistema V2G dependerá de los perfiles de consumo de la Agencia, de la potencia instalada de los paneles fotovoltaicos y de los estados de carga del vehículo eléctrico. El perfil de consumo es la base sobre la cual se realiza la gestión energética puesto que se debe intercalar entre cargas y descargas dependiendo de los consumos horarios. El panel fotovoltaico mediante la generación solar producida por los paneles es absorbida como autoconsumo lo que ayuda a disminuir las potencias máximas facturadas al integrarlo a un sistema V2G. Debido a que esta energía puede ser distribuida durante el día independientemente de cuando fue generada.

Los resultados obtenidos en esta investigación son producto de la aplicación de la metodología creada para este contexto específico, que es su implementación en la AgenciaSE. Sin embargo, la metodología fue creada para integrarla en otras aplicaciones bajo supuestos similares en los que se quiera generar un beneficio económico mediante la disminución de cobros por potencia. Luego de la aplicación de la metodología no se generaron beneficios económicos para la AgenciaSE por dos motivos. El primero porque no era posible regular la potencia de carga del sistema V2G, entonces al cargar siempre a potencia máxima producía un aumento significativo en los consumos lo que se tradujo en un aumento de la factura al final del mes de 20.800 [CLP]. El segundo es el contexto de implementacion donde el contrato eléctrico BT4.3 obligaba a que el VE estuviese conectado todos los días a la misma hora inyectando exactamente la misma cantidad de energía.

Se concluye que el potencial económico del sistema V2G aumenta al cumplir los siguientes dos escenarios: (1) Contar con un sistema de comunicación capaz de controlar las cargas y descargas del vehículo eléctrico a medida que cambien los consumos de la instalación; y (2) una tarifa

eléctrica especializada para los sistemas V2G en el que puedas generar un beneficio por potencia (como lo es el caso de la BT4.3) pero también puedas generar un beneficio por energía.

En síntesis, para generar un beneficio económico mediante un sistema V2G es fundamental comprender el contexto técnico de su implementación y de definir los actores a los cuales se les busca beneficiar. Por lo que las principales condiciones son: El perfil de consumo, las características del VE, las características de la infraestructura bidireccional, el contrato eléctrico, las horas de operación, la degradación de la batería y la capacidad de comunicación entre el vehículo, el V2G y la red.

10.1. Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro, a continuación, se presentan posibles mejoras que presenta la metodología implementada y otras dimensiones de análisis que no se han abordado en este trabajo:

- Modificar el planteamiento de la implementación realizada de discreta a continua, analizando con mayor exactitud la variación de los perfiles de consumo.
- Aplicar la metodología diariamente durante un mes para evidenciar un beneficio económico real en la factura de energía a fin de mes.
- Simular los casos mediante un modelamiento matemático que incluya la degradación de la batería y así cuantificar el impacto real generado por su operación en un sistema V2G, estimando su vida útil para poder monetizar de manera clara la degradación.
- Modificar la metodología considerando que hay más de un vehículo, y analizar como afecta esto al intercambio energético considerando que se podría realizar el intercambio energético de vehículo a vehículo (V2V).
- Aplicar y considerar modificar la metodología para su implementación otros contratos eléctricos en alta tensión y también para cliente no regulados. Para comprender las restricciones a las que está sujeto el sistema V2G en otros ámbitos y poder unificar los parámetros.
- Generar un modelo de negocio que incluya a todos los actores de la evaluación económica junto con los costos totales de implementación del proyecto. Para poder realizar un análisis económico en el horizonte temporal de la vida útil de los componentes.
- Analizar la estabilidad del sistema al desconectarse de la red (off-grid), estimando la cantidad de vehículos necesario para ello, la interacción con la planta fotovoltaica y realizar pruebas bajo distintos escenarios, como la posibilidad de tener un consumo mayor a la energía entregada por el sistema V2G.
- Continuar con la simulación en HomerEnergy para determinar la cantidad de vehículos necesarios para funcionamiento desconectado de la red (off-grid) y realizar análisis económicos mediante esta herramienta, en la que se puede variar la tarificación de la energía [Anexo G].

Capítulo 11 : Bibliografía

- Kunz, J. (2012). CIFE Research Question And Methods. Obtenido de <http://web.stanford.edu/class/cee320/CEE320B/ResMethods2013.pdf>
- Kempton et al, W. (2008). Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G.
- Steward, D. (2017). Critical Elements of Vehicle to Grid (V2G) Economics. Berkeley: National Renewable Energy Laboratory.
- Shafiei et al, E. (2012). An agent-based modeling approach to predict the evolution of market share of electric vehicles: A case study from Iceland.
- FLORES, M. I. (2016). Determinación de indicadores de estado de salud de baterías de ion-litio, mediante el uso de espectroscopia de impedancia electroquímica y caracterización del término de la vida útil basado en la generación de calor dada por la impedancia interna. Santiago: Universidad de Chile, FCFM.
- www.nissan.cl. (12 de Marzo de 2020). Obtenido de Nissan Intelligent Movility Chile : <https://www.nissan.cl/vehiculos/nuevos/nissan-leaf/caracteristicas.html>
- Noel et al, L. (2019). Vehicle to grid - A sociotechnical transition beyond electric mobility. Londres: University of stirling.
- (Noviembre de 2019). Obtenido de Plataforma WenuWork: <https://wenuwork.cl>
- Biblioteca del congreso nacional de chile. (Enero de 2020). Obtenido de Biblioteca nacional: <http://bcn.cl/2clat>
- SEC, S. (2003). NCH Elec. 4/2003 : Instalaciones de consumo baja tensión. Santiago.
- Energía abierta. (Marzo de 2020). Obtenido de Energía Abierta: <http://energiaabierta.cl/catalogo/balance-energetico/>
- Energía Abierta. (Enero de 2020). Obtenido de Energía Abierta: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/>
- Tomic, J. (2005). Vehicle to grid power implementations: From stabilizing the grid to supporting large scale renewable energy. Journal of power sources.
- Clement-Nyns, K. (2009). The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid. IEEE Transactions on Power Systems.
- U.S. Department of Energy, V. T. (2015). Costs Associated With Non-Residential Electric Vehicle Supply Equipment. New West Technologies.
- Yamileth, N. (2017). Estudios estratégicos del sector energético. Zaragoza: Martinez Editorial.
- Richardson, D. (2013). Encouraging vehicle-to-grid (V2G) participation through premium tariff rates. Journal source of power.

- Sarabi, S. (2016). Contribution du Vehicle-to-Grid (V2G) à la gestion énergétique d'un parc de Véhicules Électriques sur le réseau de distribution. HAL archives-ouvertes.fr.
- Uddin, K. (2017). On the possibility of extending the lifetime of lithium-ion batteries through optimal V2G facilitated by an integrated vehicle and smart-grid system. Elsevier.
- commission, E. (27 de Marzo de 2019). Understanding degradation of battery life-time is key to successful vehicle-to-grid systems. Science for environnement.
- Pliego Tarifario, E. (2020). www.enel.cl. Obtenido de ENEL: <https://www.enel.cl/content/dam/enel-cl/es/personas/informacion-de-utilidad/tarifas-y-reglamentos/tarifas/tarifas-vigentes/vigentes/Tarifas%20Suministros%20Clientes%20Regulados%20-%20Abril%202020.pdf>
- Henriquez S., D. (2010). Evaluación de costos de tarifas electricas BT - MT. Santiago: Universidad de Santiago de Chile.
- Department of Energy, U. (2011). Advanced Vehicle Testing – Beginning-of-Test Battery Testing Results - Nissan Leaf. Renewal efficiency & renewal energy.

Anexo A: Código del tratamiento de datos con Python

```
#Importamos la librería necesaria

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import datetime
-----

#Leer y explorar datos

dump_consumo = pd.read_excel("./Medicion-2-ASE.xlsx", sheet_name=1)
dump_generacion = pd.read_excel("./Medicion-2-ASE.xlsx", sheet_name=2)

#Visualización y verificación de los data frames

dump_consumo.head()
dump_generacion.head()
print(dump_consumo.shape, dump_generacion.shape)
-----

#Realizar modificaciones de los data frames

# Se recuperan las filas necesarias y se juntan en una sola tabla

# Recover consumption elements
new_dump = dump_consumo[1:]
new_dump = new_dump.drop('Unnamed: 3',axis=1)
new_dump.columns = ['Fecha / hora', 'Consumo: Energia total consumida [kWh]','Consumo: Potencia activa promedio [kW]']

# Recover generation elements
tmp_df = dump_generacion[1:]
tmp_df.columns = ['Fecha / hora', 'Generacion: Energia total consumida [kWh]','Generacion: Potencia activa promedio en consumo [kW]']
tmp_df = tmp_df.drop('Fecha / hora', axis=1)

# Merge data
new_dump = pd.concat([new_dump,tmp_df],axis=1)
new_dump.head()
```

```

#Explorar y corregir los datos

#se comprueba el estado inicial de los datos y se corrige para realizar calculos pertinentes

new_dump.isnull().sum()
new_dump.dtypes

def set_to_float(row):
    try:
        return float(row.replace(',','.'))
    except:
        return float(row)

key_list = ['Consumo: Energia total consumida [kWh]','Consumo: Potencia activa promedio [kW]',
            'Generacion: Energia total consumida [kWh]','Generacion: Potencia activa promedio en consumo [kW]']

new_dump['Fecha / hora'] = pd.to_datetime(new_dump['Fecha / hora'])
for key in key_list:
    new_dump[key] = new_dump[key].apply(lambda row: set_to_float(row))

new_dump.dtypes

#
new_dump['Balance energético Ebalance'] = new_dump.apply(lambda row:
    row['Consumo: Energia total consumida [kWh]'] - row['Generacion: Energia total consumida [kWh]'], axis=1)
new_dump.head()
new_dump.isnull().sum()

#Obtener los resúmenes diarios

average_15min = new_dump.set_index('Fecha / hora').resample('15min').mean()

# Check that averages are not null
average_15min[average_15min['Generacion: Energia total consumida [kWh]'] != 0].count()
# Save data
average_15min.to_excel("./average_15min_mayo.xlsx")

```

```

#Obtener los perfiles diarios de consumo
#Se crean funciones para obtener un resumen en el periodo definido.

def put_in_profile(row, col, d):
    t = row.name.time().strftime("%H:%M")
    if t in d:
        d[t].append(row[col])
    else:
        d[t] = [row[col]]

def get_profile_in_range(df, start, end, show_date):
    """ Params:
    - df: dataframe to inspect
    - start: datetime object with start_date
    - end: datetime object with end_date
    - show_date: date (string) to display on graph """
    work_data = df[start:end]

    # Mes de Julio con periodos de 15 min
    all_columns = {'Fecha / hora': pd.date_range(show_date, freq='15min', periods=4*24)}
    for colname in df.columns:
        print(colname)
        # Create temporal memory for average computing
        save_t = dict()
        """por cada fila aplica la funcion tengo una memoria en forma de dict save_t
        put_in_profile [00:15] <- 0.23123
        [00:15] : [0.23232,0.2323,...] """
        work_data.apply(lambda row: put_in_profile(row,colname,save_t),axis=1)

        # Get averages using numpy arrays
        for key in save_t:
            save_t[key] = np.array(save_t[key]).mean()

        # Sort keys
        keys = [key for key in save_t]
        keys.sort()

        # Put column
        all_columns[colname] = [save_t[key] for key in save_t]

    # Create final datadrame
    profile = pd.DataFrame(all_columns)
    profile = profile.set_index('Fecha / hora')

    return profile
average_15min.head()

```

Anexo B: Resultados de la metodología implementada de Mayo a Septiembre

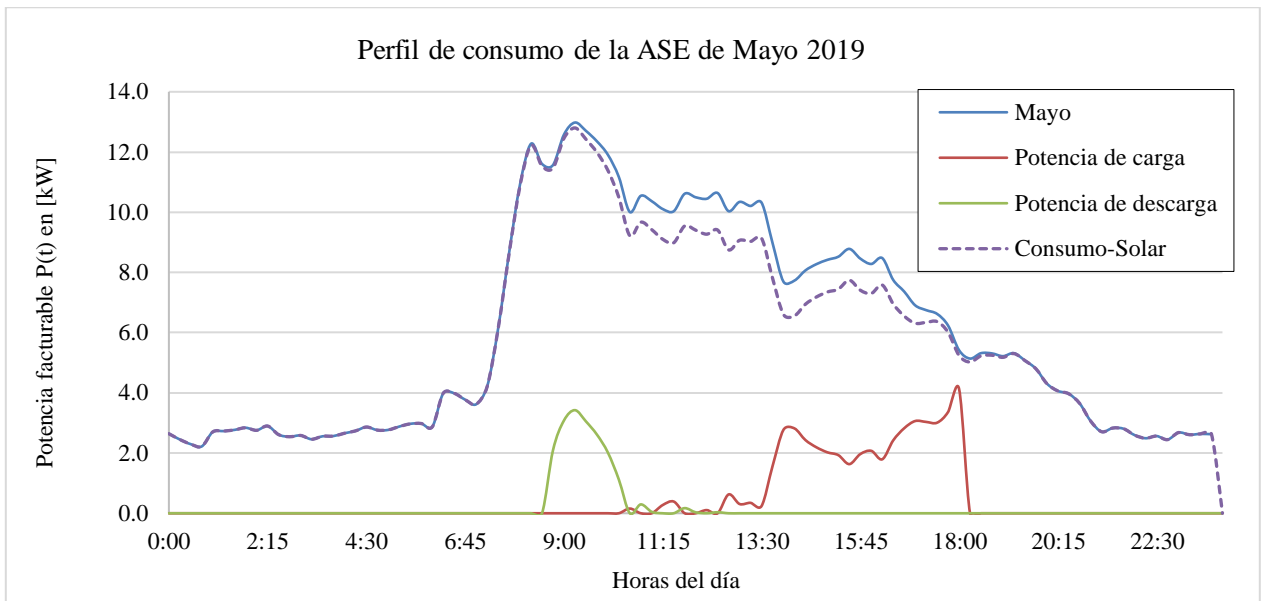


Figura 11.1: Resultado de Mayo - Perfil de consumo y potencias del V2G

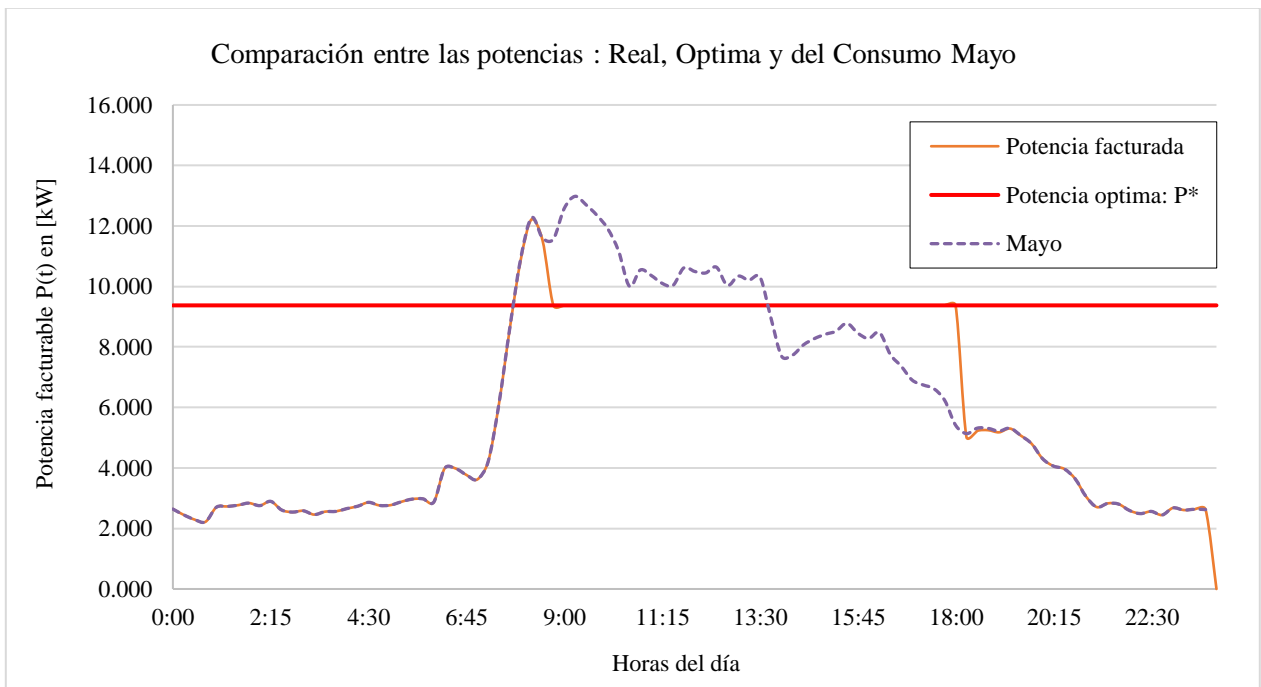


Figura 11.2: Resultado Mayo - Comparación entre potencia facturable y optima P^*

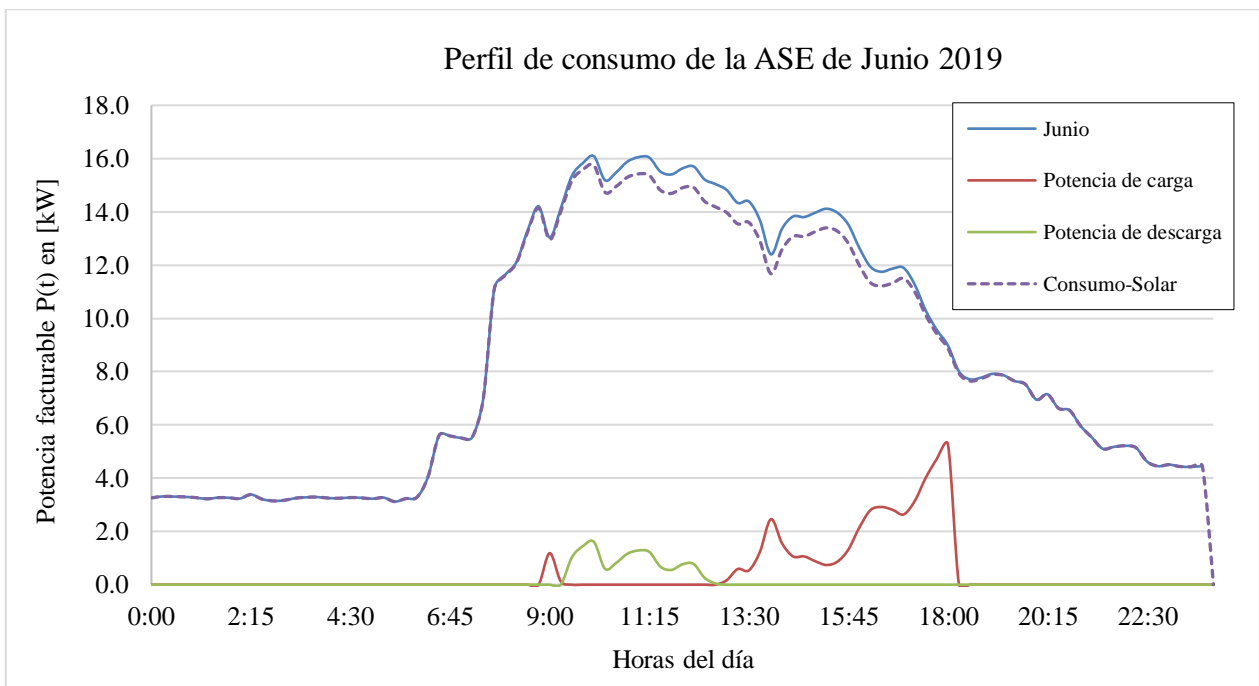


Figura 11.3: Resultado de Junio - Perfil de consumo y potencias del V2G

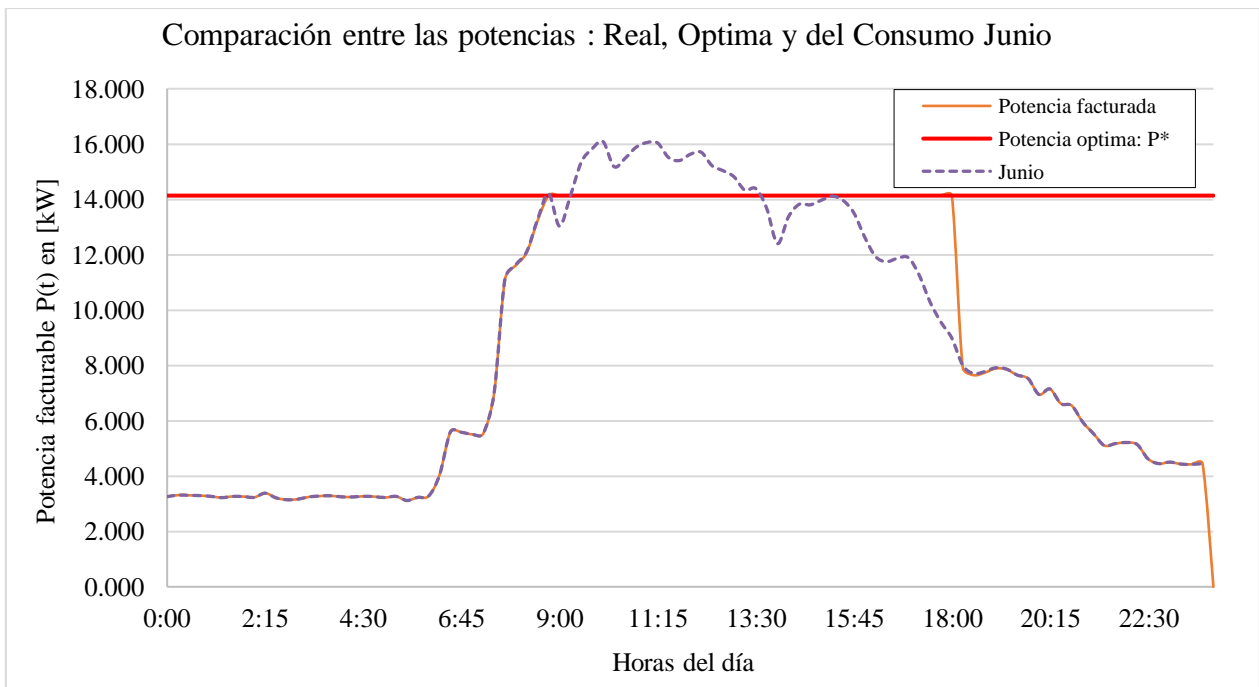


Figura 11.4: Resultado Junio - Comparación entre potencia facturable y optima P*

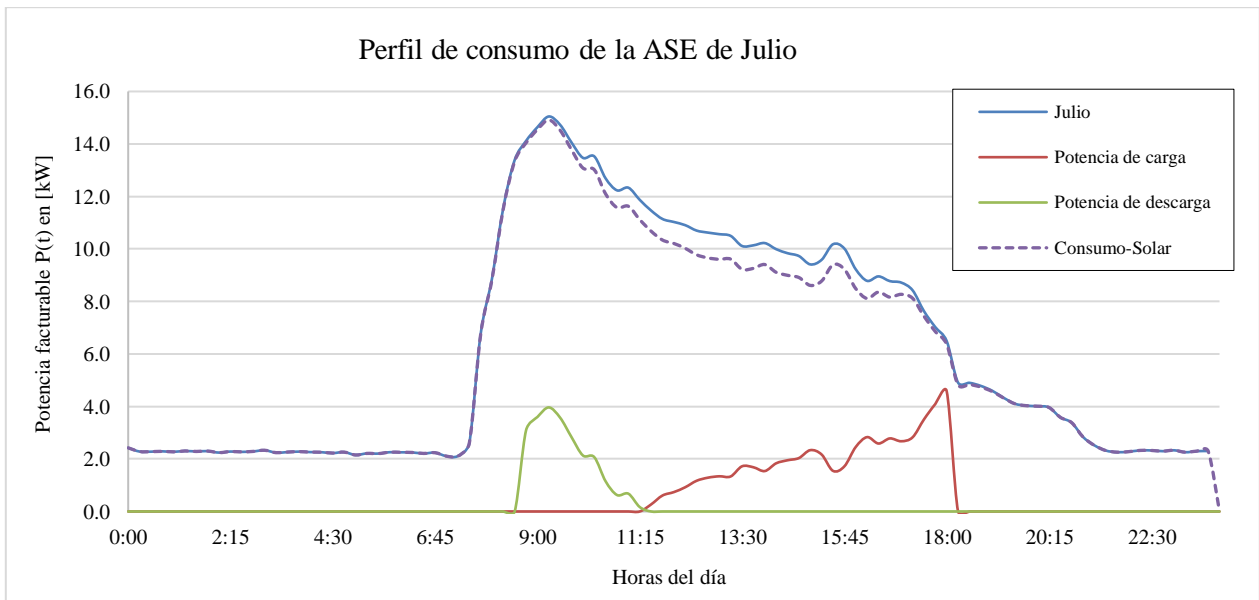


Figura 11.5: Resultado de Julio - Perfil de consumo y potencias del V2G

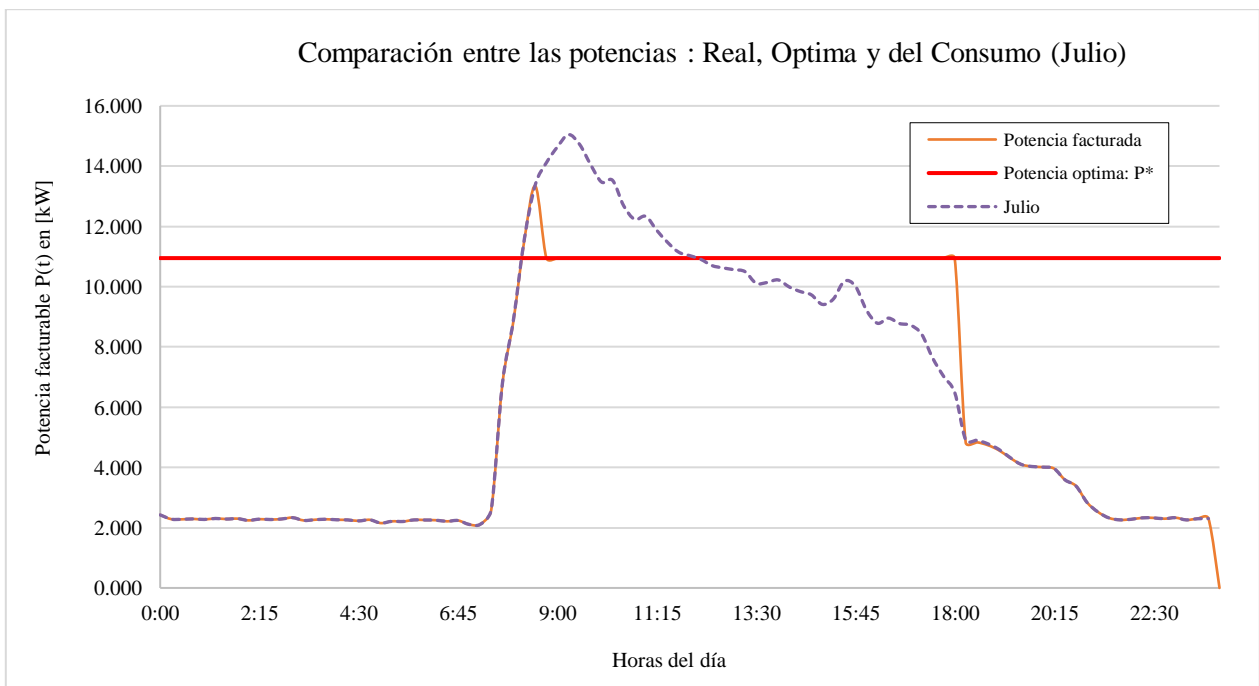


Figura 11.6: Resultado Julio - Comparación entre potencia facturable y optima P*

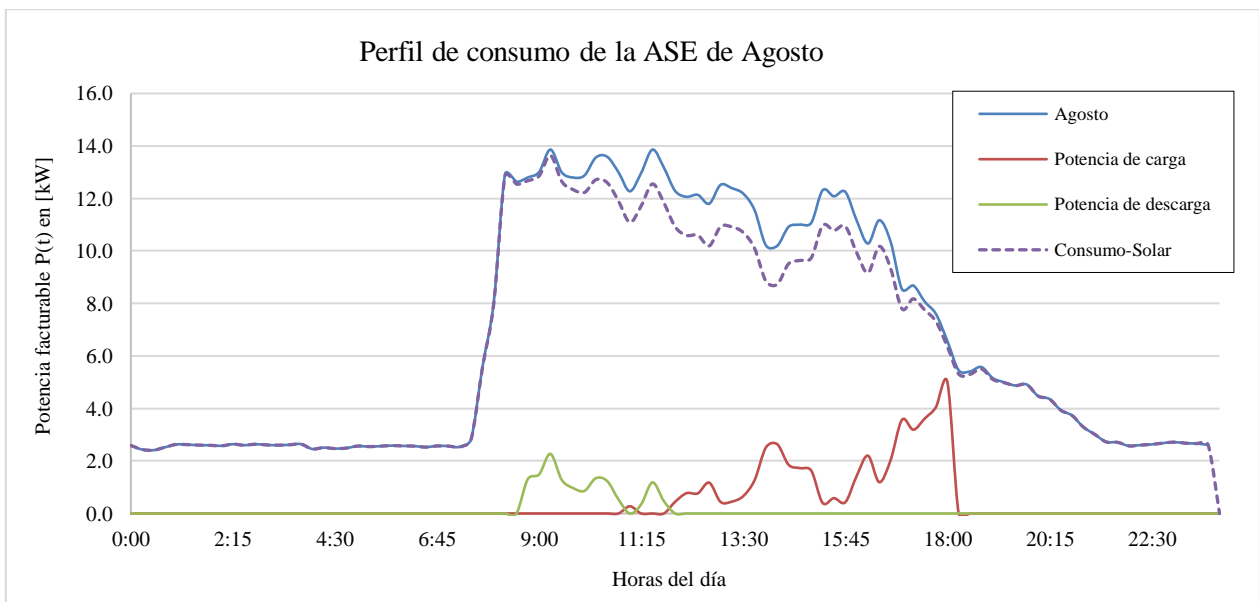


Figura 11.7: Resultado de Agosto - Perfil de consumo y potencias del V2G

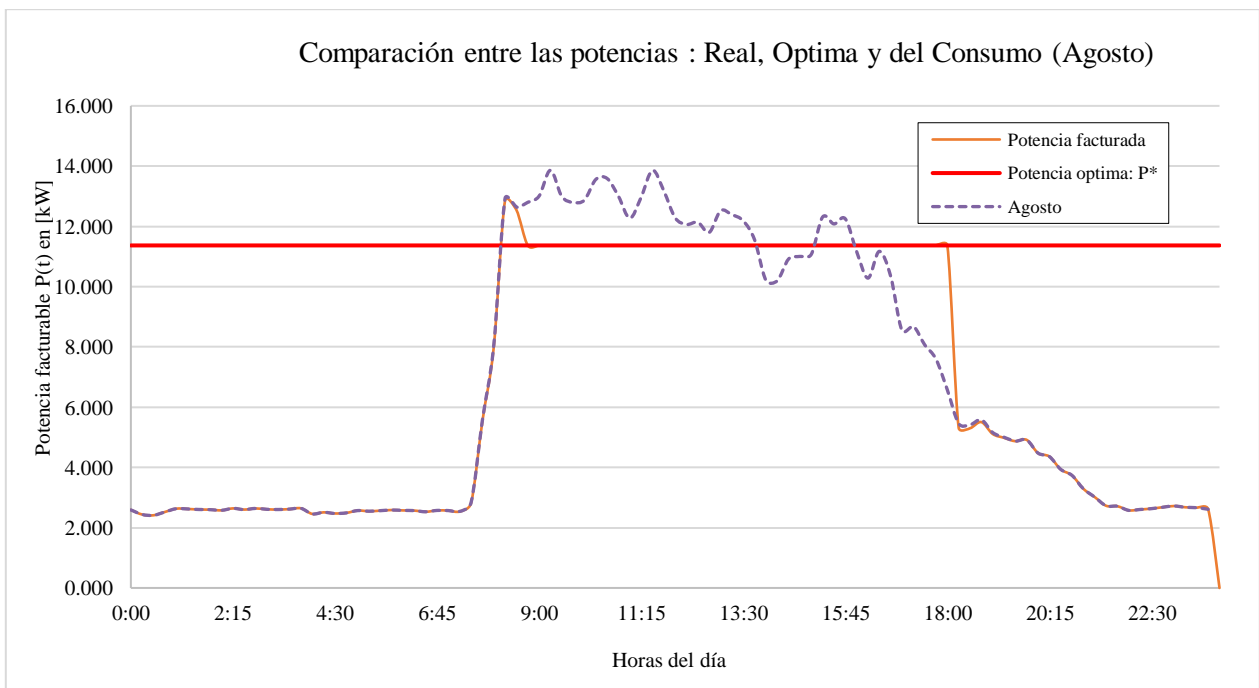


Figura 11.8: Resultado Agosto - Comparación entre potencia facturable y optima P^*

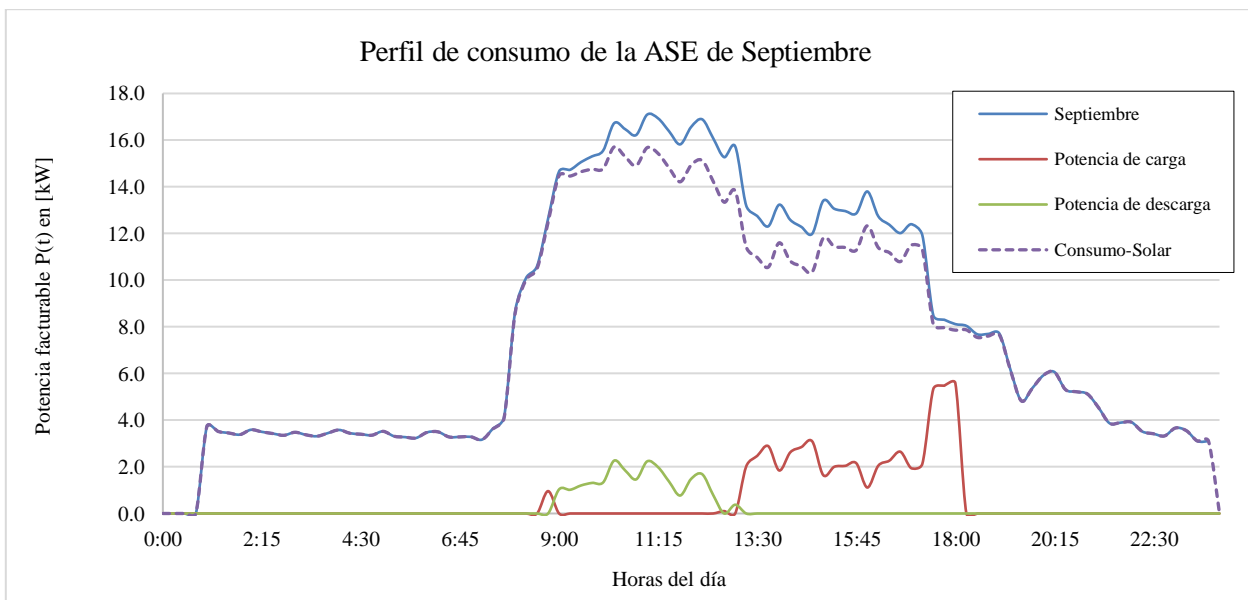


Figura 11.9: Resultado de Septiembre - Perfil de consumo y potencias del V2G

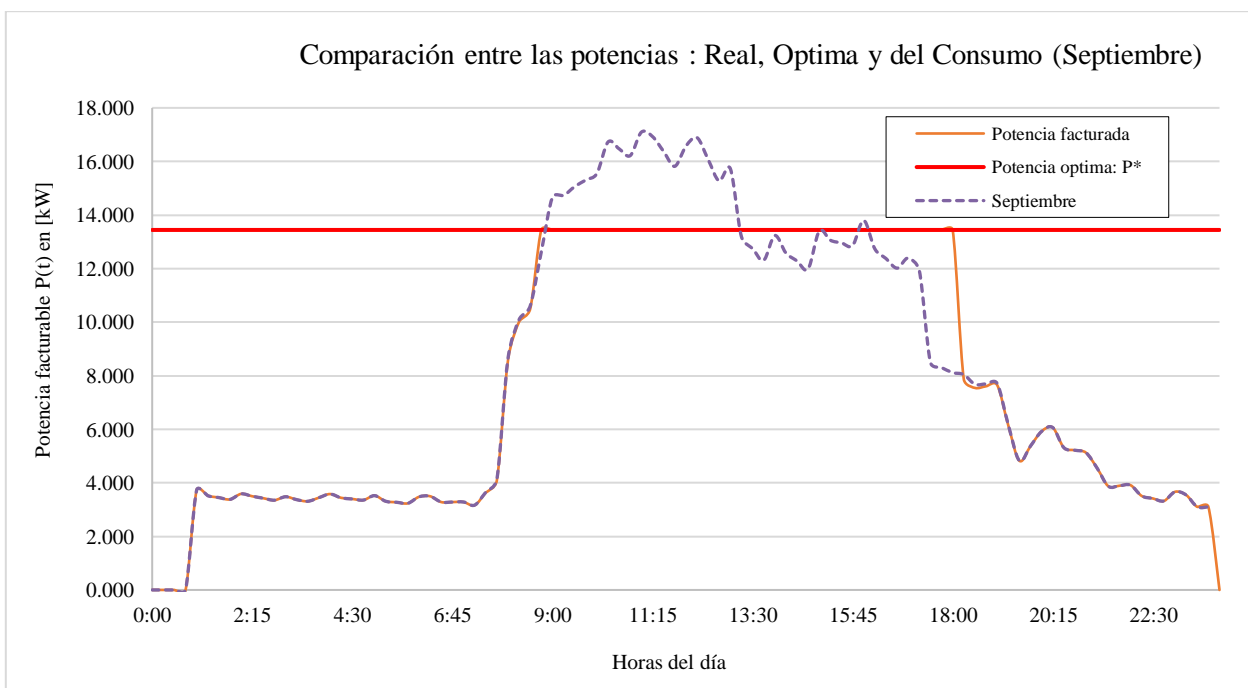


Figura 11.10: Resultado Septiembre - Comparación entre potencia facturable y optima P*

Anexo C: Ejemplo de calculo del SOC* _inicial

Este ejemplo se basa en el caso discreto real de la investigación. Por lo que mantenemos su perfil de consumo y el calculo de las potencias realizadas en la siguiente tabla XX, pero iniciando con un estado de carga inicial distinto SOC_inicial=40%, llegando al mismo resultado.

Tabla 11.1: Variación del estado de carga para el caso discreto con SOC_inicial=40%

Tiempo en[h]	Potencia facturable [kW]	Potencia del V2G [kW]	Energía del V2G en [kWh]	Estado de carga en [%]
$t_0 = 0$	13.5	0	0	40
$t_1 = 4$	13,5	-1,6	-6,6	24
$t_2 = 8$	11	1,9	7,4	42
$t_3 = 9$	7,5	4,6	4,6	54

Entonces de (7.27) tenemos que

$$\begin{cases} SOC(t_{min} = 4) = SOC_{min} = 24\% ; \forall t_i \in T_{V2G} \\ SOC(t_{max} = 8) = SOC_{max} = 54\% ; \forall t_i \in T_{V2G} \end{cases} \quad (11.1)$$

Calculamos sus diferencias según (7.28), y lo aplicamos (7.29), en obteniendo

$$\begin{cases} \partial_{SOC}^1 = 40\% - SOC_{min} = 16\% \\ \partial_{SOC}^1 = SOC_{max} - 60\% = -4\% \end{cases} \quad (11.2)$$

$$\partial_{SOC}^* = \frac{1}{2} [\partial_{SOC}^1 + \partial_{SOC}^2] = 5\% \quad (11.3)$$

Definimos los estados de carga optimo mínimo SOC_{min}^* y máximo SOC_{max}^* según (7.30), obteniendo

$$\begin{cases} SOC_{min}^* = 40\% - \partial_{SOC}^* = 35\% \\ SOC_{max}^* = 60\% + \partial_{SOC}^* = 65\% \end{cases} \quad (11.4)$$

Finalmente, como $t_{min} < t_{max}$, de (7.32) podemos calcular el estado de carga inicial optimo $SOC_{inicial}^*$,

$$SOC_{inicial}^* = SOC_{min}^* - \sum_0^4 E_{V2G}(t_i) \cdot \frac{100}{E_{bateria(max)}} = 51\% \quad (11.5)$$

Anexo D: Tabla de potencias de los resultados de la metodología aplicada

Tabla 11.2: Potencias promedio en periodo de evaluación de 10 días

Horas del día	Potencia de consumo [kW]	Potencia de carga [kW]	Potencia de descarga [kW]	Potencia solar [kW]	Potencia facturada [kW]
00:00:00	5,67	0,03	0,00	0,00	5,70
00:15:00	5,67	0,03	0,00	0,00	5,70
00:30:00	5,56	0,03	0,00	0,00	5,59
00:45:00	5,46	0,03	0,00	0,00	5,48
01:00:00	5,41	0,03	0,00	0,00	5,44
01:15:00	5,38	0,03	0,00	0,00	5,41
01:30:00	5,25	0,03	0,00	0,00	5,28
01:45:00	5,23	0,03	0,00	0,00	5,26
02:00:00	5,15	0,03	0,00	0,00	5,18
02:15:00	4,96	0,03	0,00	0,00	4,99
02:30:00	4,53	0,03	0,00	0,00	4,56
02:45:00	4,43	0,03	0,00	0,00	4,46
03:00:00	3,83	0,03	0,00	0,00	3,86
03:15:00	4,14	0,03	0,00	0,00	4,17
03:30:00	3,71	0,03	0,00	0,00	3,74
03:45:00	4,03	0,03	0,00	0,00	4,06
04:00:00	4,04	0,03	0,00	0,00	4,07
04:15:00	4,23	0,03	0,00	0,00	4,26
04:30:00	4,52	0,03	0,00	0,00	4,54
04:45:00	4,38	0,03	0,00	0,00	4,41
05:00:00	4,55	0,03	0,00	0,00	4,57
05:15:00	4,37	0,03	0,00	0,00	4,39
05:30:00	4,98	0,03	0,00	0,00	5,00
05:45:00	4,41	0,03	0,00	0,00	4,44
06:00:00	4,52	0,03	0,00	0,00	4,54
06:15:00	4,68	0,03	0,00	0,00	4,71
06:30:00	4,59	0,03	0,00	0,00	4,62
06:45:00	5,78	0,03	0,00	0,00	5,80
07:00:00	10,46	0,03	0,00	0,00	10,48
07:15:00	12,06	0,03	0,00	0,00	12,08
07:30:00	13,53	0,03	0,00	0,01	13,55
07:45:00	14,63	0,03	0,00	0,03	14,63
08:00:00	15,43	0,03	0,00	0,07	15,40
08:15:00	16,21	0,03	0,00	0,07	16,17
08:30:00	14,75	0,03	0,00	0,10	14,68
08:45:00	15,67	0,03	0,00	0,14	15,56
09:00:00	16,23	0,03	0,00	0,17	16,09
09:15:00	15,82	0,03	0,53	0,25	15,07
09:30:00	16,44	0,03	1,66	0,38	14,42
09:45:00	15,69	0,02	1,96	0,51	13,24
10:00:00	16,44	0,02	2,11	0,72	13,64
10:15:00	17,39	0,02	2,14	0,94	14,33
10:30:00	17,32	0,02	2,15	1,09	14,10
10:45:00	16,23	0,02	2,11	1,22	12,93
11:00:00	16,55	0,02	2,10	1,31	13,16
11:15:00	15,22	0,02	2,59	1,39	11,25

11:30:00	15,78	0,02	2,78	1,45	11,56
11:45:00	15,77	0,02	2,75	1,49	11,55
12:00:00	15,31	0,02	2,75	1,52	11,06
12:15:00	15,48	0,03	1,69	1,63	12,18
12:30:00	15,69	0,03	0,52	1,71	13,49
12:45:00	13,97	0,03	0,51	1,79	11,70
13:00:00	13,43	3,72	0,01	1,77	15,37
13:15:00	9,60	12,33	0,00	1,64	20,29
13:30:00	9,18	14,52	0,00	1,64	22,06
13:45:00	9,48	13,67	0,00	1,62	21,52
14:00:00	12,62	11,77	0,00	1,51	22,88
14:15:00	15,67	7,81	0,00	1,63	21,85
14:30:00	17,39	5,27	0,00	1,56	21,10
14:45:00	18,04	3,73	0,00	1,52	20,25
15:00:00	17,33	2,14	0,00	1,48	17,99
15:15:00	17,37	0,99	0,00	1,50	16,87
15:30:00	17,50	0,40	0,00	1,44	16,45
15:45:00	16,42	0,06	0,00	1,46	15,03
16:00:00	15,78	0,03	0,28	1,36	14,17
16:15:00	15,56	0,03	0,00	1,24	14,35
16:30:00	15,54	0,03	0,00	1,11	14,46
16:45:00	12,14	0,03	0,00	1,13	11,04
17:00:00	10,85	0,03	0,00	0,83	10,05
17:15:00	10,37	0,03	0,00	0,56	9,84
17:30:00	9,19	0,03	0,00	0,36	8,87
17:45:00	8,61	0,03	0,00	0,31	8,33
18:00:00	8,42	0,03	0,00	0,24	8,21
18:15:00	8,33	0,03	0,00	0,16	8,20
18:30:00	8,05	0,03	0,00	0,12	7,95
18:45:00	7,28	0,03	0,00	0,08	7,22
19:00:00	6,94	0,03	0,00	0,05	6,91
19:15:00	6,41	0,03	0,00	0,02	6,42
19:30:00	7,15	0,03	0,00	0,00	7,17
19:45:00	6,97	0,03	0,00	0,00	7,00
20:00:00	6,47	0,03	0,00	0,00	6,50
20:15:00	6,84	0,03	0,00	0,00	6,87
20:30:00	6,79	0,03	0,00	0,00	6,82
20:45:00	6,70	0,03	0,00	0,00	6,73
21:00:00	6,65	0,03	0,00	0,00	6,67
21:15:00	6,38	0,03	0,00	0,00	6,41
21:30:00	6,28	0,03	0,00	0,00	6,31
21:45:00	6,20	0,03	0,00	0,00	6,23
22:00:00	6,09	0,03	0,00	0,00	6,11
22:15:00	6,11	0,03	0,00	0,00	6,13
22:30:00	6,12	0,03	0,00	0,00	6,15
22:45:00	5,96	0,03	0,00	0,00	5,99
23:00:00	5,90	0,03	0,00	0,00	5,92
23:15:00	5,92	0,03	0,00	0,00	5,95
23:30:00	5,81	0,03	0,00	0,00	5,83
23:45:00	5,76	0,03	0,00	0,00	5,79
00:00:00	5,76	0,03	0,00	0,00	5,79

Anexo E: Resultados de la metodología aplicada en el caso de estudio

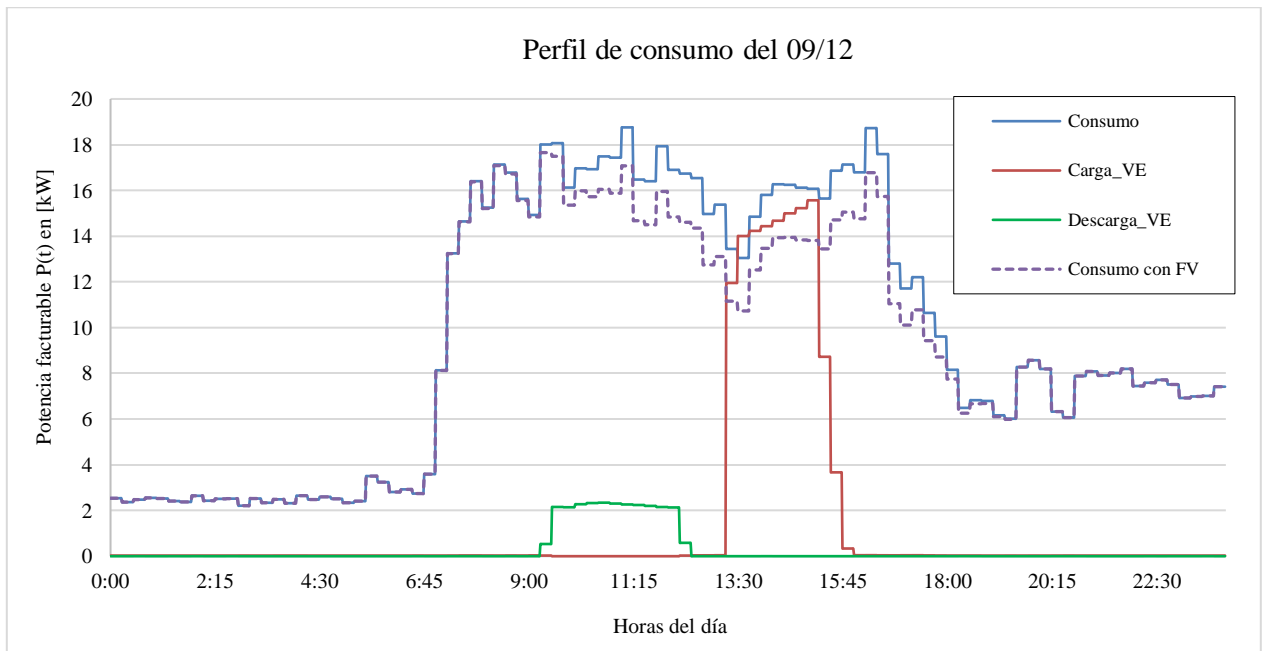


Figura 11.11: Caracterización del perfil de consumo del 09/12

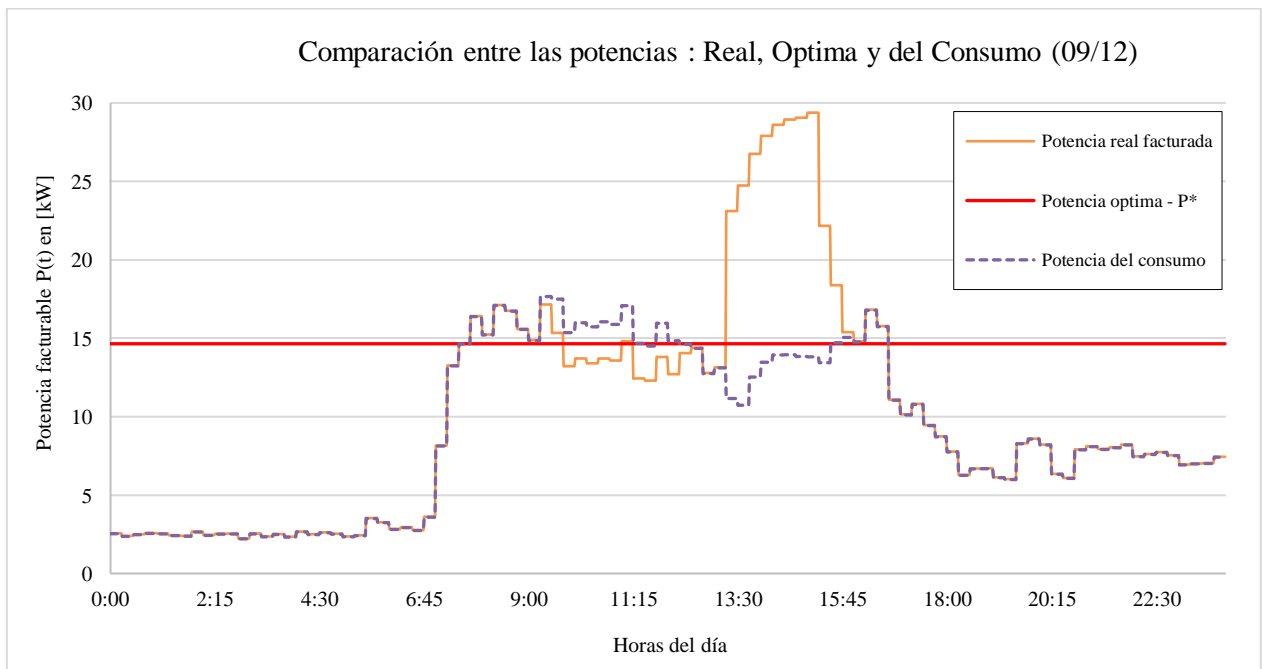


Figura 11.12: Comparación entre potencias del 09/12

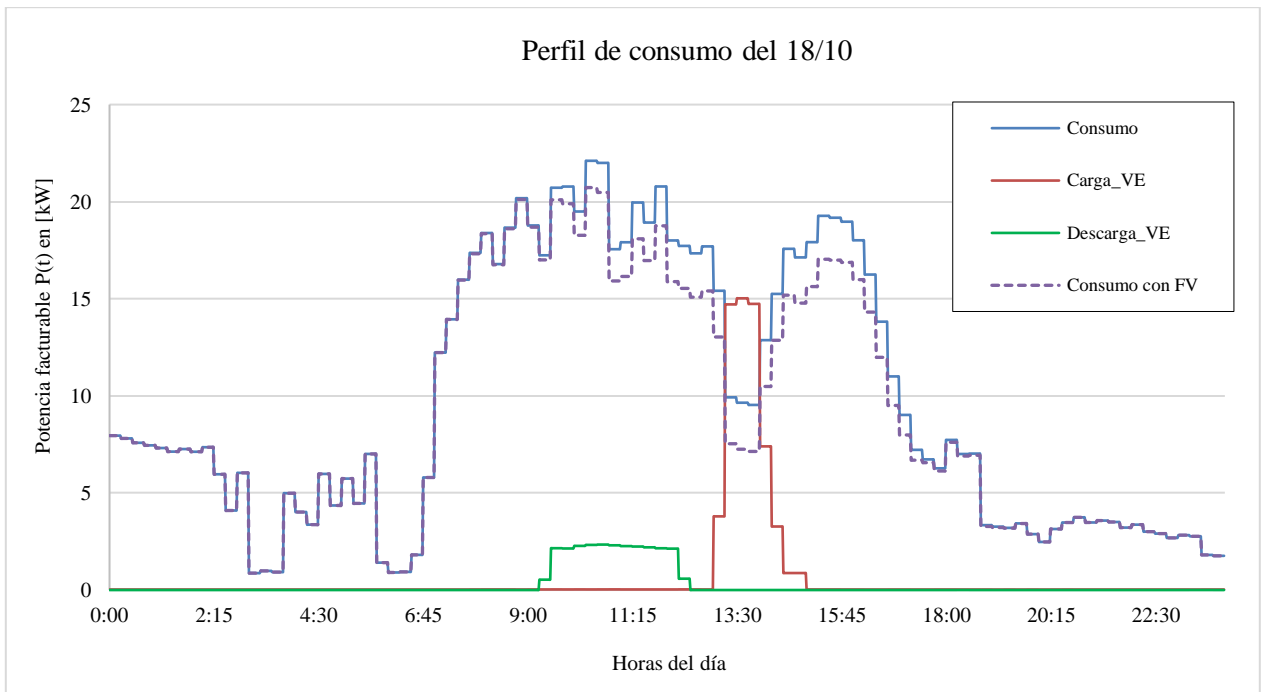


Figura 11.13: Perfil de consumo 18/10

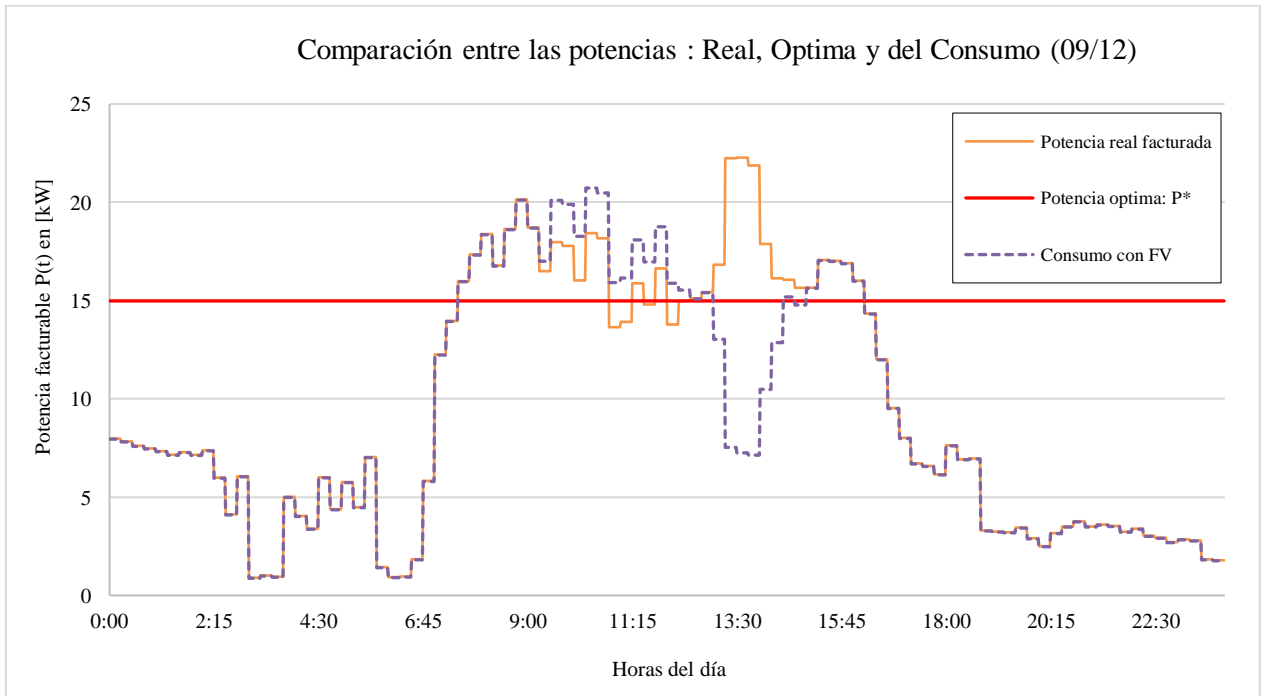


Figura 11.14: Comparación entre las potencias del 18/10

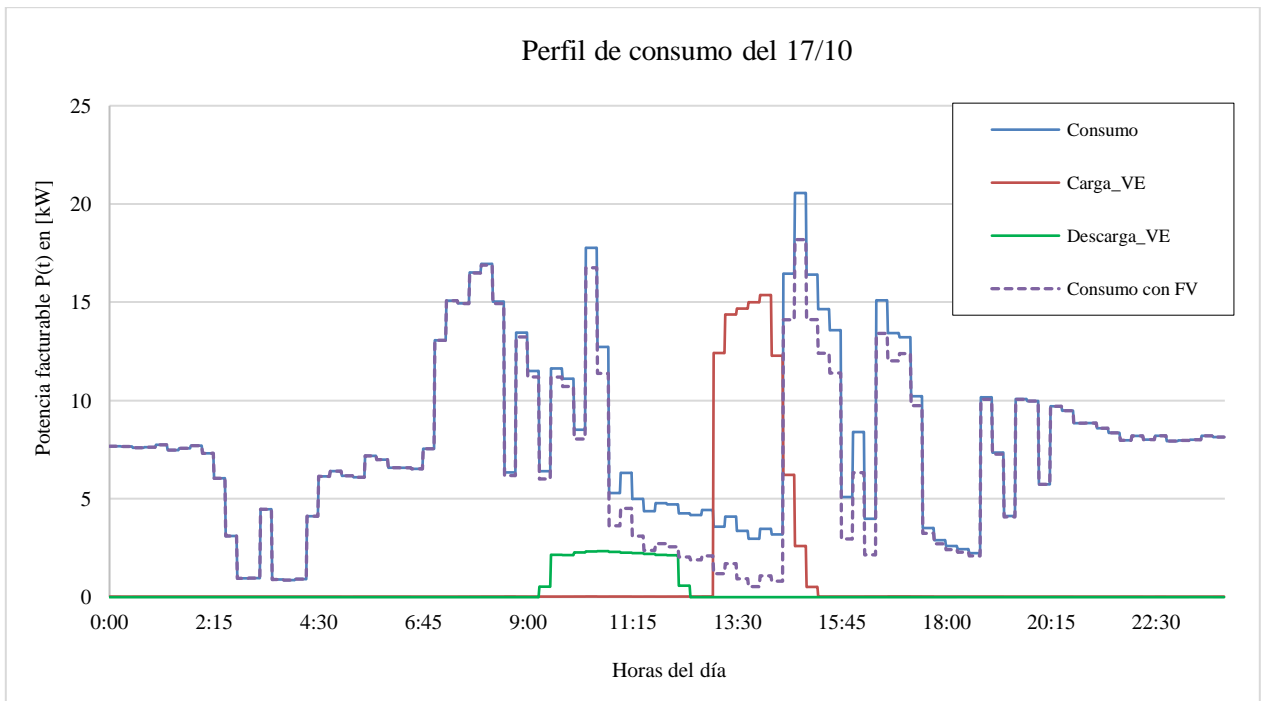


Figura 11.15: Perfil de Consumo del 17/10

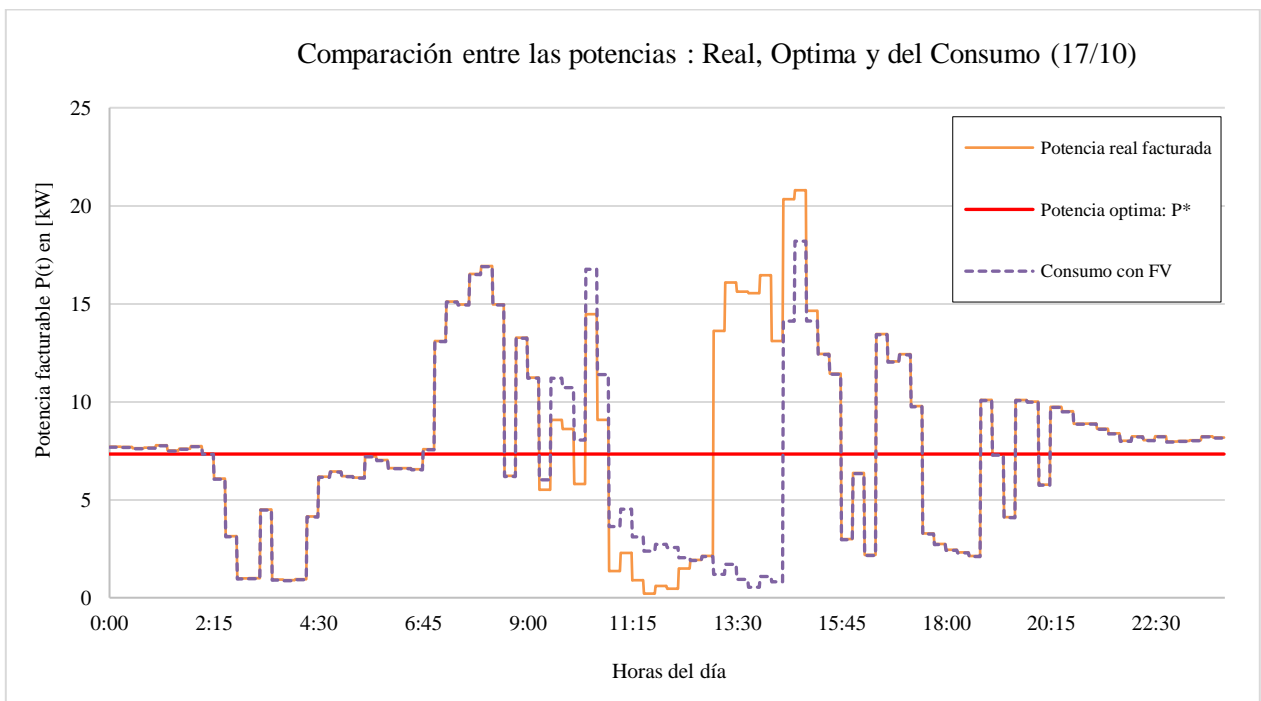


Figura 11.16: Comparación entre potencias del 17/10

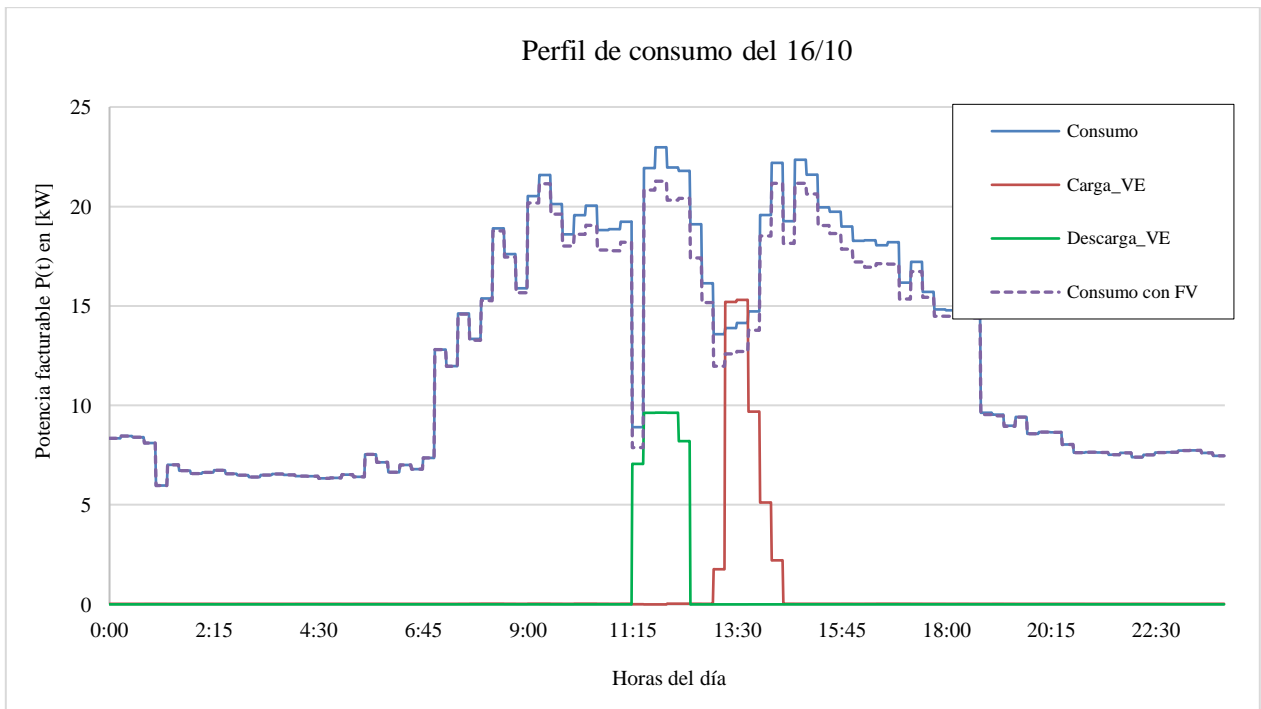


Figura 11.17: Perfil de consumo del 16/10

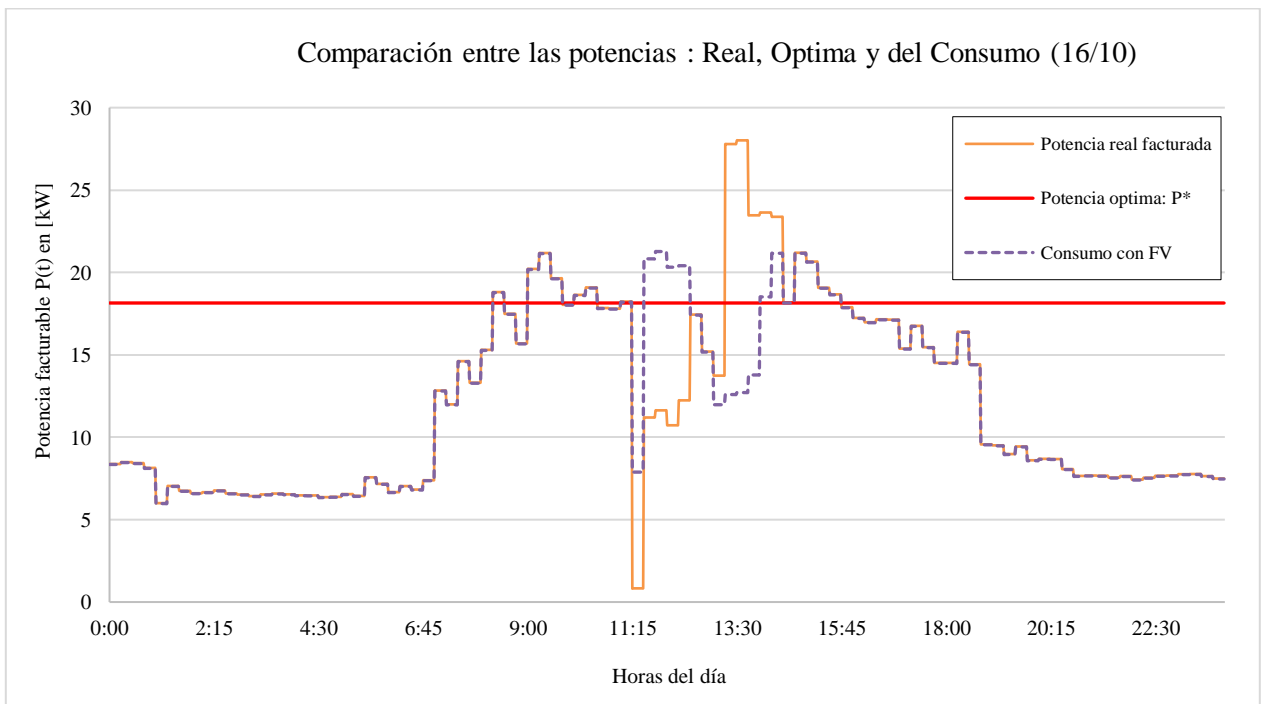


Figura 11.18: Comparación entre las potencias del 16/10

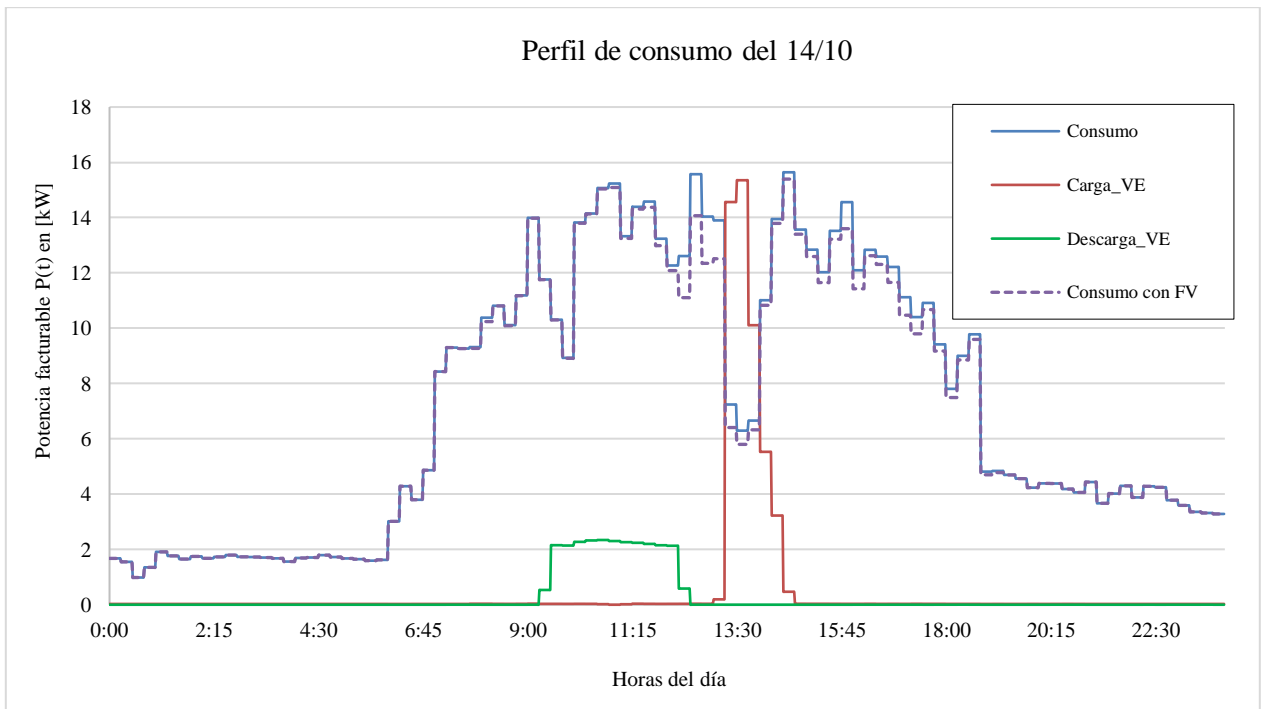


Figura 11.19: Caracterización del perfil de consumo del 14/10

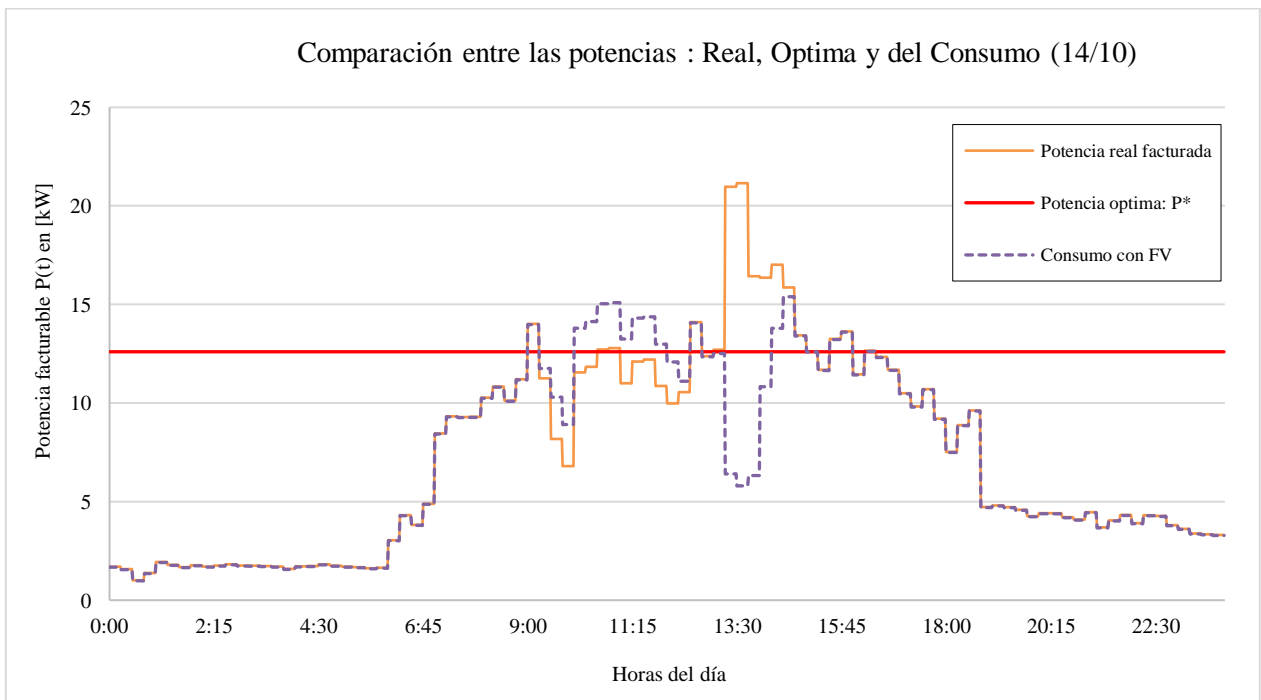


Figura 11.20: Comparación de potencias del 14/10

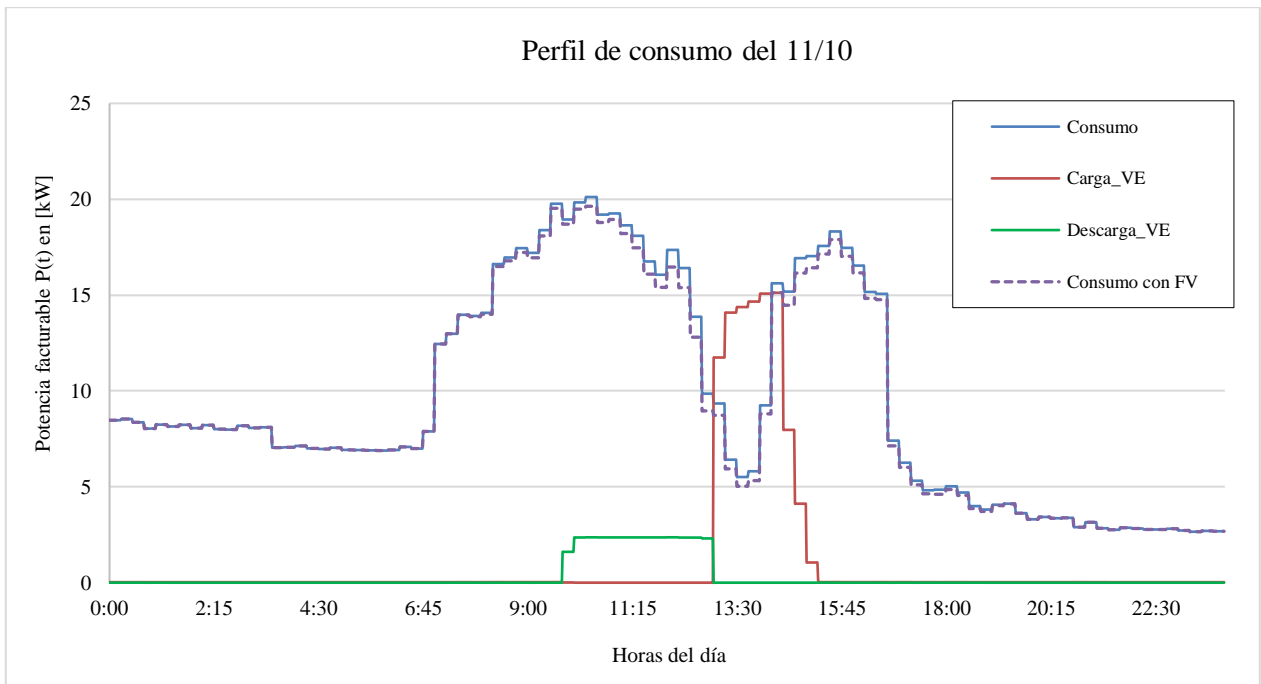


Figura 11.21: Caracterización del perfil de consumo del 11/10

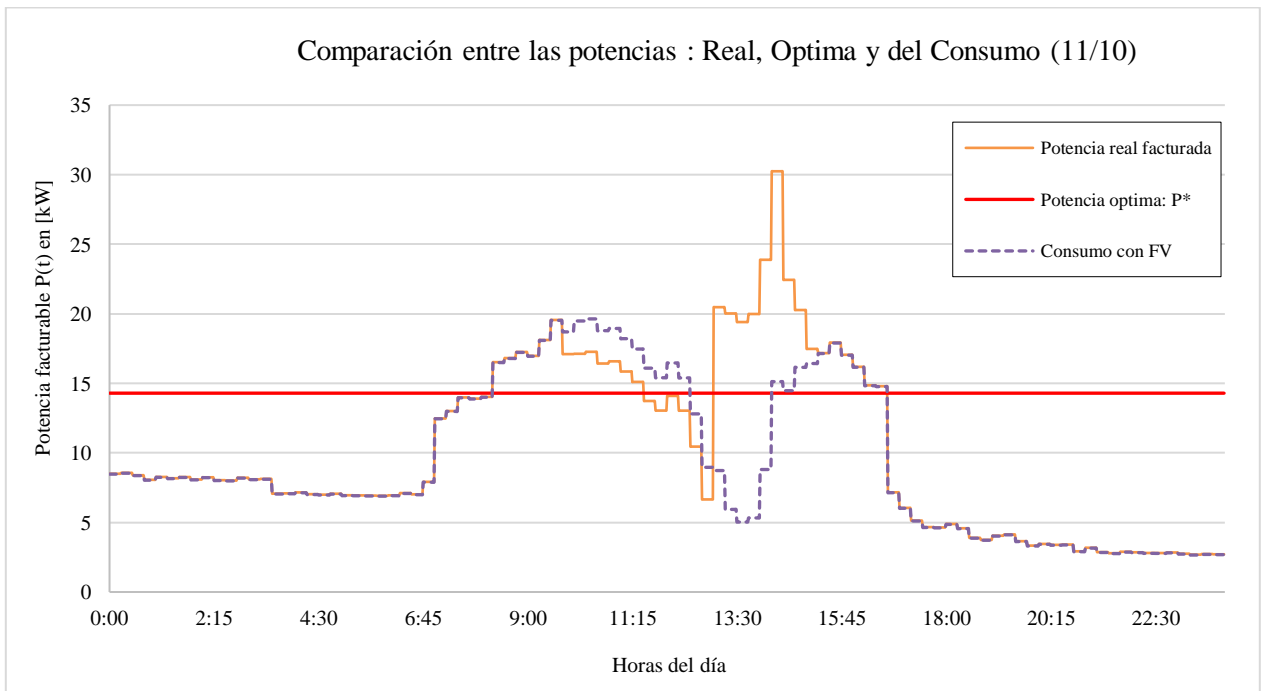


Figura 11.22: Comparación entre las potencias del 11/10

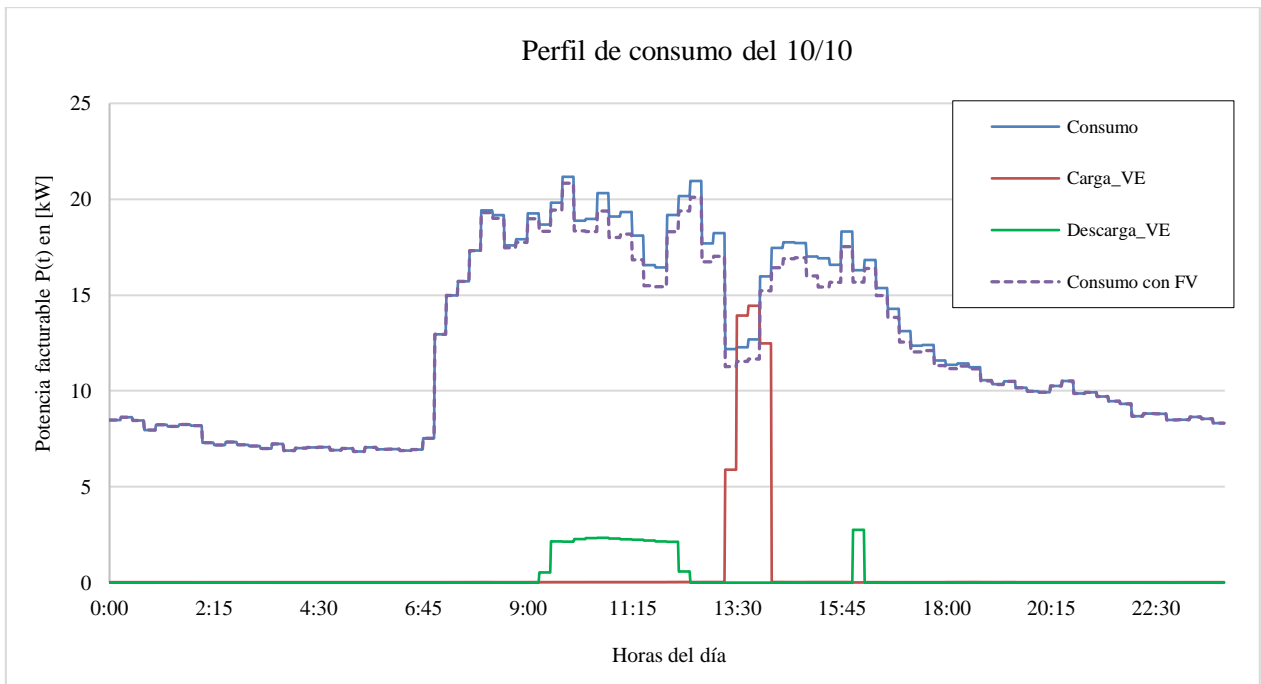


Figura 11.23: Caracterización del perfil de consumo del 10/10

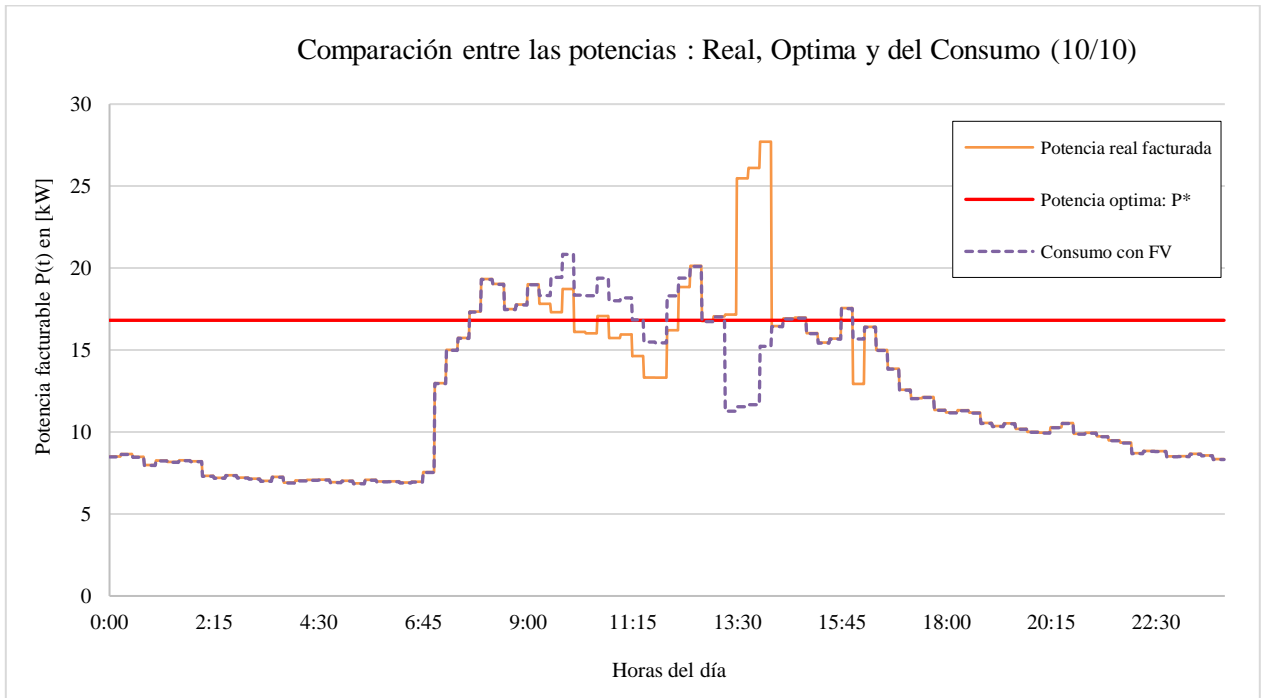


Figura 11.24: Comparación entre las potencias del 10/10

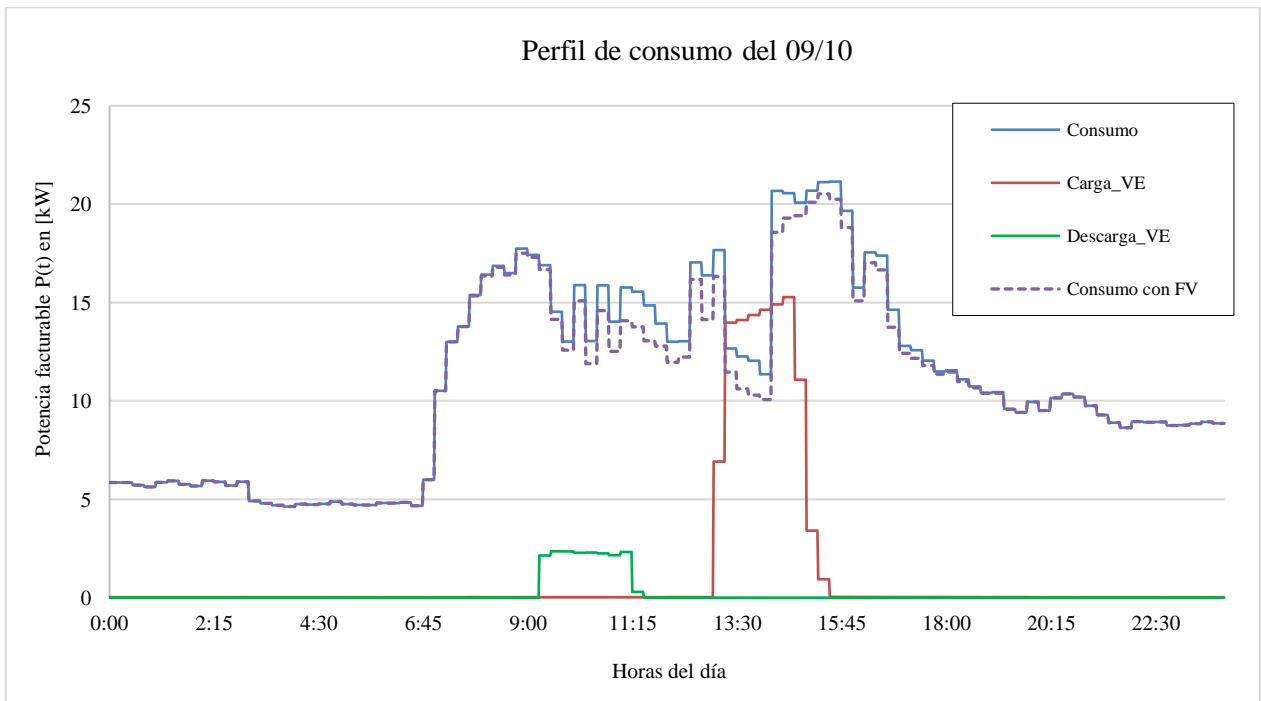


Figura 11.25: Caracterización del perfil de consumo del 09/10

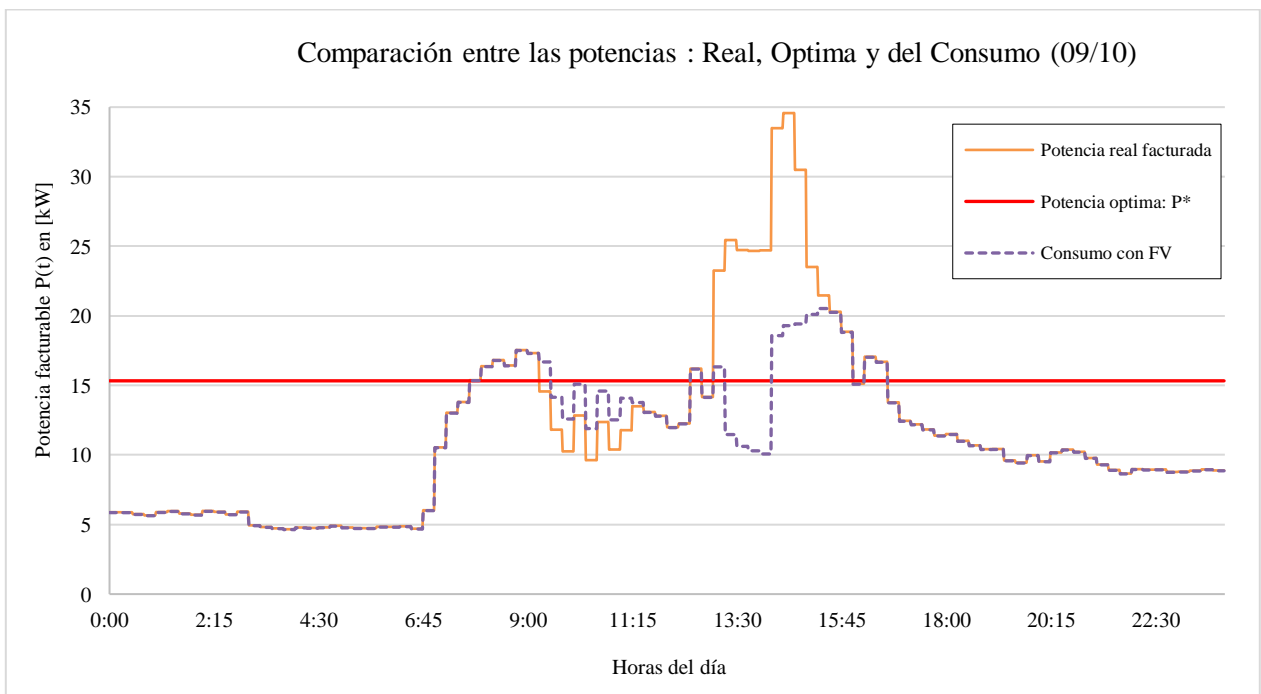


Figura 11.26: Comparación entre las potencias del 09/10

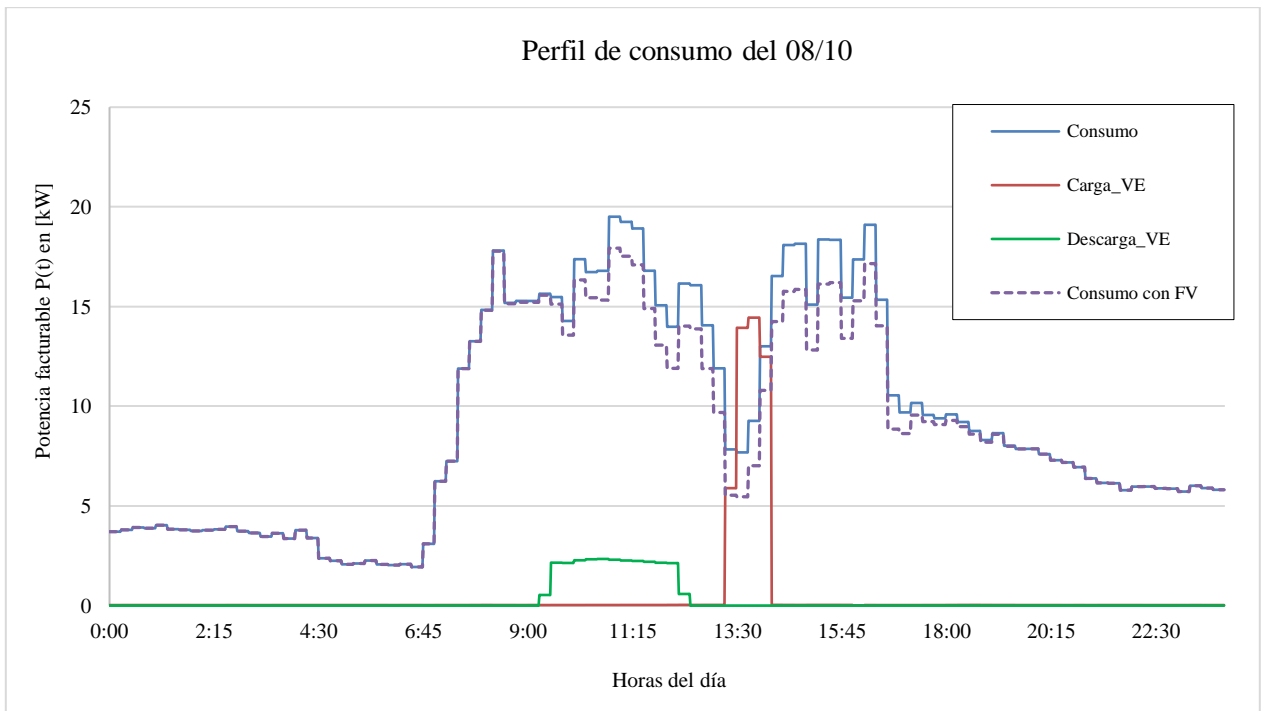


Figura 11.27: Caracterización del perfil de consumo del 08/10

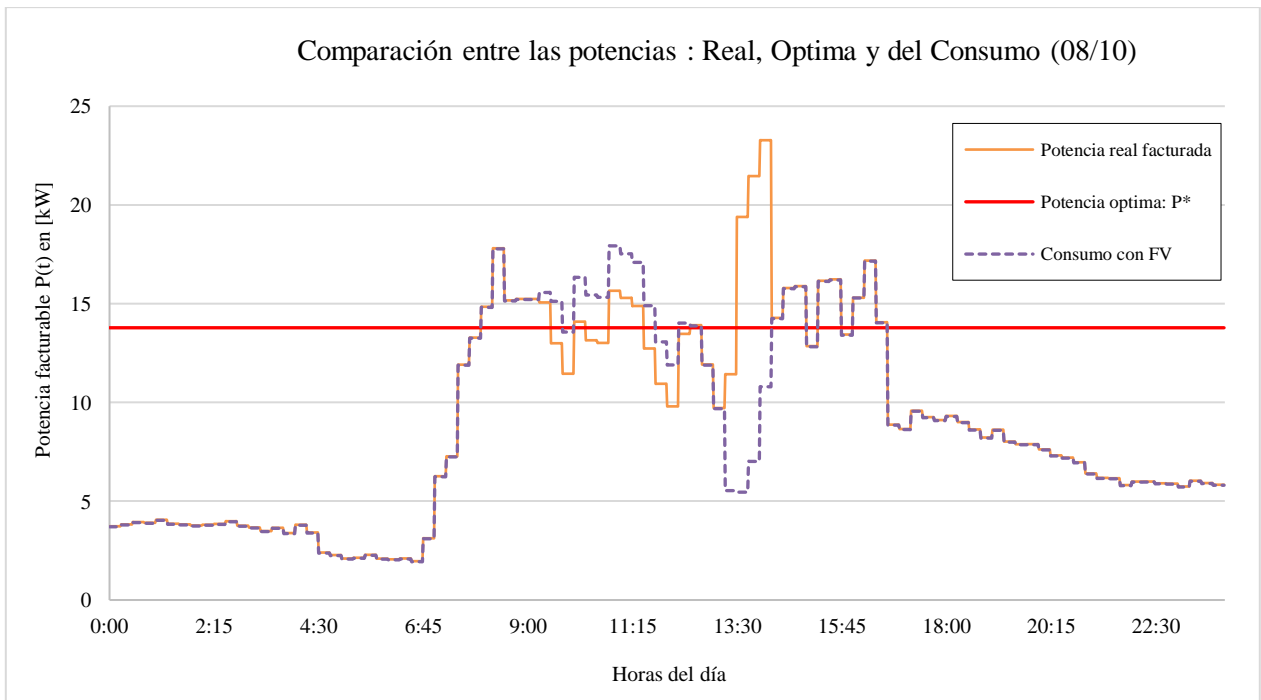


Figura 11.28: Comparación de las potencias del 08/10

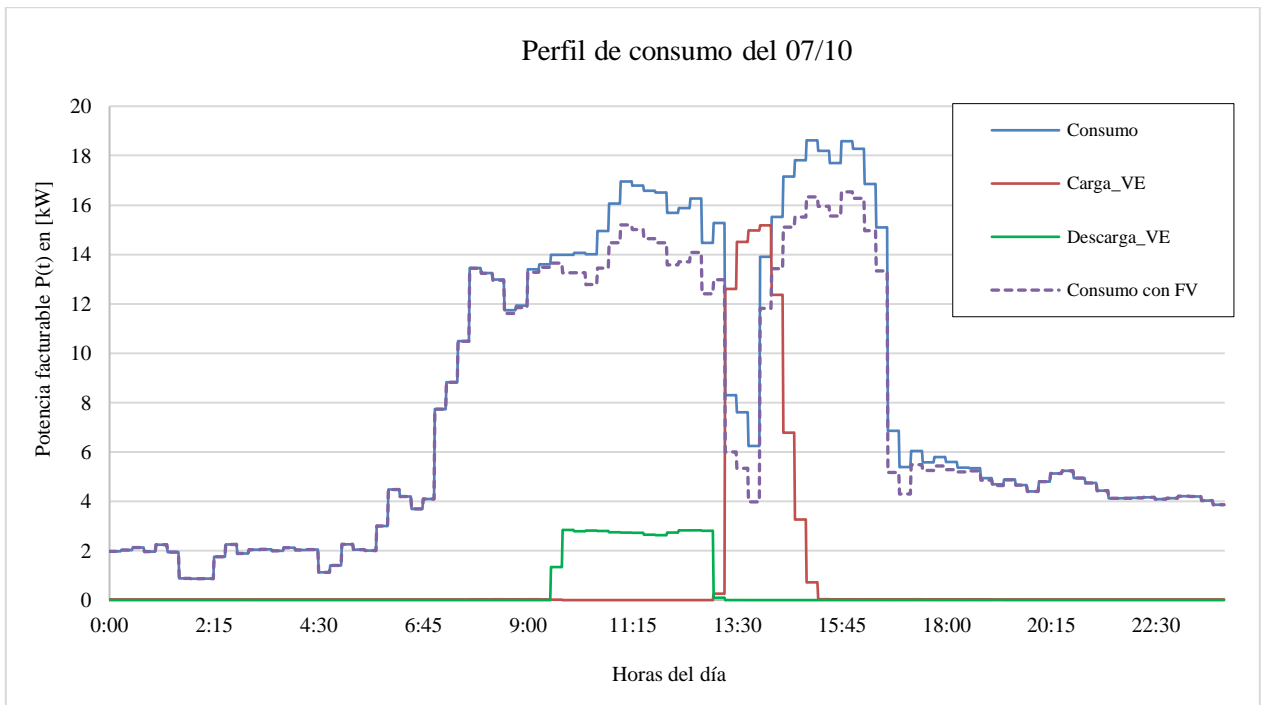


Figura 11.29: Caracterización del perfil de consumo del 07/10

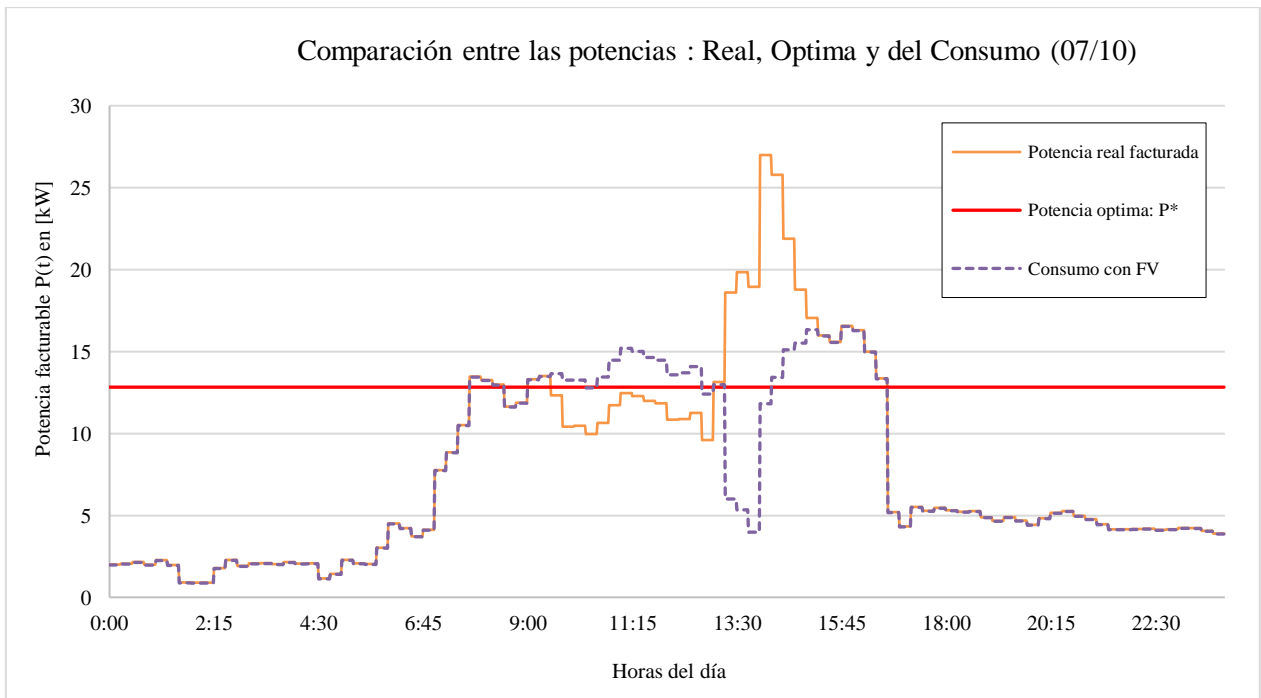


Figura 11.30: Comparación entre las potencias del 07/10

Anexo F: Tablas de las potencias caso teórico y real de la investigación

Tabla 11.3: Potencias teóricas del caso de investigación

Horas del día	Potencia de consumo [kW]	Potencia de carga [kW]	Potencia de descarga [kW]	Potencia solar [kW]	Potencia facturada [kW]
09:00:00	16,23	0,00	0,79	0,17	15,27
09:15:00	15,82	0,00	0,30	0,25	15,27
09:30:00	16,44	0,00	0,79	0,38	15,27
09:45:00	15,69	0,08	0,00	0,51	15,27
10:00:00	16,44	0,00	0,45	0,72	15,27
10:15:00	17,39	0,00	1,18	0,94	15,27
10:30:00	17,32	0,00	0,96	1,09	15,27
10:45:00	16,23	0,25	0,00	1,22	15,27
11:00:00	16,55	0,03	0,00	1,31	15,27
11:15:00	15,22	1,44	0,00	1,39	15,27
11:30:00	15,78	0,94	0,00	1,45	15,27
11:45:00	15,77	0,98	0,00	1,49	15,27
12:00:00	15,31	1,48	0,00	1,52	15,27
12:15:00	15,48	1,42	0,00	1,63	15,27
12:30:00	15,69	1,28	0,00	1,71	15,27
12:45:00	13,97	3,08	0,00	1,79	15,27
13:00:00	13,43	3,61	0,00	1,77	15,27
13:15:00	9,60	7,31	0,00	1,64	15,27
13:30:00	9,18	7,73	0,00	1,64	15,27
13:45:00	9,48	7,41	0,00	1,62	15,27
14:00:00	12,62	4,16	0,00	1,51	15,27
14:15:00	15,67	1,23	0,00	1,63	15,27
14:30:00	17,39	0,00	0,56	1,56	15,27
14:45:00	18,04	0,00	1,26	1,52	15,27
15:00:00	17,33	0,00	0,58	1,48	15,27
15:15:00	17,37	0,00	0,61	1,50	15,27
15:30:00	17,50	0,00	0,79	1,44	15,27
15:45:00	16,42	0,30	0,00	1,46	15,27
16:00:00	15,78	0,85	0,00	1,36	15,27
16:15:00	15,56	0,95	0,00	1,24	15,27
16:30:00	15,54	0,83	0,00	1,11	15,27
16:45:00	12,14	4,26	0,00	1,13	15,27
17:00:00	10,85	5,24	0,00	0,83	15,27
17:15:00	10,37	5,46	0,00	0,56	15,27
17:30:00	9,19	6,43	0,00	0,36	15,27
17:45:00	8,61	6,96	0,00	0,31	15,27
18:00:00	8,42	7,09	0,00	0,24	15,27

Tabla 11.4: Potencias reales del caso de investigación

Horas del día	Potencia de consumo	Potencia de carga	Potencia de descarga	Potencia solar	Potencia facturada
09:00:00	16,23	0,03	0,00	0,17	16,09
09:15:00	15,82	0,03	0,53	0,25	15,07
09:30:00	16,44	0,03	1,66	0,38	14,42
09:45:00	15,69	0,02	1,96	0,51	13,24
10:00:00	16,44	0,02	2,11	0,72	13,64
10:15:00	17,39	0,02	2,14	0,94	14,33
10:30:00	17,32	0,02	2,15	1,09	14,10
10:45:00	16,23	0,02	2,11	1,22	12,93
11:00:00	16,55	0,02	2,10	1,31	13,16
11:15:00	15,22	0,02	2,59	1,39	11,25
11:30:00	15,78	0,02	2,78	1,45	11,56
11:45:00	15,77	0,02	2,75	1,49	11,55
12:00:00	15,31	0,02	2,75	1,52	11,06
12:15:00	15,48	0,03	1,69	1,63	12,18
12:30:00	15,69	0,03	0,52	1,71	13,49
12:45:00	13,97	0,03	0,51	1,79	11,70
13:00:00	13,43	3,72	0,01	1,77	15,37
13:15:00	9,60	12,33	0,00	1,64	20,29
13:30:00	9,18	14,52	0,00	1,64	22,06
13:45:00	9,48	13,67	0,00	1,62	21,52
14:00:00	12,62	11,77	0,00	1,51	22,88
14:15:00	15,67	7,81	0,00	1,63	21,85
14:30:00	17,39	5,27	0,00	1,56	21,10
14:45:00	18,04	3,73	0,00	1,52	20,25
15:00:00	17,33	2,14	0,00	1,48	17,99
15:15:00	17,37	0,99	0,00	1,50	16,87
15:30:00	17,50	0,40	0,00	1,44	16,45
15:45:00	16,42	0,06	0,00	1,46	15,03
16:00:00	15,78	0,03	0,28	1,36	14,17
16:15:00	15,56	0,03	0,00	1,24	14,35
16:30:00	15,54	0,03	0,00	1,11	14,46
16:45:00	12,14	0,03	0,00	1,13	11,04
17:00:00	10,85	0,03	0,00	0,83	10,05
17:15:00	10,37	0,03	0,00	0,56	9,84
17:30:00	9,19	0,03	0,00	0,36	8,87
17:45:00	8,61	0,03	0,00	0,31	8,33
18:00:00	8,42	0,03	0,00	0,24	8,21

Anexo G: Simulación con HomerEnergy

HomerEnergy es un programa que permite simular una micro-red al entregarle los perfiles de consumo de los meses de la evaluación, y las características de los componentes. La información de entrada que se le otorga al programa son lo detallado por [Cap2.2], y las características de facturación del contrato eléctrico [Cap5.1.3]. A su vez, se entrega la Tabla 11.5 con la información de los consumos energéticos del caso investigado.

Tabla 11.5: Consumo de energía en de la AgenciaSE para HomerEnergy [kWh]

Hora	Energía consumida [kWh]				
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
00:00:00	2,40	3,29	2,32	2,49	0,00
01:00:00	2,76	3,26	2,29	2,61	3,52
02:00:00	2,70	3,24	2,27	2,61	3,47
03:00:00	2,54	3,25	2,28	2,62	3,40
04:00:00	2,75	3,26	2,25	2,48	3,44
05:00:00	2,90	3,21	2,21	2,57	3,34
06:00:00	3,65	4,63	2,24	2,56	3,38
07:00:00	5,65	7,30	3,39	3,38	3,56
08:00:00	11,59	12,82	11,99	11,60	10,49
09:00:00	12,65	14,59	14,62	13,17	14,94
10:00:00	10,91	15,66	12,98	13,26	16,24
11:00:00	10,28	15,75	11,70	13,07	16,55
12:00:00	10,40	15,40	10,81	12,07	16,20
13:00:00	9,96	14,31	10,33	12,16	13,49
14:00:00	7,94	13,35	9,95	10,58	12,52
15:00:00	8,55	13,89	9,80	11,93	13,07
16:00:00	7,97	12,05	8,94	10,74	12,73
17:00:00	6,63	10,75	7,95	8,22	10,28
18:00:00	5,30	8,12	5,27	5,76	7,88
19:00:00	5,10	7,74	4,27	4,99	6,02
20:00:00	4,00	6,82	3,74	4,13	5,63
21:00:00	2,85	5,44	2,48	2,94	4,36
22:00:00	2,52	4,86	2,31	2,62	3,54
23:00:00	2,64	4,46	2,30	2,67	3,35

La simulación tiene como propósito estimar desde el ámbito técnico la cantidad de vehículos eléctricos y la potencia instalada en paneles FV necesarios para que el caso de investigación pueda funcionar de manera independiente con la red (off-grid).