



UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA



Facultad de
Ingeniería

ESTUDIO DEL IMPACTO DE AUTOS ELÉCTRICOS SOBRE UN DISTRIBUIDOR RESIDENCIAL DE LA RED ELÉCTRICA DE MAR DEL PLATA

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autores:

- Mendez, Mikel
Ingeniería Electromecánica
DNI: 52.096.395
Matrícula: 12.242
Correo electrónico: mendez.mikel@hotmail.com
- Linares, Ignacio Gonzalo
Ingeniería Electromecánica
DNI: 38.428.959
Matrícula: 10.240
Correo electrónico: igonzalolinares@gmail.com

Directores:

- Strack, Jorge
- Murcia, Guillermo



RINFI es desarrollado por la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA



Facultad de
Ingeniería

ESTUDIO DEL IMPACTO DE AUTOS ELÉCTRICOS SOBRE UN DISTRIBUIDOR RESIDENCIAL DE LA RED ELÉCTRICA DE MAR DEL PLATA

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autores:

- Mendez, Mikel
Ingeniería Electromecánica
DNI: 52.096.395
Matrícula: 12.242
Correo electrónico: mendez.mikel@hotmail.com
- Linares, Ignacio Gonzalo
Ingeniería Electromecánica
DNI: 38.428.959
Matrícula: 10.240
Correo electrónico: igonzalolinares@gmail.com

Directores:

- Strack, Jorge
- Murcia, Guillermo

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

Agradecimientos

Queremos agradecer a nuestras familias por su apoyo constante durante esta etapa académica. Su paciencia y sacrificios han sido fundamentales para nosotros.

Agradecemos también a nuestros amigos por su compañía y apoyo a lo largo del proceso. Su presencia ha sido de gran ayuda en los momentos difíciles.

Por último, agradecemos a nuestros profesores y asesores, Guillermo, Jorge y Juan, por su orientación y consejos. Su conocimiento y apoyo han sido cruciales para el desarrollo de este proyecto.

Resumen

Este trabajo se centra en un análisis de la movilidad eléctrica y la recarga de vehículos eléctricos (EV) en la ciudad de Mar del Plata, Argentina. El estudio aborda varios aspectos cruciales relacionados con la adopción de vehículos eléctricos y su integración en el sistema eléctrico local. A través de una combinación de investigación de mercado y simulaciones, este estudio proporciona una visión integral de los desafíos y oportunidades asociados con la movilidad eléctrica.

La investigación comienza evaluando el mercado de autos eléctricos en Argentina, proyectando su crecimiento en función de tendencias locales y comparándolo con experiencias internacionales. Se reconoce la importancia de las políticas y regulaciones gubernamentales para impulsar la adopción de EV, y se plantean escenarios optimistas y pesimistas para la penetración de estos vehículos en el mercado argentino.

En primer lugar, se aborda el caso de la recarga descontrolada en franjas horarias, explorando cómo la demanda de energía fluctúa en respuesta a la recarga de EV en diferentes momentos del día, considerando horarios de pico, valle y resto. Luego, se examinan los hábitos de los usuarios de EV, tomando en cuenta sus costumbres y horarios típicos de recarga, y cómo estos influyen en la demanda eléctrica y la infraestructura. Por último, se investiga el impacto de tarifas eléctricas diferenciadas, que ofrecen precios más bajos durante las horas de menor demanda (horarios valle o recarga nocturna), en el comportamiento de recarga de los usuarios de EV. Estos enfoques proporcionan una comprensión integral de la movilidad eléctrica y su interacción con la infraestructura eléctrica local.

Los resultados de estos casos de estudio se analizan detenidamente para comprender mejor el impacto de la movilidad eléctrica en el consumo de energía y las implicaciones para la infraestructura eléctrica de Mar del Plata. Esta investigación arroja luz sobre la necesidad de una planificación efectiva y la importancia de una infraestructura de carga de EV eficiente y bien adaptada a las necesidades locales.

Este trabajo pretende ofrecer una contribución valiosa al campo de la movilidad eléctrica y proporciona información esencial para la planificación y gestión de la infraestructura de carga de EV en entornos urbanos. Al abordar la movilidad eléctrica desde múltiples perspectivas y considerar aspectos como la recarga controlada y las tarifas diferenciadas, este trabajo se convierte en una guía esencial para fomentar un sistema de transporte más limpio y sostenible en la ciudad de Mar del Plata.

Abstract

This work focuses on an analysis of electric mobility and the recharging of electric vehicles (EV) in the city of Mar del Plata, Argentina. The study addresses several crucial aspects related to the adoption of electric vehicles and their integration into the local electrical system. Through a combination of market research and simulations, this study provides a comprehensive view of the challenges and opportunities associated with electric mobility.

The research begins by evaluating the electric car market in Argentina, projecting its growth based on local trends and comparing it with international experiences. The importance of government policies and regulations to drive EV adoption is acknowledged, and optimistic and pessimistic scenarios are presented for the penetration of these vehicles in the Argentine market.

Firstly, the case of uncontrolled recharging in time slots is addressed, exploring how energy demand fluctuates in response to EV recharging at different times of the day, considering peak, off-peak, and other times. Then, the habits of EV users are examined, considering their customary recharging patterns and how these influence electrical demand and infrastructure. Lastly, the impact of differential electricity tariffs, offering lower prices during periods of lower demand (off-peak or nighttime recharging), on the recharging behavior of EV users is investigated. These approaches provide a comprehensive understanding of electric mobility and its interaction with the local electrical infrastructure.

The results of these case studies are analyzed in depth to better comprehend the impact of electric mobility on energy consumption and implications for Mar del Plata's electrical infrastructure. This research sheds light on the need for effective planning and the importance of efficient EV charging infrastructure tailored to local needs.

This work provides a valuable contribution to the field of electric mobility and offers essential information for the planning and management of EV charging infrastructure in urban environments. By addressing electric mobility from multiple perspectives and considering aspects such as controlled recharging and differential tariffs, this work becomes an essential guide to promote a cleaner and more sustainable transportation system in the city of Mar del Plata.

Índice general

Agradecimientos.....	2
Resumen.....	3
Abstract.....	4
Índice general.....	5
Índice de figuras.....	8
Índice de tablas.....	12
Lista de abreviaciones.....	13
1. Introducción.....	15
1.1. Objetivos.....	16
1.1.1. Objetivos específicos.....	16
1.1.2. Objetivos secundarios.....	16
1.2. Legislación nacional e internacional sobre la movilidad eléctrica.....	16
1.2.1. Argentina.....	16
1.2.2. Brasil.....	21
1.2.3. México.....	22
1.2.4. Chile.....	23
1.3. Estado del arte de la tecnología de los EV.....	24
1.3.1. Autos eléctricos.....	24
1.3.2. Tipos de vehículos eléctricos.....	29
1.3.3. Baterías.....	31
1.3.3.1. Baterías primarias.....	31
1.3.3.2. Baterías secundarias.....	31
1.3.4. Tipos de conectores.....	35
1.3.5. Caracterización del tipo carga de los BEV.....	39
1.3.6. Integración del BEV con la red eléctrica.....	44
2. Movilidad eléctrica en Mar del Plata.....	48
2.1. Estudio de la movilidad en Mar del Plata.....	48
2.2. Estimación del consumo energético de los autos eléctricos.....	51
2.3. Tiempo de recarga de los BEV.....	53
2.4. Mercado de autos eléctricos en Argentina.....	54
2.5. Datos obtenidos del capítulo.....	56

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata.....	57
3.1. Zona bajo estudio.....	57
3.2. Tendencias de consumos residenciales	58
3.3. Estación del año y día adoptado como base de estudio	59
3.4. Software de simulación	62
3.4.1. Modelado de la red	62
3.4.2. Flujo de carga	63
3.4.3. Simulación cuasi-dinamica	64
3.4.4. Carga de parámetros	65
3.4.5. Datos obtenidos de simulación	66
3.5. Datos obtenidos del capítulo	68
4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio	69
4.1. Hipótesis adoptadas.....	70
4.2. Simulaciones.....	70
4.2.1. Caso 1 – Recarga descontrolada en franja horaria de pico, valle y resto.	70
4.2.2. Caso 2 – Recarga considerando los hábitos de las personas	71
4.2.3. Caso 3 – Recarga considerando tarifa diferenciada (recarga nocturna o valle)	72
4.3. Análisis de los resultados obtenidos	74
4.3.1. Resultados caso 1 – Recarga descontrolada en franja horaria de pico, valle y resto.....	75
4.3.2. Resultados caso 2 – Recarga considerando los hábitos de las personas	80
4.3.3. Resultados caso 3 – Recarga considerando tarifa diferenciada (recarga nocturna o valle)	83
4.4. Ajuste de los resultados considerando aumento de consumos residenciales e inserción BEV	86
4.4.1. Impacto de los consumos residenciales	87
4.4.2. Impacto de los consumos de los BEV en el tiempo	90
4.4.3. Impacto debido a consumos domiciliarios y BEV	95
5. Impacto ambiental de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio	102
5.1. Cálculo del factor de emisión de energía	102
5.2. Cálculo de CO ₂ liberado por los BEV	103
5.3. Cálculo de CO ₂ liberado por los VCI	104
5.4. Ahorro de CO ₂	105

6. Conclusiones y trabajo a futuro	107
7. Bibliografía	110
8. Anexo 1 (Scripts).....	112
8.1. Carga de curvas de horario de recarga de los EV	112
8.2. Modificación de parámetros de las baterías.....	125

Índice de figuras

Figura 1 - "Solicitud de importaciones de vehiculos hibridos y electricos en Argentina" [3]	18
Figura 2 - "Régimen de beneficios escalonados en el tiempo." [4].....	20
Figura 3 - "Porcentajes de ventas mundiales de autos eléctricos." [2]	27
Figura 4 - "Venta de vehículos eléctricos en países latinoamericanos seleccionados (en miles de unidades). Estimaciones realizadas en enero de 2022." [2]	27
Figura 5 - "Esquema de vehículo híbrido, configuración en serie."	30
Figura 6 - "Conector Schuko." [5]	36
Figura 7 - "Conector Tipo 1 (SAE J1772)" [5].....	37
Figura 8 - "Conector Tipo 2 (IEC 62196-2)" [5].....	37
Figura 9 - "Conector Tipo 3" [5]	38
Figura 10 - "Conector CHAdeMO" [5].....	38
Figura 11 - "Conector CCS (Combo, IEC-62196-3)" [5]	39
Figura 12 - "Conexión con cargador AC." [5].....	40
Figura 13 - "Esquema funcionamiento carga AC." [5]	40
Figura 14 - "Esquema de conexión con cargador DC." [5]	41
Figura 15 - "Operación carga DC." [5]	41
Figura 16 - "Evolución de las principales magnitudes durante la carga de las baterías de un vehículo eléctrico" [2].....	44
Figura 17 - "Diferencias entre carga estándar y carga inteligente." [9].....	47
Figura 18 - "Evolución temporal desde el año 2000 hasta el año 2030 de habitantes en la ciudad de Mar del Plata, vehículos y habitantes por vehículo." [2]	48
Figura 19 - "Mapa de la ciudad de Mar del Plata con detalle de las 7 zonas consideradas en el relevamiento." [2].....	49
Figura 20 - "Distribución modal por zona." [2]	49
Figura 21 - "Reparto modal de los viajes habituales de 2016." [2]	50
Figura 22 - "Distancia promedio del viaje más frecuente durante el año, según modo y zona, 2016." [2].....	50
Figura 23 - "Histogramas de consumo, autonomía, capacidad baterías y costo de vehículos eléctricos." [2].....	52
Figura 24 - "Ecuaciones utilizadas para ponderar características de autos eléctricos con respecto a su precio." [2]	53
Figura 25 - "Mercado automotor Argentino en los últimos 5 años."	55
Figura 26 - "Escenarios de mercado de BEV en Argentina."	56

Figura 27 - “Imagen satelital de zona bajo estudio.”	58
Figura 28 - “Evolución temporal desde el año 2000 hasta el año 2030 de usuarios residenciales en la ciudad de Mar del Plata, energía residencial facturada y energía mensual por usuario.” [2]	59
Figura 29 - “Perfil de consumo en p.u. sábados de octubre.”	60
Figura 30 - “Curva de consumo de un usuario para un sábado de octubre.”	60
Figura 31 - “Consumo medio diario del distribuidor.”	61
Figura 32 - “Consumo pico diario del distribuidor.”	62
Figura 33 - “Esquema básico de sistema eléctrico de potencia.”	63
Figura 34 - “Ventana de comando para configuración de parámetros.” [10]	64
Figura 35 - “Ventana de configuración de parámetros de simulación cuasi-dinamica.” [10]	65
Figura 36 - “Escenarios de operación.”	66
Figura 37 - “Interfaz de determinación de variables y elementos a analizar.”	67
Figura 38 - “Interfaz de PowerBI.”	68
Figura 39 - “Diagrama conceptual.”	69
Figura 40 - “Distribución de probabilidad de llegada a casa día de semana.”	71
Figura 41 - “Representación del ancho de los intervalos por horario.”	72
Figura 42 - “Franja horaria de recarga nocturna.”	72
Figura 43 - “Comparación de la potencia de generación eléctrica en Argentina entre un día tipo, días previos y su previsión correspondiente.” Fuente: Cammesa	73
Figura 44 - “Distribución de probabilidad de recarga nocturna.”	74
Figura 45 - “Diagrama conceptual: Caso 1.”	75
Figura 46 - “Grado de carga de la subestación SE_73S00785, carga en hora pico.”	77
Figura 47 - “Grado de carga de la subestación SE_73S00785, carga en hora resto.”	78
Figura 48 - “Grado de carga de la subestación SE_73S00785, carga en hora valle.”	78
Figura 49 - “Diagrama conceptual: Caso 2.”	80
Figura 50 - “Grado de carga de la subestación SE_73S00047, carga siguiendo hábitos.”	81
Figura 51 - “Diagrama conceptual: Caso 3.”	83
Figura 52 - “Grado de carga de la subestación SE_73S00047, carga nocturna.”	84
Figura 53 - “Comparativa de consumo eléctrico entre caso base, hábitos y recarga en horario valle.”	85

Figura 54 - “Cantidad de SE por encima del 75% de cargabilidad, según caso de simulacion.”	86
Figura 55 - “Diagrama conceptual: ajuste de valores obtenidos.”	87
Figura 56 - “Diagrama conceptual: Ajuste de caso base por consumos residenciales.”	87
Figura 57 - “Cantidad de SE por encima del 75% y 100% de cargabilidad teniendo en cuenta el aumento de consumos residenciales.”	90
Figura 58 - “Diagrama conceptual: Caso 1 (solo pico), ajuste temporal.”	91
Figura 59 - “Carga en Pico de SE a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Alemania.”	91
Figura 60 - “Carga en Pico de SE a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Chile.”	92
Figura 61 - “Diagrama conceptual: Caso 2, ajuste temporal.”	92
Figura 62 - “Carga de las SE considerando habitos a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Alemania.”	93
Figura 63 - “Carga de las SE considerando habitos a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Chile.”	93
Figura 64 - “Diagrama conceptual: Caso 3, ajuste temporal.”	94
Figura 65 - “Carga de las SE considerando recarga nocturna a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Alemania.”	94
Figura 66 - “Carga de las SE considerando recarga nocturna a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Chile.”	95
Figura 67 - “Diagrama conceptual: Ajuste por aumento de consumos residenciales y ajuste temporal del caso 1 (solo pico).”	96
Figura 68 - “Carga en Pico de SE a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Alemania.”	97
Figura 69 - “Carga en Pico de SE a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Chile.”	97
Figura 70 - “Diagrama conceptual: Ajuste por aumento de consumos residenciales y ajuste temporal del caso 2.”	98
Figura 71 - “Carga de las SE teniendo en cuenta habitos de las personas a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Alemania.”	98
Figura 72 - “Carga de las SE teniendo en cuenta habitos de las personas a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Chile.”	99

Figura 73 - “Diagrama conceptual: Ajuste por aumento de consumos residenciales y ajuste temporal del caso 3.”	99
Figura 74 - “Carga Nocturna de SE a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Alemania.”	100
Figura 75 - “Carga Nocturna de SE a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Chile.”	100
Figura 76 - “Superposición de caso base, 10% carga siguiendo hábitos y 10% de carga nocturna para la SE_73S00667.”	101
Figura 77 - “Emisiones de CO ₂ considerando los BEV.”	105
Figura 78 - “Emisiones de CO ₂ considerando los BEV teniendo en cuenta generación limpia.”	106
Figura 79 - "Entorno de configuración de script para el caso hábitos"	112
Figura 80 - “Entorno de configuración de script para modificar parámetros de baterías.”	125

Índice de tablas

Tabla 1 - "Características generales de las baterías recargables." [5]	35
Tabla 2 - "Características generales de las baterías recargables." [5]	35
Tabla 3 - "Clasificaciones de carga de SAE-J1772." [8]	42
Tabla 4 - "Clasificaciones de carga de la IEC-62196." [8]	43
Tabla 5 - "Características autos eléctricos." [2]	52
Tabla 6 - "Resultados obtenidos sobre movilidad eléctrica en Mar del Plata." [2]	53
Tabla 7 - "Distancia promedio del viaje más frecuente en Mar del Plata."	54
Tabla 8 - "Valores de consumo máximo instantáneo."	62
Tabla 9 - "Cargabilidad subestaciones caso 1, carga en pico."	76
Tabla 10 - "Cargabilidad subestaciones caso 1, carga en resto."	76
Tabla 11 - "Cargabilidad subestaciones caso 1, carga en valle."	77
Tabla 12 - "Caída de tensión máxima en bornes de subestaciones caso 1, carga en pico."	79
Tabla 13 - "Caída de tensión máxima en bornes de subestaciones caso 1, carga en resto."	79
Tabla 14 - "Caída de tensión máxima en bornes de subestaciones caso 1, carga en valle."	80
Tabla 15 - "Cargabilidad subestaciones caso 2, carga siguiendo hábitos."	81
Tabla 16 - "Caída de tensión máxima en bornes de subestaciones caso 2, carga siguiendo hábitos."	82
Tabla 17 - "Cargabilidad subestaciones caso 3, carga nocturna."	83
Tabla 18 - "Caída de tensión máxima en bornes de subestaciones caso 3, carga nocturna"	84
Tabla 19 - "Evolucion de la cargabilidad del caso base considerando el aumento de los consumos residenciales."	89
Tabla 20 - "Factor de corrección de energía consumida por los usuarios residenciales."	89
Tabla 21 - "Factores de emision para combustibles."	102
Tabla 22 - "Combustibles consumidos en Argentina en 2022 en centrales de energía eléctrica."	103
Tabla 23 - "CO ₂ liberado a la atmosfera en Argentina en 2022."	103
Tabla 24 - "Autos a combustion interna tipicos de Argentina."	104

Lista de abreviaciones

MCI: Motor de combustión interna

EV: Vehículo eléctrico.

BEV: Vehículo eléctrico a batería.

HEV: Vehículo eléctrico híbrido.

PHEV: Vehículo eléctrico híbrido enchufable.

BT: Baja tensión.

MT: Media tensión.

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers.

GM: General Motors.

AC: Alternating current.

DC: Direct current.

SAE: Society of Automotive Engineers.

IEC: International Electrotechnical Commission.

EDEA: Empresa Distribuidor de Energía Atlántica.

SEP: Sistema eléctrico de potencia.

YPF: Yacimientos Petrolíferos Fiscales.

ENRE: Ente Nacional Regulador de la Electricidad.

DPL: DigSILENT Programming Language.

SE: Subestación.

VCI: Vehículo de combustión interna.

GEI: Gases de efecto invernadero.

CO₂: Dióxido de carbono.

CO: Monóxido de carbono.

NO_x: Óxidos de nitrógeno.

HC: Hidrocarburos no quemados.

DB: Decibel.

W: Watts.

1. Introducción

Actualmente, el consumo de combustibles fósiles para la electrificación o el transporte es 100.000 veces mayor que el ritmo al que las crean las fuerzas naturales. A medida que se siguen consumiendo los combustibles fácilmente explotables estos se vuelven más costosos y difíciles de extraer. En 1900, el número de coches eléctricos superaba al de gasolina por casi un factor de dos. Además de ser menos contaminantes, los coches eléctricos de 1900 eran máquinas silenciosas. Como favoritos de la élite social urbana, los coches eléctricos eran los preferidos, ya que no requerían los difíciles y bastante peligrosos arranques manuales. Esto llevó al desarrollo de vehículos eléctricos (EV) por parte de más de 100 fabricantes. [1]

Sin embargo, el peso de estos vehículos, el largo tiempo de recarga y la escasa durabilidad de las baterías eléctricas redujeron la capacidad de los coches eléctricos para ganar presencia en el mercado a largo plazo. Una libra de gasolina contenía una energía química equivalente a 100 libras de baterías de plomo-ácido. Repostar gasolina al coche requería sólo unos minutos, el suministro de gasolina parecía ser ilimitado y la entrega a larga distancia de mercancías y pasajeros era relativamente barata y fácil. Esto llevó a la virtual desaparición de los coches eléctricos en 1920. [1]

Para mediados de 1900, las discusiones sobre el agotamiento inminente de suministros de petróleo, la creciente demanda de combustibles fósiles comenzó a avivar los inventos de sistemas de energía alternativa y el descubrimiento de fuentes de energía alternativas. Hacia mediados de los años 70, la escasez de petróleo llevó a un desarrollo agresivo de programas de vehículos eléctricos. Sin embargo, un suministro de petróleo temporalmente estable y un avance bastante lento en la tecnología de energía alternativa para baterías de tracción volvieron a obstaculizar el desarrollo de vehículos eléctricos. [1]

En la década de 1990, las preocupaciones tanto por el crecimiento mundial de la demanda de combustibles fósiles para el transporte, especialmente el petróleo, como por la reducción de emisiones de vehículos han vuelto a intensificar el desarrollo de vehículos eléctricos. Esto, a su vez, ha llevado a avances en la investigación y desarrollo de baterías de tracción para vehículos eléctricos. [1]

Ante el crecimiento exponencial que está teniendo el vehículo eléctrico en las grandes ciudades del mundo, y su fomento por parte de los estados, dada su alta eficiencia, bajas emisiones y bajo costo por kilómetro recorrido, es necesario realizar evaluaciones de las redes eléctricas actuales en cuanto a su capacidad para afrontar una alta penetración de este tipo de vehículos en el parque automotor en los años venideros. [2]

Debido a ello, en el trabajo desarrollado a continuación se analizará el impacto de los EV en la red de distribución de la ciudad de Mar del Plata. Dado que sería demasiado extenso realizar un análisis completo de toda la red eléctrica se elige un distribuidor

1. Introducción

representativo. Se utilizará el software DIgSILENT PowerFactory (Licencia Estudiantil) para simular el distribuidor y ver su reacción en distintos escenarios.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos específicos

- Estimar el grado de penetración máximo que la red de distribución en estudio puede soportar. Para este objetivo en particular, se tendrán en cuenta 3 casos:
 - Caso 1: carga descontrolada en pico, resto y valle.
 - Caso 2: carga considerando los hábitos de las personas.
 - Caso 3: carga considerando una tarifa diferencial en horario valle.
- Estimar el tiempo aproximado en el cual el distribuidor el bajo estudio comenzará a tener sobrecargas y/o caídas de tensión inadmisibles, debido a la carga de EV.

1.1.2. Objetivos secundarios

- Desarrollar un método, práctico y ágil, para la carga de curvas de consumo del software de simulación, que permita la variación de los diferentes parámetros.
- Proveer una base de datos con los diversos parámetros de la red (potencias, corrientes, tensiones, etc.), obtenidos de la simulación a través de software, para una gran variedad de escenarios posibles, que estén disponibles para estudios en futuros trabajos de investigación.

1.2. Legislación nacional e internacional sobre la movilidad eléctrica

1.2.1. Argentina

Argentina se encuentra rezagada con respecto al resto de la región en las iniciativas orientadas a la producción y difusión de EV. A nivel legislativo, miembros de la Asociación Argentina de Vehículos Eléctricos y Alternativos (AAVEA) presentaron un proyecto de ley en 2017 cuyo objetivo es establecer un marco regulatorio que promueva la producción, comercialización y uso de EV u otros vehículos alternativos sustentables a nivel ambiental. Los principales instrumentos se basan en incentivos a la oferta (por ejemplo, reducción de impuestos a la importación), a la demanda (como subsidios al financiamiento de las compras de EV y cargadores eléctricos), a la utilización de EV (acceso a carriles, zonas, y horarios exclusivos, entre otros), y el apoyo a pioneros y experiencias piloto demostrativas mediante reducciones impositivas. Existe otro proyecto orientado a difundir los EV en la Argentina, presentado en noviembre de 2017 por el diputado Juan Carlos Villalonga, que utiliza instrumentos similares. En el sector eléctrico, ese mismo año Argentina aprobó la Ley 27.424 para el fomento de la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública, lo que se considera un cambio regulatorio propicio para la difusión de los EV, ya que flexibiliza el funcionamiento del sistema eléctrico. A nivel

1. Introducción

subnacional, en 2018 la provincia de Santa Fe sancionó la Ley Nº 13.781 que fomenta la producción de EV y sus componentes en la provincia, con incentivos como exenciones impositivas y tarifas promocionales por diez años, prorrogables por diez años adicionales. [3]

Por otro lado, también en 2018 Argentina inició el desarrollo de su Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica con el apoyo de ONU Medio Ambiente (MOVE), institución que está fomentando iniciativas similares en el resto de la región. Ese mismo año se modificó la Ley de Tránsito mediante el Decreto 32/2018, incorporándose las categorías de EV (incluyendo segmentos de micro movilidad eléctrica) con base en su potencia máxima (en kW), y los requisitos para su homologación. En 2019, mediante el Decreto 26/2019, el Poder Ejecutivo Nacional modificó las clasificaciones de las licencias de conducir para incluir a los EV. Paralelamente, la Legislatura de la Ciudad de Buenos Aires aprobó la ley que regula el uso de los monopatines eléctricos en la ciudad. [3]

A nivel del comercio exterior, una iniciativa concreta fue el Decreto 331/2017, que redujo los derechos de importación extrazona de EV por 36 meses para un cupo máximo de 6.000 vehículos; para localizarlos en un rango entre un 5% y 0% según el tipo de EV y si el vehículo se arma o no en el país. Esta cuota, exclusiva para empresas radicadas en el país, estuvo lejos de ser cubierta en su totalidad, por lo que hacia fines de marzo de 2019 el Gobierno Nacional amplió dicho beneficio a las empresas importadoras de vehículos mediante el Decreto 230. [3]

La principal medida que incentiva la difusión de autobuses EV en Argentina es el Decreto 51 del Poder Ejecutivo Nacional, de enero de 2018, que determina una cuota de 350 autobuses eléctricos que pueden ser importados con una preferencia arancelaria por un período de 36 meses. Este arancel es de 0% para las empresas con un plan de producción local aprobado; y del 10% para las restantes, en este caso con un cupo máximo de 60 autobuses por empresa. La producción local contemplada en el plan debe tener volúmenes de producción como mínimo similares a los importados, y con una integración nacional creciente (10% en los primeros dos años, 25% a partir del tercer año). Por fuera de las exigencias del plan de producción local, el decreto determina la importación de 50 autobuses libres de arancel para realizar pruebas piloto, que computan dentro del total de la cuota. En este contexto, en el marco del Plan Movilidad Limpia 2035 de la Ciudad de Buenos Aires se están realizando pruebas piloto de incorporación de autobuses híbridos y 100% eléctricos, con ocho unidades en cuatro líneas de colectivos que transitan por la ciudad. A la par, en la ciudad de Mendoza circulan 18 autobuses EV. Por otro lado, el mencionado Decreto 51/2018 dispone también una cuota de importación de 2.500 cargadores rápidos al 2% de arancel, destinados a la infraestructura de recarga. [3]

La excesiva atomización de la distribución de energía eléctrica a nivel nacional podría generar escollos para unificar el marco regulatorio de dicha actividad. Por ejemplo, en la distribución de energía eléctrica existe una gran cantidad de pequeñas empresas y cooperativas locales en distintas ciudades y pueblos del país, en un sistema eléctrico

1. Introducción

que se fue centralizando a escala nacional e incluso interconectándose a nivel regional. Esta atomización podría llegar a dificultar la unificación de los atributos técnicos de los cargadores (potencia, protocolo de comunicación entre vehículo y cargador, etc.), así como la creación de un sistema de pago unificado; todas ellas condiciones que favorecen la interoperabilidad y reducen el costo de los usuarios. También podría llegar a limitar la posibilidad de implementar a nivel nacional una política de precios diferenciales para la recarga de energía eléctrica por parte de EV, como la que implementó a nivel local la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC) mediante la Resolución N°44 del Ente Regulador de Servicios Públicos. [3]

El fuerte incremento de las importaciones de EV en 2019, luego de más de un año y medio de vigencia de las preferencias del Decreto 331/2017, amerita un análisis particular. En la [Figura 1](#) podemos apreciar que la explosión de las solicitudes de importación mediante la cuota arancelaria se dio a partir del segundo trimestre de 2019. En dicho período entró en vigencia la ampliación del acceso a la cuota arancelaria para las empresas importadoras sin capacidad productiva en el país, mediante el Decreto 230/2019. Esto generó una amenaza latente de mayores importaciones mediante la cuota, con la posibilidad de que esta pudiera ser cubierta, lo que desencadenó la reacción del resto de las automotrices, especialmente de Toyota y Ford, con el objetivo de no desaprovechar estas preferencias arancelarias. [3]

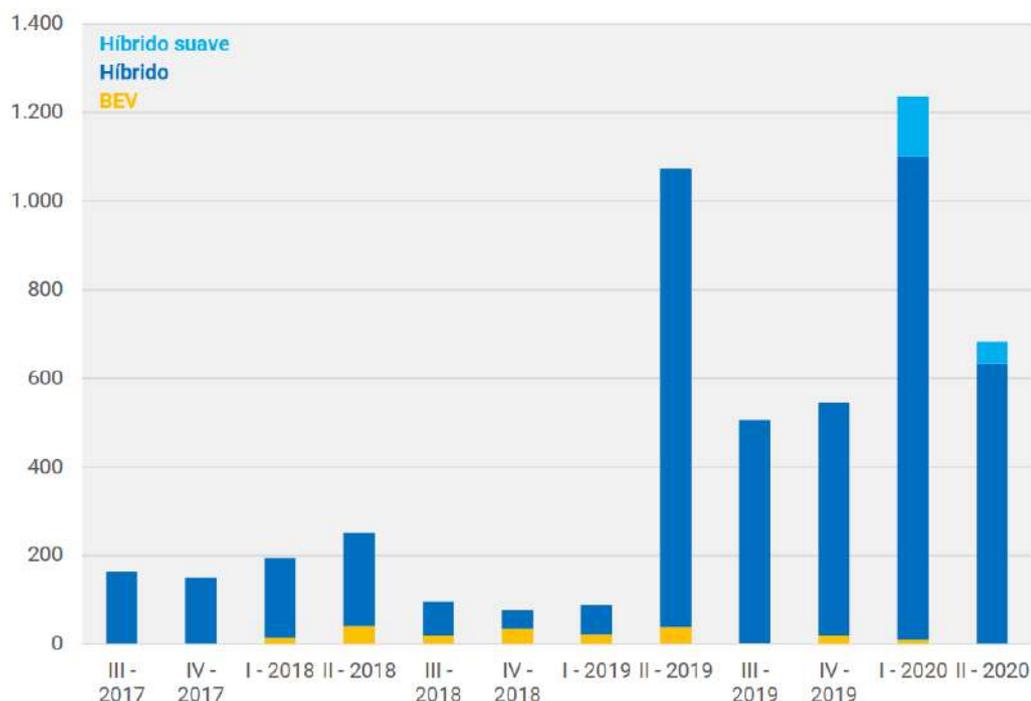


Figura 1 - "Solicitud de importaciones de vehículos híbridos y eléctricos en Argentina" [3]

Por otro lado, en los modelos que componen la cuota podemos apreciar un sesgo hacia los segmentos más onerosos del mercado automotor, ya que la mayoría de los modelos son de alta gama. Esto podría explicarse por dos factores: por un lado, que

1. Introducción

los automóviles EV surgieron y se desarrollaron desde los segmentos más caros del mercado, con consumidores con mayor disposición a afrontar la brecha de precios con VCI equivalentes; por otro lado, como postuló a nivel teórico la literatura económica, que las cuotas de importación aplicadas a una gama de productos heterogéneos tienden a concentrar las importaciones en los productos de mayor valor dentro de dicho universo, ya que allí los importadores maximizan beneficios al acrecentar la renta de la cuota. Es importante destacar que este sesgo podría atender contra uno de los fundamentos de la creación de la propia cuota preferencial mediante el Decreto 331/2017, que en sus considerandos determina que “una de las principales barreras para la adopción de las nuevas tecnologías la constituye el elevado costo de los vehículos con motorización alternativa y el desconocimiento público en cuanto a la utilización de estos”. [3]

Se ha presentado en el año 2021 un proyecto de ley denominado “Ley de promoción de la movilidad sustentable”, el cual tiene objetivo fomentar la incorporación e inversión de los EV en el país. Los puntos más importantes son los siguientes:

Definiciones y alcance:

- Se crea un régimen que promoverá diseño, investigación, innovación, desarrollo, producción, comercialización, reconversión y/o utilización de vehículos propulsados por fuentes de energía sustentables y que también promoverá partes, conjuntos y equipos auxiliares en el territorio del país. [4]
- El objetivo de la ley es promover la utilización creciente y sostenida de vehículos propulsados con fuentes de potencia no convencionales, de producción nacional. Cubre toda la movilidad terrestre: livianos, medianos, pesados, de pasajeros, de carga, la micro movilidad, los experimentales y los designados por la autoridad de aplicación. [4]
- Desde el año 2041 no podrán comercializarse vehículos con motor de combustión interna nuevos en el territorio nacional. [4]

Régimen de beneficios:

- El proyecto de ley establece un régimen de beneficios: tanto para la demanda (público comprador de vehículos) como para la oferta (terminales, e-autopartistas, fabricantes de baterías y cargadores, etc.) [4]
- Establece que el régimen es temporal y dura 20 años, con beneficios decrecientes en el tiempo para acelerar las inversiones, tal como se muestra en la [Figura 2](#). [4]
- Se prevén cuotas de adquisición de vehículos de flota por parte de la administración pública nacional y de recambio en la flota del autotransporte público de pasajeros (AMBA), que serán incentivos significativos para los inversores. [4]

1. Introducción

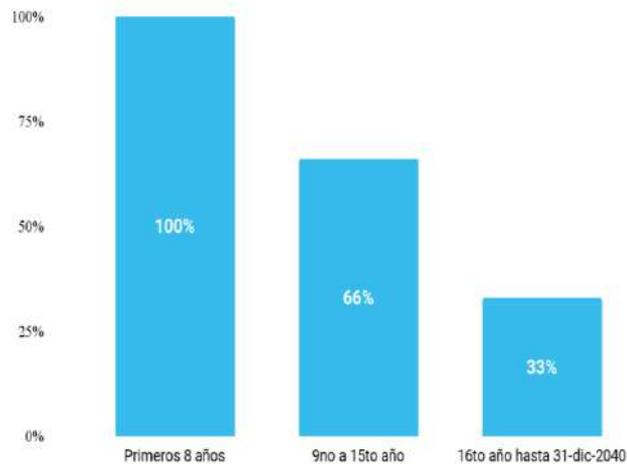


Figura 2 - “Régimen de beneficios escalonados en el tiempo.” [4]

- Para la demanda:
 - Bono verde en forma de descuento directo sobre el precio del vehículo, así como equipo auxiliar (cargadores). [4]
 - Remoción de la base imponible en bienes personales de los vehículos de movilidad sustentable. Y otros beneficios. [4]
- Para la oferta:
 - Se crea un régimen (RENFOMS): Para ser elegible a los beneficios debe presentarse uno o más proyectos productivos. [4]
 - Beneficios fiscales estáticos por la instalación de proyectos productivos de movilidad sustentable. [4]
 - Beneficios fiscales dinámicos por el cumplimiento de metas predeterminadas: exportaciones, creación de fuentes de trabajo, mejora tecnológica y productividad sostenida, desarrollo de proveedores e inserción federal. [4]

El proyecto de ley prevé crear la Agencia Nacional de Movilidad Sustentable, la cual:

- Es el primer régimen productivo argentino con una institución de I+D (investigación y desarrollo) con programas promocionales específicos, enfocada en la movilidad sustentable. [4]
- La agencia Nacional de Movilidad Sustentable tendrá como misión principal promover el desarrollo científico, tecnológico y volcarlo al sistema productivo de la movilidad sustentable. [4]
- La Agencia Nacional de Movilidad Sustentable también realizará observación y vigilancia de las tendencias internacionales, normativa y certificaciones y cambios tecnológicos del sector. [4]

Así como en la Argentina se está trabajando en un marco normativo para fomentar el uso de los EV, a nivel regional también se está trabajando en este asunto. Analizaremos brevemente la situación en Brasil, México y Chile.

1. Introducción

1.2.2. Brasil

Para el caso de Brasil, el plan automotriz Rota 2030, iniciado a mediados de 2018, tiene entre sus directrices el objetivo de incentivar formas alternativas de propulsión de vehículos. Sin embargo, y a pesar de la valiosa existencia de grupos de investigación y programas de posgrado orientados a EV, el financiamiento de I+D para estos vehículos no pertenece a un programa específico de electromovilidad, sino que se enmarca en Inova Energía, un plan más general de desarrollo tecnológico energético; de los más de 100 proyectos financiados entre 2013 y 2016 a partir de este plan, solo 15 fueron para EV. Este escaso financiamiento se refleja, por ejemplo, en el hecho de que se otorgaron patentes de tecnologías de EV en Brasil casi exclusivamente a empresas extranjeras, que buscan proteger los derechos de propiedad intelectual de sus productos (desarrollados en el exterior) en dicho mercado. [3]

A nivel regulatorio, este país presentó incluso un desincentivo a los EV mediante su estructura tributaria por varios años, ya que estos vehículos tributaban un Impuesto a los Productos Industrializados más alto que los VCI de menor cilindrada; problema que ha sido enmendado recientemente. En términos de comercio exterior, desde 2014 existen significativas reducciones de aranceles de importación para EV, que los posicionan entre el 0% y el 7% según el grado de terminación y la eficiencia energética del vehículo. [3]

En infraestructura de recarga de EV, Brasil contó en 2019 con 913 cargadores públicos, prácticamente el doble de los que tenía en 2018 (459). En 2018, la compañía eléctrica EDP y BMW Brasil inauguraron un corredor eléctrico entre San Pablo y Río de Janeiro, con tres cargadores en cada uno de los sentidos de la carretera. A la par, la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) generó cambios regulatorios e institucionales relevantes para la electromovilidad. Por un lado, aprobó una regulación que permite negociar libremente precios especiales para la energía suministrada mediante las estaciones de recarga y que regula otros aspectos técnicos de la actividad. Por el otro, implementó la Tarifa Branca, que es una opción tarifaria para consumidores de baja tensión con tarifa diferencial por banda horaria, con valores más bajos en los valles de la demanda de energía eléctrica y más elevados en los picos diarios, que podría estimular la difusión de EV. Por último, ANEEL creó en ese mismo año la Red de Innovación en el Sector Eléctrico (RISEI) para promover la cooperación entre distintos actores de la actividad en la búsqueda de generar innovaciones en el sector, donde existe un programa especial sobre movilidad eléctrica. [3]

A pesar de estas iniciativas, la difusión de los EV en el mercado brasileño ha sido escasa y muy reciente. En 2019 Brasil contó con un parque de 3.000 automóviles EV (BEV + PHEV), de los cuales 1.910 fueron vendidos ese mismo año. Esto arroja un market share de EV en el mercado de automóviles de apenas el 0,1% en 2019. [3]

El segmento de autobuses EV presenta una mayor trayectoria productiva que el de automóviles en Brasil. La empresa Eletra tiene más de diez años de experiencia en la producción de autobuses híbridos, y lanzó su primer BEV en 2013, el primero de

1. Introducción

producción brasileña de este tipo. Esta empresa exportó autobuses EV a países como Chile y Nueva Zelanda, y participó en 2017 del desarrollo del power train del e-Delivery, un camión BEV de Volkswagen desarrollado y producido en la sede de la automotriz alemana en Resende, Brasil. La empresa china BYD se asoció con la fabricante local de carrocerías Marcopolo para producir autobuses eléctricos en Campinas, con producción que ya está en circulación a nivel local. Por otro lado, la filial de Volvo Buses en Curitiba, que produce camiones y autobuses desde hace décadas, fue la primera fuera de Europa de la automotriz sueca seleccionada para producir autobuses híbridos en 2011. Para ponderar el peso relativo de cada una de esas experiencias, es importante destacar que BYD y Eletra presentaron en 2018 la mayor capacidad instalada, cercana a 1.000 autobuses EV por año, mientras que la capacidad de Volvo fue de 400. Por último, cabe destacar que Mercedes-Benz que produjo el 71% de los autobuses diésel vendidos en Brasil en 2016, para mediados de 2018 aún no había anunciado intenciones de producir autobuses EV en dicho país. El gerente de marketing de la sede de San Pablo de la empresa declaró en junio de 2018 que "una tecnología como los ómnibus eléctricos puede hacer que el subsidio y el costo del sistema de transporte de San Pablo sean aún más caros, las tecnologías deben ser sostenibles tanto en el aspecto ambiental como en el financiero". [3]

1.2.3. México

Según IEA (2020), México contó en 2019 con un parque automotor de BEV Y PHEV de 4.700 unidades con 720 vendidas ese mismo año. El mercado mexicano cuenta con una gran variedad de marcas y modelos de EV: BMW Active 5, BMW i8, Chevrolet Volt, Honda CR-Z, Nissan Leaf, Porsche Cayenne SE, Renault Twizy, Tesla Model S, y Toyota Prius, entre otros. [3]

La difusión de estos EV estuvo incentivada por regulaciones específicas. Por ejemplo, existen exenciones a los impuestos a los vehículos nuevos y a la propiedad automotora de EV, así como una tarifa diferencial para la recarga residencial. A la par, desde febrero de 2017 en México los EV no pagan aranceles a la importación. [3]

En términos de infraestructura, en la Ciudad de México los EV están exentos de las restricciones de circulación; y la ciudad es signataria de la "Fossil Fuel Free Streets Declaration", a partir de la cual se compromete a que circulen solo autobuses eléctricos para 2025 y solo vehículos cero emisiones para 2080 en gran parte de la ciudad. Por otro lado, el Fondo de Transición Energética financió la instalación de 2.017 centros de carga públicos, en el marco del Programa Electrolineras, y existe por parte del gobierno mexicano un 30% de reintegro impositivo para las inversiones en infraestructura pública de recarga. En 2019 México contó con 2.706 cargadores públicos de EV. [3]

En términos de perspectivas a futuro, para realizar prospectivas de mitigación de CO₂ en México Solís y Sheinbaum (2016) plantean como hipótesis un market share de BEV del 1,45% para 2030 y superior al 10% para 2050, en 2019 este market share, considerando tanto BEV como PHEV, fue de apenas el 0,1%. Por su parte, la

1. Introducción

Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, lanzada en septiembre de 2013 y liderada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales apunta a un market share de EV del 5% para 2030, de 50% para 2040 y de 100% para 2050. Sin embargo, a pesar de la existencia de créditos especiales para la producción de EV en México, y de que algunas de las automotrices globales allí instaladas (como Renault, BMW y Ford) anunciaron su intención de fabricar EV, la producción a escala de estos vehículos ha avanzado lentamente. [3]

1.2.4. Chile

A pesar de no ser un productor automotriz significativo, Chile se torna relevante al ser uno de los países latinoamericanos con mayores objetivos e instrumentos para avanzar en la difusión de la electromovilidad, especialmente en el transporte público urbano. Su objetivo es lograr que para el año 2040 el 100% del transporte público sea eléctrico, y que para 2050 los EV acaparen el 40% del parque automotor. [3]

Dentro de los instrumentos utilizados para difundir los EV en Chile, los vehículos eléctricos están exentos del denominado “Impuesto Verde”, que se aplica a los automóviles nuevos y se calcula según su rendimiento (km recorridos por litro de combustible) y emisiones de NOx. A la par, los EV están exentos de la restricción vehicular que rige en Santiago de Chile. A nivel regulatorio, el Decreto 145 del Ministerio de Transporte, en vigencia desde noviembre de 2019, establece requerimientos técnicos y de seguridad de EV. Por ejemplo, determina requisitos de señalización de circuitos de alto voltaje en EV, y regula los tipos de conectores permitidos para su recarga. Se basa en normativa de Estados Unidos, la UE, Corea del Sur y Japón. Por su parte, el Programa de Renovación de Taxis Colectivos, de alcance nacional, define un esquema de financiamiento para renovar flota de taxis, donde se incluye la adquisición de EV destinados a este medio de transporte. [3]

Según IEA (2020), en 2019 Chile contó con un parque automotor de 700 automóviles EV (PHEV + BEV), de los cuales 300 fueron vendidos ese mismo año, lo que representó un market share del 0,1%. Para ese mismo año contabilizó 192 cargadores públicos de EV. Respecto a dicha infraestructura, es importante destacar la existencia de la aplicación EcoCarga, que indica la localización de todos los cargadores públicos de EV del país, así como sus características técnicas. [3]

Por último, a nivel productivo Chile pretende utilizar sus cuantiosas reservas de litio para catapultar la industrialización de este recurso, con eje en las baterías para EV. El principal programa para lograr ese objetivo fue la convocatoria en 2017 de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) e InvestChile para industrializar el litio a nivel local, a la cual se presentaron 12 empresas de distintos países; aquí debe remarcarse la presencia de Samsung SDI (proveedor de baterías para EV de Volkswagen y BMW) para desarrollar material activo de cátodos. Sin embargo, para mediados de 2019 las tres adjudicatarias con proyectos para industrializar el litio chileno se habían retirado de la convocatoria. [3]

1. Introducción

El gobierno de Chile retomó la iniciativa y lanzó una nueva convocatoria, de características similares pero basada en el contrato existente con la minera SQM en el Salar de Atacama, que contempla cláusulas también orientadas a favorecer la industrialización del recurso a nivel local (acceso al 25% de la producción de SQM a un precio preferencial). En la búsqueda de evitar los inconvenientes de la convocatoria basada en la producción de Albemarle, se definieron más claramente las condiciones de este nuevo llamado, especialmente la fórmula de cálculo del precio preferencial y la calidad del producto al que acceder. En este sentido, es importante destacar que SQM produce tanto carbonato como hidróxido de litio. En junio de 2020, la empresa chilena Nanotec fue adjudicada en el marco de esta nueva convocatoria para llevar adelante un proyecto que busca desarrollar nanopartículas de litio destinadas a la fabricación de baterías de carga rápida y bajo costo aplicables a dispositivos electrónicos y médicos. [3]

1.3. Estado del arte de la tecnología de los EV

1.3.1. Autos eléctricos

1.3.1.1. Autos eléctricos en la historia

Los vehículos eléctricos no son una innovación reciente. Han existido casi desde el mismo momento que los propulsados por motores de combustión interna. Fueron producidos por primera vez a mediados del siglo XIX. Las primeras implementaciones de vehículos eléctricos estaban basadas en baterías no recargables (primarias), pero recién en el año 1859, junto al desarrollo de la tecnología, es que se presenta la invención de la batería recargable de plomo-acido por el físico francés Gastón Planté. Este desarrollo permitió la viabilidad de los vehículos eléctricos. [5]

El interés en los vehículos propulsados por un motor eléctrico aumentó considerablemente en la década de 1890 y principios de 1900. Se contó con varias marcas que se lanzaron a producir vehículos eléctricos. Entre las primeras se encuentra la empresa estadounidense Baker Motor Vehicle, originaria de Ohio (EE. UU.), que en 1899 produjo el Baker Electric, un vehículo de dos asientos, que tenía una velocidad máxima de 23 km/h y cuyo precio fue de 850 dólares. [5]

En el año 1902 la empresa estadounidense Studebaker Brothers Manufacturing Company presentaba el vehículo Studebaker Electric. Dicha empresa se dedicó a mercado de los vehículos eléctricos hasta 1912, con precios desde los 950 dólares hasta los 1.800, una autonomía que iba desde los 50 a los 130 km con velocidades de 5 a los 29 km/h. [5]

Otras marcas que iniciaron el camino de los vehículos eléctricos fueron Anthony Electric, Detroit y Edison entre otras. Durante los principios del siglo XX tuvieron relativo éxito comercial. [5]

En esa primera década del siglo XX, los vehículos eléctricos basaban su popularidad por su facilidad de uso y menores ruidos que los de gasolina. En los comienzos

1. Introducción

también fueron comercializados para las mujeres, como un coche tranquilo, limpio y especialmente al no requerir el arranque manual con manivela que necesitaban los automóviles de gasolina de la época. [5]

A comienzos de siglo XX, en Estados Unidos el 40% de los automóviles eran impulsados a vapor, el 38% eran eléctricos, y el 22% de gasolina. En ese país se habían registrado 33.842 coches eléctricos. Las ventas de coches eléctricos alcanzaron su punto máximo en la década de 1910. [5]

Pero no todas las noticias son buenas para el vehículo eléctrico, ya que para la década de 1920 se encuentra el primer declive de esta tecnología. Esto se basa en el descubrimiento de nuevas y grandes reservas de petróleo, las cuales llevaron a la disminución de precios de la gasolina, haciendo que los coches de combustión interna sean más baratos de operar. A esto se suma la mejor autonomía y velocidades de los vehículos a combustión, lo cual conspiró profundamente para que el vehículo eléctrico basado en baterías no pudiera competir de igual a igual con los vehículos a combustión. [5]

Luego de la segunda guerra mundial se apreció un nuevo interés en el desarrollo de los vehículos eléctricos, los principales vehículos que alcanzaron cierta comercialización fueron el Henney Kilowatt (año 1959), perteneciente a la empresa Henney Motor Company, el CitiCar (1974), fabricado por la empresa Sebring, y el Lectric Leopard (1979) de la empresa U.S. Electricar Corporation. [5]

Más cerca en el tiempo se tienen vehículos eléctricos más conocidos, como el modelo EV-1 de General Motors, el cual fue comercializado desde fines de los 90, el cual contaba con motor de potencia de 137 CV (100,7 kW) y una batería que permite una autonomía de 200 km. Las primeras versiones del EV1 se fabricaban con baterías de plomo-ácido, las cuales luego fueron sustituidas por baterías de Ni-Mh. [5]

En el año 1997, Toyota presentó su modelo Prius, el cual, si bien no es un vehículo puramente eléctrico, es el vehículo híbrido más popular a nivel mundial comercializado hasta la fecha. [5]

Desde hace varias décadas, el mayor avance se obtiene del desarrollo de las baterías, piedra angular del coche eléctrico. Las mismas inicialmente eran de plomo o níquel, su capacidad era reducida y no podrían transmitir la potencia suficiente. [5]

La constante investigación sobre el tema ha brindado grandes avances para que más empresas comiencen a plantearse seriamente en tener modelos de vehículos puramente eléctricos. [5]

En el año 2003 surge la empresa Tesla, la cual comienza a diseñar vehículos con grandes prestaciones. En el año 2006 se lanza el Tesla Roadster, el cual posee una autonomía de casi 400 km y es capaz de alcanzar los 200 km/h. [5]

1. Introducción

En los últimos años, más fabricantes se suman a la revolución de los vehículos eléctricos. En 2010 Nissan lanzó el modelo Leaf, el cual, hoy en día, se mantiene como el modelo eléctrico más vendido en el mundo (más de 100.000 unidades). [5]

Hoy en día existen legislaciones y beneficios para promover la utilización de vehículos eléctricos en la mayoría de los países. Esto junto con una correcta distribución de estaciones de carga permite pensar que el futuro de los vehículos eléctricos está llegando. [5]

1.3.1.2. Autos eléctricos en la actualidad

A nivel mundial, en el año 2011 se vendieron 130.000 autos eléctricos. En 2021, 10 años después, la venta de autos eléctricos alcanzó un pico máximo con 6,6 millones de unidades. Actualmente, unos 16 millones de autos eléctricos circulan en todo el mundo, aunque aún no alcanza este número el 10% del mercado global. De acuerdo con el último informe de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), las ventas durante el 2021 duplican a las del 2020, a pesar del contexto de la pandemia. Es decir, en la curva exponencial creciente de la [Figura 3](#), en el último año se alcanza a duplicar las ventas del año anterior. El mercado que lidera este crecimiento es China, que durante 2021 vendió más autos que todos los vendidos en el mundo durante el 2020 siguiendo su objetivo de llegar a cubrir el 20% del parque automotor para el año 2025. Le siguen los países europeos, que persiguen la meta de llegar a 2035 con producción nula de autos con motor de combustión interna, y Estados Unidos, que ya cuenta con un 4,5% de su parque automotor impulsado con motores eléctricos. Entre China, Europa y EEUU, se concentra el 67% de los autos (de todo tipo) de todo el mundo, y si solo se tienen en cuenta los eléctricos, concentran el 90% del parque automotor mundial. Exceptuando a Corea, que alcanzó un parque automotor eléctrico del 8% a nivel local, los restantes países del mundo no alcanzan a cubrir el 2% de su parque automotor con vehículos eléctricos. [2]

1. Introducción

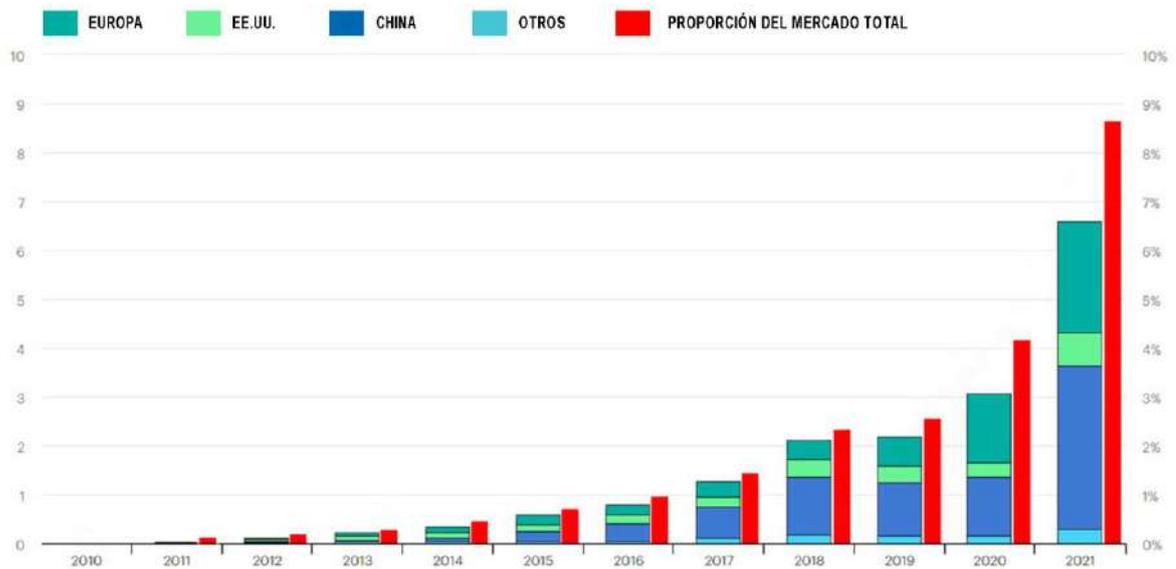


Figura 3 - “Porcentajes de ventas mundiales de autos eléctricos.” [2]

Esta tendencia mundial sugiere que el advenimiento de este tipo de vehículos en Argentina y la región (Figura 4) es sólo una cuestión de tiempo. Ahora bien, para afrontar escenarios futuros con penetración significativa de vehículos eléctricos en el parque automotor, será necesario evaluar el requerimiento de energía eléctrica, la capacidad de la infraestructura disponible y la necesidad de inversión en nueva infraestructura o repotenciación de la actual para tener una red eléctrica fuerte capaz de afrontar este cambio de paradigma en materia energética.

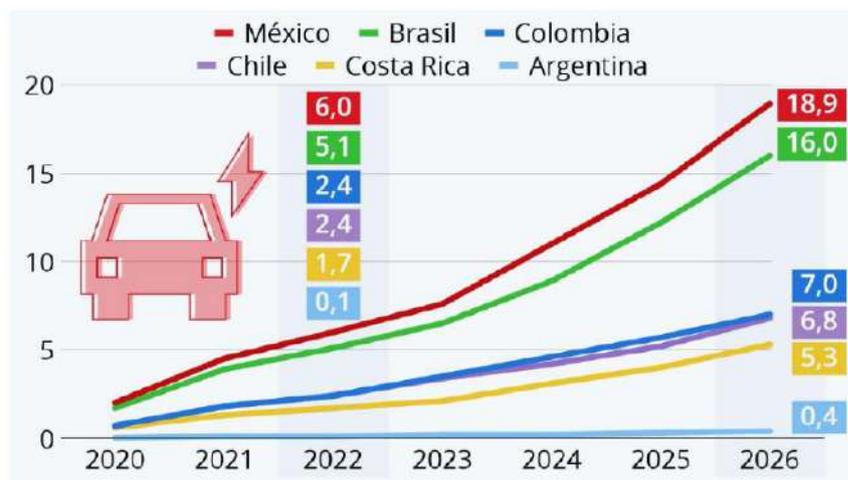


Figura 4 - “Venta de vehículos eléctricos en países latinoamericanos seleccionados (en miles de unidades). Estimaciones realizadas en enero de 2022.” [2]

1.3.1.3. Ventajas y desventajas de los EV

La gran desventaja de los EV para su posicionamiento de mercado es su precio. Las baterías de litio a pesar de su gran densidad energética aún siguen siendo muy caras

1. Introducción

y esto afecta al precio final. Se espera que esto cambie a corto plazo con la producción en masa de las baterías. Aunque los gastos en electricidad al año también son considerablemente menores que los gastos en combustible de los vehículos convencionales y ayudan a amortizar la inversión. [6]

Actualmente, el cuello de botella de los EV es la batería. Su autonomía y el tiempo necesario para la recarga son la principal desventaja frente a los vehículos convencionales en usos prolongados. Al ser las baterías aún muy pesadas, el peso total es mayor y le otorga menor autonomía. [6] Las baterías son el elemento clave del EV, por lo que se ha contemplado también el impacto medioambiental que pueden causar. Cabe destacar que entre los componentes de las baterías se incluyen metales pesados y compuestos químicos que pueden ser perjudiciales para el entorno. Dada la dificultad de tratamiento de estos residuos, hoy en día ya existen plantas de tratamiento y reciclaje de baterías donde se pueden recuperar una parte de sus componentes o, si no es posible, neutralizar el potencial contaminante. [7]

La gran ventaja de los vehículos eléctricos respecto a los vehículos con MCI es que éstos no producen ningún tipo de contaminación en el lugar ni en el momento de su uso. A pesar de ello, pueden producir contaminación indirectamente, si la electricidad utilizada para cargar sus baterías no ha sido producida por fuentes de energía limpias. [14]

Una implantación del EV supondría una mejora inmediata en cuanto a calidad del aire en los núcleos urbanos. Se ha estimado que por cada 1.000 EV que se pusiesen en funcionamiento en una ciudad se conseguiría una reducción 30 toneladas anuales de gases contaminantes (CO, NO_x, HC). [7]

Los motores de los vehículos eléctricos convierten en movimiento cerca de un 90% de la energía que consumen. Por ello, a pesar de que la fuente de energía primaria sea un combustible fósil y que se produzcan pérdidas por calor en otros puntos, el vehículo eléctrico consumirá menos en comparación con uno de combustión interna (con una eficiencia cercana al 30%). Al ser la mecánica del vehículo eléctrico más simple el mantenimiento y sus costos son menores. En ocasiones casi nulos. Además, tienen una vida útil muy superior. [14]

Otro de los factores donde el EV aporta mejoras con respecto a los vehículos de combustión interna es el de la contaminación acústica. El principal causante del ruido de las ciudades es el tránsito de vehículos por las calles, lo que provoca un nivel sonoro de más de 70 dB en la mayoría de las calles. La contaminación acústica constituye uno de los focos principales de conflictividad social y afecta a la salud de las personas en forma de estrés, fatiga, trastorno del sueño, etc. La sustitución progresiva de los vehículos de motor de combustión por EV supondría una importante reducción del nivel sonoro de determinadas zonas, hoy en día excesivo. [7]

1. Introducción

1.3.2. Tipos de vehículos eléctricos

En la actualidad, podemos encontrar distintos tipos de EV, de acuerdo con la tecnología de sus motores. En general, se clasifican en 5 clases:

1.3.2.1. Battery Electric Vehicles (BEV)

Vehículos propulsados al 100% por electricidad. Los BEV no tienen un motor de combustión interna y no usan ningún tipo de combustible líquido. Los BEV usualmente usan grandes paquetes de baterías para dar al vehículo una autonomía aceptable: un BEV típico tiene hoy una autonomía de 160 a 250 km, aunque algunos pueden viajar hasta 400 km con una sola carga. Un ejemplo de este tipo de vehículos es el Nissan Leaf, que es 100% eléctrico y dispone actualmente de una batería de 40 kWh, que le permite tener una autonomía cercana a los 378 km. [8]

La mayoría de los modelos de este tipo incorporan un sistema de recuperación de energía en las desaceleraciones, el cual recarga las baterías en esas situaciones. Las baterías pueden ser recargadas de varias formas (carga en distintas potencias, AC y DC), lo cual da gran versatilidad dependiendo de los recorridos a realizar. [5]

1.3.2.2. Plug-In Hybrid Electric Vehicles (PHEV)

Los híbridos enchufables, al igual que los vehículos híbridos convencionales, cuentan con un motor de combustión, normalmente de gasolina, acompañado por un motor eléctrico. Ambos motores son capaces de mover el coche por sí mismos y también de forma combinada. La principal diferencia radica en que la batería tiene la posibilidad de cargarse a través de la red eléctrica (enchufable) por lo que puede utilizarse como un vehículo totalmente eléctrico para distancias cortas. Por lo tanto, el conductor puede seleccionar el modo de funcionamiento para obligar a que el coche se mueva únicamente con el motor eléctrico, con el de combustión o combinando los dos en función de los requerimientos del recorrido a realizar. [5]

Los PHEV pueden almacenar suficiente electricidad de la red eléctrica para reducir significativamente su consumo de combustible en condiciones de manejo normales. El Mitsubishi Outlander PHEV dispone de una batería de 12 kWh, lo que le permite circular 54 km únicamente con el motor eléctrico. [8]

1.3.2.3. Hybrid Electric Vehicles (HEV)

Los vehículos híbridos convencionales (HEV - Hybrid Electric Vehicle) combinan un motor de combustión con un motor eléctrico. Además, poseen baterías, las cuales no se puede enchufar para recargar, sino que son recargadas mediante un generador accionado por el motor de combustión interna cuando hay excedentes de potencia. Dependiendo del tipo de configuración (serie o paralelo), tanto el motor de combustión como el motor eléctrico pueden llegar a ser los responsables de impulsar el vehículo. Cuando la configuración es en paralelo, tanto el motor eléctrico como el de combustión interna están conectados a las ruedas del vehículo, pudiendo trabajar de forma

1. Introducción

conjunta o por separado. En cambio, en los híbridos en serie, el vehículo se mueve con la potencia que suministra el motor eléctrico, utilizando la electricidad suministrada por el generador accionado por el motor de combustión interna. La finalidad de los vehículos híbridos no es tanto el hecho de poder circular constantemente en modo eléctrico si no reducir el consumo de carburante y la emisión de gases. [5]

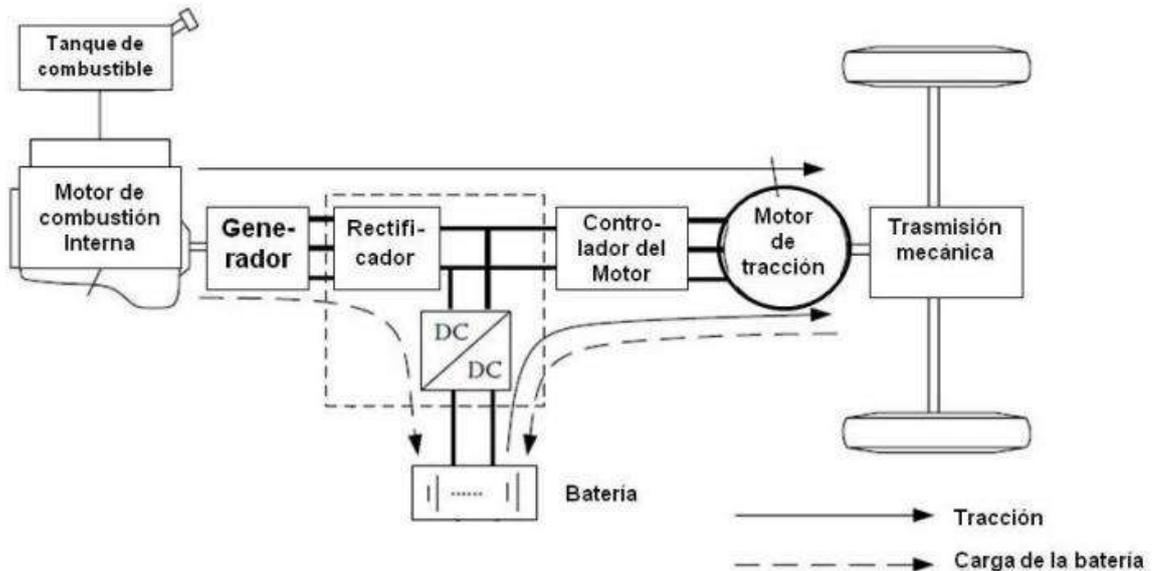


Figura 5 - "Esquema de vehículo híbrido, configuración en serie."

1.3.2.4. Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV)

Los Vehículos eléctricos basados en celdas de combustible (FCEV - Fuel Cell Electric Vehicle) hacen uso de un motor eléctrico, al igual que un BEV, pero en cambio almacenan gas hidrogeno en un tanque. La electricidad se genera a partir de la reacción química que se produce con el hidrógeno: este se oxida perdiendo electrones que se capturan para generar una corriente que alimenta un motor eléctrico. Al igual que los BEV, no generan residuos contaminantes ya que el producto de la combustión es el agua. A diferencia de los BEV o PHEV, no es necesario la recarga con la red eléctrica ya que únicamente se debe llenar el tanque de hidrógeno cuando el mismo es consumido. [5]

Aunque este tipo de vehículos se considera que presenta cero emisiones, hay que tener en cuenta que el hidrógeno utilizado se extrae a partir del gas natural. El Hyundai Nexa FCEV es un ejemplo de este tipo de vehículos, capaz de recorrer 580 km sin repostar. [8]

1.3.2.5. Extended-range EV (ER-EV)

Estos vehículos son muy similares a los BEV, pero además cuentan con un motor supletorio de combustión que recarga las baterías del vehículo en caso de necesidad. Dicho motor, a diferencia del que disponen los PHEV y los HEV, solo se utiliza para la recarga, por lo que no está conectado a las ruedas del vehículo. Un ejemplo de este tipo de vehículos es el BMW i3, que dispone de una batería de 33,2 kWh, lo que le

1. Introducción

permite tener una autonomía de 300 km en su modo eléctrico, a los cuales habría que añadir 130 km más en su modo Extended-range. [8]

1.3.3. Baterías

Las celdas o baterías se pueden clasificar según sean recargables (baterías o celdas secundarias) o sólo para descarga (baterías o celdas primarias).

1.3.3.1. Baterías primarias

Estas baterías no están diseñadas para ser recargadas, por lo tanto, deben ser desechadas luego de su descarga. Generalmente son baratas y livianas, características que las hacen atractivas para múltiples aplicaciones. Algunos ejemplos de uso son la alimentación de dispositivos portátiles, de iluminación, equipos fotográficos, juguetes, dispositivos de memoria, y una gran variedad de aplicaciones. Las mayores ventajas son una buena vida útil, una alta densidad de energía (siempre que se les extraiga corriente en tasas de bajas a moderadas), poco o ningún mantenimiento y facilidad de uso. Se utilizan baterías primarias de gran capacidad en aplicaciones militares, de señalización, para alimentación de respaldo, entre otras. [5]

Las más conocidas son las baterías primarias cilíndricas (“pilas” no recargables), también son conocidas las pilas planas de botón y pilas multi celdas utilizando estas celdas básicas como componentes. [5]

1.3.3.2. Baterías secundarias

Estas baterías pueden cargarse y descargarse eléctricamente. La recarga se realiza mediante la circulación de corriente en el sentido opuesto al de la descarga. Son conocidas como dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica y también se conocen como “acumuladores”. Las aplicaciones de las baterías secundarias se pueden dividir en dos categorías principales. Cuando se utilizan esencialmente como baterías primarias y luego se recargan para volver a utilizar, y cuando se utilizan como dispositivos de almacenamiento de energía o “acumuladores”. Los acumuladores son generalmente cargados por una fuente de energía principal para luego volcar la energía almacenada hacia las cargas cuando sea necesario o conveniente. Algunos ejemplos de aplicación son los bancos de baterías de respaldo o de reserva, las UPS, entre muchas otras. [5]

Las baterías secundarias se caracterizan (además de su capacidad para ser recargadas) por alta densidad de potencia, alta tasa de descarga y curvas de descarga planas. Sus densidades de energía suelen ser más bajas que de las baterías primarias. La retención de carga también es menor que la de la mayoría de las primarias, sin embargo, la capacidad perdida de las baterías secundarias puede restablecerse mediante recarga. [5]

1. Introducción

1.3.3.3. Materiales utilizados

1.3.3.3.1. Batería de Plomo-Acido

Una batería inundada o húmeda es aquella que requiere mantenimiento mediante la reposición periódica de agua destilada. El agua se agrega en cada celda de la batería a través del tapón de ventilación. Incluso hoy en día, algunas aplicaciones de suministro de energía ininterrumpida de gran envergadura utilizan baterías de plomo-ácido inundadas como solución de respaldo. Aunque tienen una vida útil considerable de hasta 20 años, se sabe que operan durante un período más largo (hasta 40 años en el caso de una celda redonda de Lucent Technologies). [1]

El diseño de una batería de plomo-ácido inundada consta de placas negativas hechas de plomo (o una aleación de plomo) intercaladas entre placas positivas hechas de plomo (o una aleación de plomo) con calcio o antimonio como aditivo. El aislante (llamado separador) es un material microporoso que permite que la reacción química ocurra mientras evita que los electrodos entren en cortocircuito debido al contacto. [1]

Al cargar o aplicar una corriente eléctrica, la batería de plomo-ácido inundada experimenta una reacción electroquímica. Esto crea el potencial o voltaje de la celda. Basado en el principio de la electroquímica, dos metales diferentes (placas positivas y negativas) tienen una diferencia de potencial (voltaje de celda). Al ensamblar las placas, se aplica una carga flotante a la batería para mantener una carga o polarización de las placas. [1]

Este tipo de batería es muy común en los vehículos convencionales, pero también ha sido utilizada en los vehículos eléctricos. Tiene una relación energía-peso muy baja y una baja relación energía-volumen. [8]

1.3.3.3.2. Batería de NiMH (níquel-metal hidruro)

La batería de NiMH se considera un sucesor del sistema de batería de Níquel Cadmio (Ni-Cd), que dominó el mercado durante mucho tiempo. Estas celdas existen desde principios de siglo. El sistema de batería de Ni-Cd comenzó de manera modesta, pero con avances significativos en las últimas cuatro décadas desde la década de 1950, la capacidad específica de las baterías se ha mejorado cuatro veces. Un fuerte crecimiento en el mercado de dispositivos electrónicos con baterías recargables, como computadoras portátiles, teléfonos móviles y cámaras de video, ha impulsado aún más los requisitos de rendimiento de las baterías, en particular la duración del servicio. Este factor, junto con preocupaciones medioambientales, ha acelerado el desarrollo del sistema NiMH alternativo. Desde sus inicios a principios y mediados de la década de 1980, la cuota de mercado de las baterías NiMH recargables ha crecido hasta alcanzar el 35%, y la capacidad, en particular la capacidad de carga elevada ha mejorado de manera significativa. [1]

1. Introducción

Las publicaciones científicas y la literatura de patentes ofrecen una gran cantidad de informes sobre diferentes aspectos de las baterías de NiMH, incluyendo la química y las propiedades de almacenamiento de hidrógeno de los materiales del cátodo. [1]

Aunque presentan un mayor nivel de autodescarga que las de níquel-cadmio, este tipo de baterías se utilizan en muchos vehículos híbridos, como por ejemplo el Toyota Prius y la segunda versión del GM EV1. El Toyota RAV4 EV, además de tener una versión con batería de plomo-ácido, también tuvo otra con baterías de níquel e hidruro de metal. [8]

1.3.3.3.3. Batería de Li-ion

Las baterías de iones de litio (ion-litio) son el tercer tipo más probable de ser comercializado para aplicaciones de vehículos eléctricos (VE). Debido a que el litio es el metal con el mayor potencial negativo y el peso atómico más bajo, las baterías que utilizan litio tienen el mayor potencial para lograr el avance tecnológico que proporcionará a los VE las mejores características de rendimiento en términos de aceleración y autonomía. Desafortunadamente, el litio metálico, por sí solo, es altamente reactivo con el aire y con la mayoría de los electrolitos líquidos. Para evitar los problemas asociados con el litio metálico, se utilizan carbonos gráficos intercalados con litio (LiC), que muestran un buen potencial para un alto rendimiento, manteniendo al mismo tiempo la seguridad de la celda. [1]

Durante la descarga de una batería ion-litio, los iones de litio (Li^+) se liberan desde el ánodo y viajan a través de un electrolito orgánico hacia el cátodo. Los electrolitos orgánicos (es decir, no acuosos) son estables frente a la reducción por el litio. La oxidación en el cátodo es necesaria, ya que el litio reacciona químicamente con el agua de los electrolitos acuosos. Cuando los iones de litio alcanzan el cátodo, se incorporan rápidamente en el material del cátodo. Este proceso es fácilmente reversible. Debido a la rápida reversibilidad de los iones de litio, las baterías ion-litio pueden cargar y descargar más rápido que las baterías de plomo-ácido y NiMH. Además, las baterías ion- litio producen la misma cantidad de energía que las celdas de NiMH, pero suelen ser un 40% más pequeñas y pesar la mitad. Esto permite usar el doble de baterías en un VE, duplicando así la capacidad de almacenamiento de energía y aumentando la autonomía del vehículo. [1]

Las baterías ion-litio deben operar dentro del área de operación segura y confiable, que está restringida por las ventanas de temperatura y voltaje. Exceder las restricciones de estas ventanas dará lugar a una rápida atenuación del rendimiento de la batería e incluso dará como resultado un problema de seguridad, pudiendo incendiarse o incluso explotar, ya que a partir de los 150 °C comienzan a destruirse los electrolitos [LHL+13]. Este tipo de baterías es el más utilizado actualmente por la mayoría de EV y PHEV. [8]

1. Introducción

1.3.3.3.4. Batería de Li-Polímero

Las baterías de polímero de litio se consideran el cuarto tipo de batería más probable de ser comercializado para aplicaciones de vehículos eléctricos. El descubrimiento de sólidos no metálicos capaces de conducir iones ha permitido el desarrollo de estas baterías. Las baterías de polímero de litio tienen ánodos hechos de litio o carbono intercalado con litio. Uno de los cátodos candidatos bajo evaluación contiene óxido de vanadio (V_6O_{13}). Esta química de batería en particular tiene uno de los mayores potenciales para la mayor energía específica y potencia. Desafortunadamente, los desafíos de diseño asociados con la cinética de los electrodos de la batería, la capacidad del cátodo y el ánodo para absorber y liberar iones de litio, han resultado en una menor potencia específica y una vida útil limitada para las baterías de polímero de litio. [1]

El colector de corriente actual para las baterías de polímero de litio suele estar hecho de lámina de cobre o aluminio rodeada de un material de baja conductividad térmica, como poliuretano. La carcasa de la batería está hecha de polipropileno, polipropileno reforzado o poliestireno. [1]

Las baterías de polímero de litio se consideran baterías de estado sólido, ya que su electrolito es sólido. El electrolito polimérico más común es el óxido de polietileno complejado con una sal electrolítica adecuada. Los polímeros pueden conducir iones a temperaturas superiores a aproximadamente 60°C (140°F), lo que permite reemplazar electrolitos líquidos inflamables por polímeros de alto peso molecular. Dado que la conductividad de estos polímeros es baja, las baterías deben construirse en películas delgadas que varían de 50 a 200 μm de espesor. Sin embargo, existe una gran ventaja en cuanto a seguridad en este tipo de construcción de baterías. Debido a que la batería es de estado sólido por diseño, los materiales no se mezclarán y el electrolito no se derramará en caso de que haya una ruptura en la carcasa de la batería durante un accidente. Debido a que el litio se intercala en los ánodos de carbono, el litio está en forma iónica y es menos reactivo que el litio metálico puro. Otra ventaja importante de este tipo de construcción de baterías es que una batería de polímero de litio se puede formar en cualquier tamaño o forma, lo que brinda a los fabricantes de vehículos una considerable flexibilidad en la forma en que se incorpora la batería en los diseños de vehículos futuros. [1]

1.3.3.4. Características de las baterías

Una batería para VE debe presentar ciertas características, como proporcionar la máxima potencia y energía posibles, poseer elevada densidad de potencia y energía, ocupar el mínimo tamaño y ser ligera. En la [Tabla 1](#) y [Tabla 2](#) puede observarse una comparación entre los tipos de batería presentes en el mercado, una breve descripción de sus particularidades más relevantes a la hora de analizar su adaptabilidad para alimentar un vehículo eléctrico y un comentario sobre el nivel de adecuación de esta para la aplicación en vehículos eléctricos. [5]

1. Introducción

Tipo de batería	Particularidad	Adecuación
Plomo-ácido	Pesada, recarga lenta, tóxico	Ninguna
NiCd	Cara, efecto memoria	Muy baja
NiFe	Baja potencia, eficiencia reducida	Ninguna
NiMH	Alto mantenimiento, deterioro, efecto memoria	Baja
Li-ion	Muy caras, sin efecto memoria, bajo mantenimiento, alta eficiencia y energía	Muy buena
$LiFePO_4$	Alto coste, mayor potencia, más duración, menor densidad de energía	Muy buena
LiPo	Mucha energía y potencia, coste muy elevado, baja duración	Reducida
ZEBRA	Baja potencia, mucho espacio, muy duraderas, respuesta lenta	Media-baja
Al-aire	Problemas de recarga, poco fiable, altísima capacidad y energía	Muy baja
Zn-aire	Fiabes, mucha energía, coste moderado, escaso desarrollo	Muy alta (futuro)

Tabla 1 - "Características generales de las baterías recargables." [5]

	Pb-PbO ₂	Ni-Cd	Ni-MH	Zn-Br ₂	Na-NiCl	Na-S	Li-Ion
Temperatura de trabajo (°C)	-20-45	0-50	0-50	20-40	300-350	300-350	-20-60
Energía específica (Wh/kg)	30-60	60-80	60-120	75-140	160	130	100-275
Densidad de energía (Wh/l)	60-100	60-150	100-300	60-70	110-120	120-130	200-735
Potencia específica (W/kg)	75-100	120-150	250-1,000	80-100	150-200	150-290	350-3,000
Voltaje de celda (V)	2.1	1.35	1.35	1.79	2.58	2.08	3.6
Ciclos de vida	500-800	2,000	500	>2,000	1,500-2,000	2,500-4,500	400-3,000

Tabla 2 - "Características generales de las baterías recargables." [5]

De las baterías que se encuentran en el mercado, las de ion-litio son las que mejor se adaptan a los requerimientos de los vehículos eléctricos en la actualidad. [5]

1.3.4. Tipos de conectores

Además del cargador en sí, un aspecto que importa también es el conector. En la actualidad existen distintos tipos de conectores para coches eléctricos en el mercado. Una variedad que puede llegar a crear confusión en los usuarios. Aunque se está tratando de normalizar los tipos de conectores para normalizarlos, vamos a describir brevemente los que solemos encontrar habitualmente:

1. Introducción

1.3.4.1. Conector Schuko

El comúnmente denominado como “enchufe doméstico”. Es el conector más común en Europa y el más usado en la gran mayoría de aparatos eléctricos. [4]

También es el más común en patinetas, motocicletas y bicicletas eléctricas. No es el más idóneo para cargar el coche eléctrico en la vía pública porque lleva un tiempo de carga bastante prolongado, pero tiene la ventaja de conectarse en cualquier tomacorriente. Por lo tanto, brinda la posibilidad al usuario de cargar el EV conectando el cargador en su propia casa. Incluso puede hacer uso, si se tiene la posibilidad, de la tarifa diferenciada nocturna y pagar menos por la energía. [4]



Figura 6 - “Conector Schuko.” [5]

1.3.4.2. Conector Tipo 1 (SAE J1772)

Conocido también como el SAE, es el conector típico de corriente monofásico: fase, neutro y tierra con dos pines más de contacto con el coche y un sistema de seguridad que bloquea el conector y evita que se pueda desconectar por alguien que no sea el usuario del coche. La intensidad máxima es de 32 A en monofásico, permitiendo una potencia máxima de 7,4 kW. [4]

Este tipo de adaptadores es más común en Asia, en Europa no hay muchos cargadores de coches eléctricos que ofrezcan la posibilidad de conectar a este conector, pero siempre estarán los adaptadores. [4]

1. Introducción



Figura 7 - "Conector Tipo 1 (SAE J1772)" [5]

1.3.4.3. Conector Tipo 2 (IEC 62196-2)

Es el homologado como el standard europeo. Conocido como Mennekes, ha heredado su nombre por la que fue en su momento la primera marca en comercializarlos. Este conector de corriente alterna es el utilizado en la gran mayoría de coches eléctricos. [4]

El conector tipo 2 permite desde cargas monofásicas a 16 A hasta trifásicas a 63 A, lo que se traduce en potencias desde 3,7 kW hasta 44 kW respectivamente. Su distribución de pines es parecida a la del tipo 1, pero en este caso incorpora dos pines más que corresponden a las 2 fases extras que permiten cargar en trifásico. [4]



Figura 8 - "Conector Tipo 2 (IEC 62196-2)" [5]

1.3.4.4. Conector Tipo 3

Este tipo de conector fue creado en 2010 por la asociación EV Plug Alliance de la que forman parte empresas como Scame, Schneider Electric y Legrand, pero ha perdido la batalla con respecto al modelo anterior y por ello está en desuso, pero todavía no está fuera del mercado. [4]

Dentro de este modelo de conector podemos diferenciar dos variantes:

1. Introducción

- 3A preparado para soportar cargas monofásicas a 16 A (fase, neutro, tierra y pin de control). [4]
- 3C permite cargas monofásicas o trifásicas a 32 A (3 fases, neutro, tierra y pines de control y presencia). La potencia máxima que puede brindar es de 22 kW. [4]



Figura 9 - "Conector Tipo 3" [5]

1.3.4.5. Conector CHAdeMO

Es la versión japonesa de conector para cargas rápidas en corriente continua y puede llegar a proporcionar hasta 50 kW de potencia con una intensidad de hasta 125 A. [4]

Es el equipado por coches como el Nissan Leaf, Nissan ENV200, Mitsubishi Outlander, Mitsubishi iMiev, Peugeot iON, Citroën C-Zero, o el KIA SOUL EV, pero no se usan tanto este tipo de conectores como los normalizados en Europa y por ello, se podría dar el caso de necesitar un adaptador para su uso. [4]



Figura 10 - "Conector CHAdeMO" [5]

1.3.4.6. Conector CCS (Combo, IEC-62196-3)

Este modelo es la versión que se ha adoptado en Europa para carga en corriente continua. Se trata de un conector combinado compuesto por un conector AC Tipo 2 y un conector DC con dos terminales. Este es el conector más común en los cargadores de carga rápida. [4]

1. Introducción

La potencia máxima a la que puede operar en AC es de 43 kW y de hasta 100 kW (actualmente solo 50kW) en DC. [4]



Figura 11 - “Conector CCS (Combo, IEC-62196-3)” [5]

1.3.5. Caracterización del tipo carga de los BEV

En la presente sección se desarrollan los diferentes tipos de cargas más utilizadas para los BEV (en AC y DC). A su vez se analizan los distintos cargadores que se utilizan para cada tipo de carga, estudiando su interacción con el BEV y sus diferentes formas físicas. [5]

Existen tres modos diferentes de carga para los vehículos eléctricos.

- Carga conductiva mediante un cable físico.
- Carga mediante inducción.
- Recambio de baterías.

Se detallará solo el primer caso (mediante cable físico), ya que es el caso más común utilizado actualmente.

1.3.5.1. Carga AC

La carga en corriente alterna permite que los vehículos sean cargados utilizando estaciones de carga no demasiado complejas, las cuales se alimentan directamente desde la red. Las mismas no son demasiado complejas debido a que la electrónica de potencia que se encarga de pasar el voltaje en alterna a continua regulada, se encuentra dentro del vehículo eléctrico, y se denomina “on board charger” (cargador a bordo). El cargador a bordo debe ser compacto y liviano (típicamente menor a 5kg), para no ocupar mucho espacio del vehículo. Esto introduce una limitante en la potencia máxima a la cual puede ser cargada la batería del BEV en AC. La Figura 12 muestra el esquema vehículo - cargador en AC. [5]

1. Introducción

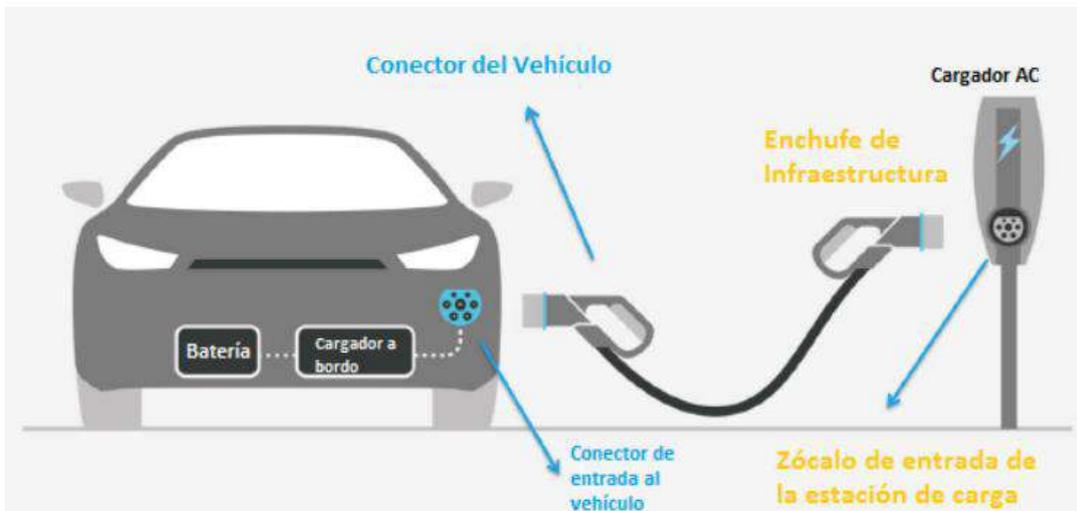


Figura 12 - "Conexión con cargador AC." [5]

A continuación, se explica más en profundidad los componentes del cargador y la electrónica de potencia del vehículo.



Figura 13 - "Esquema funcionamiento carga AC." [5]

Cuando la estación de carga y el vehículo se interconectan, los pines de control PP y CP aseguran el enclavamiento mecánico del conector, y limitan la máxima corriente que es capaz de entregar el SAVE (Sistema de Alimentación del Vehículo Eléctrico) respectivamente. El vehículo internamente tiene un rectificador que pasa la señal de alterna a continua, y luego la acondiciona a un voltaje y corriente adecuados mediante un convertidor DC/DC, el cual es controlado por la unidad de control de potencia. El controlador obtiene datos desde el Battery Management System (BMS) para controlar el voltaje y corriente de carga de la batería. Además, hay un circuito de protección que en caso de que los límites de la batería sean excedidos, aísla automáticamente a la misma para protegerla. [5]

1.3.5.2. Carga DC

La carga rápida en DC tiene un rango de potencia de salida de aproximadamente 50 kW hasta 350 kW. Debido a este rango de potencias elevadas, los cargadores DC son costosos y de mayor tamaño (ya que toda la electrónica de potencia está integrada en el cargador DC para pasar de alterna a continua), comparados con los cargadores AC. [5]

1. Introducción

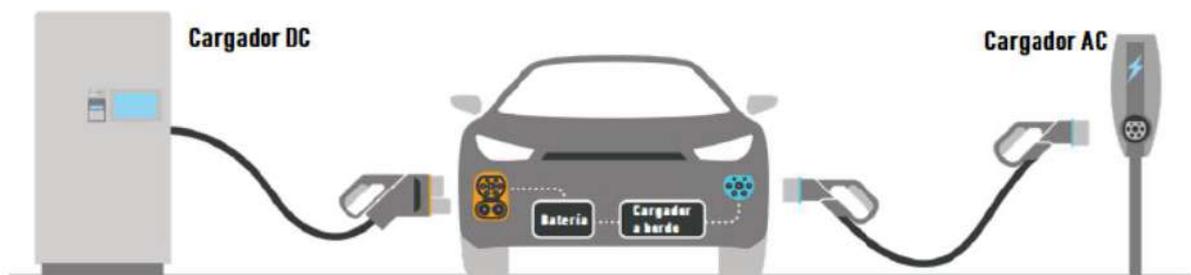


Figura 14 - "Esquema de conexión con cargador DC." [5]

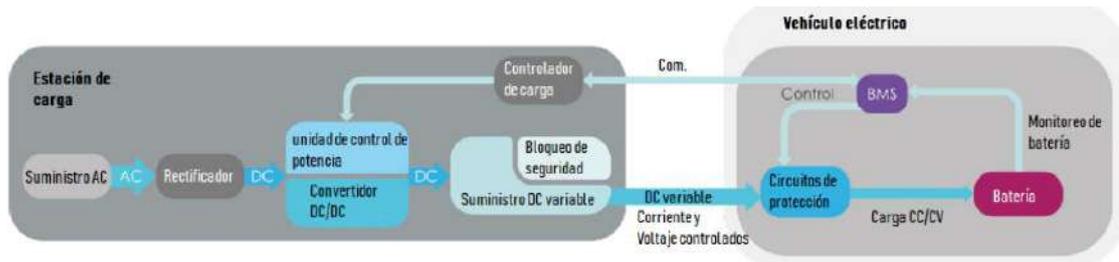


Figura 15 - "Operación carga DC." [5]

En el primer paso, la corriente AC que es proporcionada por la red hasta la estación de carga, es rectificadas dentro de la estación de carga. Luego, la unidad de control de potencia se encarga de acondicionar el voltaje y corriente de salida del convertidor DC/DC dentro de la estación de carga, para que a la batería le lleguen la corriente y voltaje necesarios. Además, hay un bloqueo de seguridad y circuitos de protección, para desenergizar el conector del vehículo eléctrico y parar el proceso de carga en el caso que haya una falta o una conexión errónea entre el BEV y el cargador. [5]

El BMS (Battery Management System) tiene un rol muy importante, y es el que se encarga de comunicarle a la estación de carga que voltaje y corriente necesita la batería. También es el encargado de operar los circuitos de protecciones en caso de alguna anomalía. [5]

1.3.5.3. Modos de carga

A la hora de recargar los vehículos eléctricos nos podemos encontrar diferentes estándares, que vendrían determinados, principalmente, por la región en la que nos encontremos. Más concretamente, en Norteamérica y en la zona del Pacífico se utiliza el estándar SAE-J1772 para la recarga de los vehículos eléctricos. Sin embargo, en China se utiliza el GB/t 20234, mientras que en Europa se utiliza el IEC-62196. La principal diferencia entre estos tres estándares es que mientras los dos primeros clasifican los modos de recarga según el tipo de corriente (continua o alterna), el último los clasifica por la potencia de recarga. El SAE-J1772 [SAE09] es un estándar norteamericano para conectores eléctricos para la recarga de vehículos eléctricos creado en 1996 y mantenido por SAE International. Este estándar es el más común en EEUU y Japón, y establece los siguientes modos de recarga:

1. Introducción

- AC Level 1: Toma de corriente estándar que proporciona voltaje en AC de 120 V ofreciendo una intensidad máxima de 16 A, lo que proporciona una potencia máxima de 1.9 kW. [8]
- AC Level 2: Toma de corriente estándar con 240 V AC y una intensidad máxima de 80 A, por lo que ofrece una potencia máxima de 19.2 kW. [8]
- DC Level 1: Cargador externo que, introduciendo un voltaje máximo de 500 V DC con una intensidad máxima de 80 A, proporciona una potencia máxima de 40 kW. [8]
- DC Level 2: Cargador externo que introduciendo un voltaje máximo de 500V DC con una intensidad máxima de 200 A, proporciona una potencia máxima de 100 kW. [8]

Nivel de Carga	Voltios	Corriente máxima (Amperios)	Potencia máxima
AC Level 1	120 V ac	16 A	1.9 kW
AC Level 2	240 V ac	80 A	19.2 kW
DC Level 1	200 to 500 V dc	80 A	40 kW
DC Level 2	200 to 500 V dc	200 A	100 kW

Tabla 3 - "Clasificaciones de carga de SAE-J1772." [8]

El IEC-62196 es un estándar internacional creado por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en 2001 para la recarga de vehículos eléctricos en Europa y en China. El IEC-62196 establece las características generales del proceso de carga, así como la manera en que se suministra la energía. Esta norma deriva del IEC-61851 y proporciona una primera clasificación del tipo de cargador en función de su potencia nominal y, por lo tanto, del tiempo de recarga [SBDP+15, SAR]. Para recargar los vehículos dispone de 4 modos. [8]

- Modo 1 (Carga lenta). Está pensado como modo de recarga doméstico, tiene una intensidad máxima de 16 A, y usa una toma de corriente estándar, ya sea monofásico o trifásico, con fase (s), neutro y conductores de tierra de protección. [8]
- Modo 2 (Carga semi-rápida). Este modo puede ser utilizado en el domicilio o en sitios públicos. Su intensidad máxima definida es de 32 A, y al igual que en el modo anterior, utiliza tomas de corriente estandarizadas con fase (s), neutro y conductores de tierra de protección. [8]
- Modo 3 (Carga rápida). Proporciona una intensidad de entre 32 y 250 A. En este modo de recarga se requiere la utilización de un EV Supply Equipment (EVSE), un sistema de alimentación específico para la recarga de vehículos eléctricos. Estos dispositivos proporcionan comunicación con los vehículos, monitorizan la carga, incorporan sistemas de protección y cortan el suministro eléctrico cuando no se detecta conexión con el vehículo. [8]
- Modo 4 (Carga ultra-rápida). Publicado en el IEC-62196-3, define una conexión directa del EV a la red de suministro de DC, con una intensidad de corriente de hasta 400 A y un máximo de 1.000 V, lo que proporciona una potencia de recarga máxima de hasta 400 kWh. Este modo requiere de un cargador externo, que

1. Introducción

proporciona comunicación entre el vehículo y el punto de recarga, así como sistemas de protección y control. [8]

Modo de carga	Fase	Corriente máxima	Voltaje máximo	Potencia máxima	Conector específico
Modo 1	AC Single	16 A	230-240 V	3.8 kW	No
	AC Three		480 V	7.6 kW	
Modo 2	AC Single	32 A	230-240 V	7.6 kW	No
	AC Three		480 V	15.3 kW	
Modo 3	AC Single	32-250 A	230-240 V	60 kW	Yes
	AC Three		480 V	120 kW	
Modo 4	DC	250-400 A	600-1,000 V	400 kW	Yes

Tabla 4 - "Clasificaciones de carga de la IEC-62196." [8]

La carga rápida es muy atractiva, ya que en base a su gran potencia puede cargar al vehículo en un periodo corto de tiempo. Pero la potencia de la carga en DC no se podría incrementar infinitamente. Esto es debido a las siguientes consecuencias:

- Incrementar la corriente de carga lleva a tener mayores pérdidas en el cargador y en la batería. Además de esto, conlleva un aumento en la exigencia de la red eléctrica. [5]
- Con la carga rápida aumenta la corriente de carga, y esto produce que la vida útil de la batería se reduzca, ya que aumenta la temperatura en los conductores y en la batería debido al efecto Joule. [5]
- En cualquier cargador, es importante que el cable sea liviano y flexible, para que las personas los puedan usar cómodamente. Con el aumento de la potencia de carga, se van a precisar cables con mayor sección, para que sea seguro su uso con corrientes elevadas. Esto puede llevar a que los cables sean excesivamente pesados o complicados de utilizar. Una posible solución a esto sería usar sistemas de refrigeración en los cables sin tener que aumentar su sección, para asegurar que los cables no se calienten demasiado. Esto llevaría a tener que invertir más capital en los cargadores y que sean más complejos. [5]

En la [Figura 16](#) se observa un ciclo de carga típico de una batería de ion-litio. Este ciclo tiene una forma similar para cualquiera de los tipos de carga descritos, pero la potencia máxima y el tiempo de carga variará para cada uno de ellos y dependerá además del Estado de Carga (SOC - State Of Charge) inicial de la batería y de la carga final deseada. Si bien, otra variable es la autonomía de cada batería y la potencia de su cargador compatible, desde una carga inicial nula hasta un 80- 90% de la carga, se puede tener una carga lenta típica de 6-8 horas, una carga semi-rápida de 2-4 horas y una carga rápida de 15-30 minutos. [2]

1. Introducción

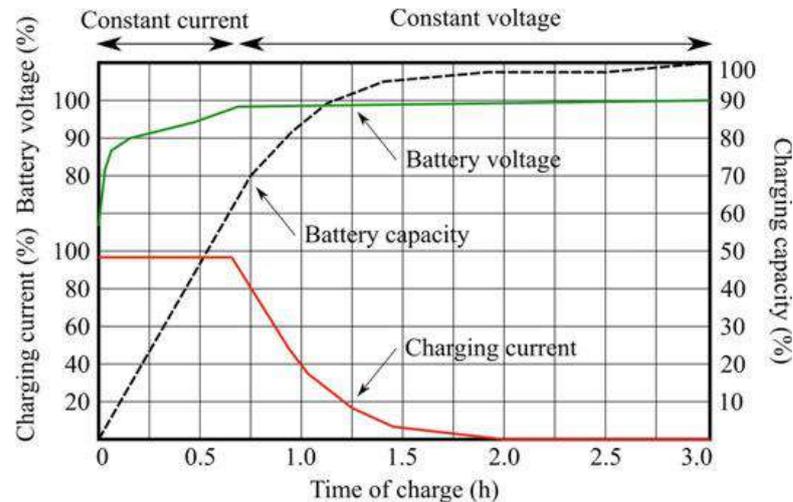


Figura 16 - "Evolución de las principales magnitudes durante la carga de las baterías de un vehículo eléctrico" [2]

1.3.6. Integración del BEV con la red eléctrica

La recarga de una gran cantidad de vehículos eléctricos representa una gran demanda de energía que a priori debería ser suministrada por la red eléctrica. Esta exigencia sobre la red podría originar problemas técnicos vinculados con:

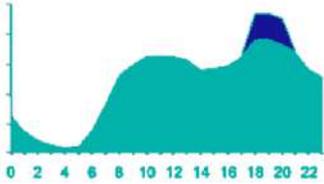
- Capacidad de suministro: sobrecarga de transformadores, cables y disparo de protecciones que afecten la calidad de servicio (interrupciones). [2]
- Eficiencia de la red: aumento de pérdidas de energía, necesidad de poner en marcha máquinas térmicas de punta de menor eficiencia para abastecer picos de demanda. [2]
- Calidad de la energía: desviaciones de los niveles de tensión, desbalances, huecos de tensión y contenido armónico por la conexión y desconexión de cargas de gran demanda basadas en electrónica de potencia. [2]

De esto se desprende que la integración de los vehículos eléctricos con la red eléctrica, junto con el desarrollo de mejores y más eficientes baterías es uno de los mayores retos de la movilidad eléctrica. A continuación, se presentan cuatro enfoques de integración de vehículos eléctricos con la red eléctrica:

1.3.6.1. Carga descontrolada

El primer enfoque de carga descontrolada es el que se espera en la primera etapa de integración, cuando comienzan a aparecer los primeros vehículos eléctricos en una ciudad que cuenta con tarifa plana de energía eléctrica. En este caso el vehículo eléctrico se comporta como una carga pasiva. Como aún no hay cargadores públicos en la ciudad y la tarifa es plana, el usuario lo conecta a la red normalmente cuando llega a su hogar en horas de la tarde-noche, incrementando más potencia al pico de demanda residencial típico, que presenta un pico de demanda entre las 18-20 y 21-23 hs según la estación del año y el clima de cada región. [2]

1. Introducción

<u>Tipo de carga</u>	<u>Ventajas</u>	<u>Desventajas</u>
<p style="text-align: center;">Carga descontrolada</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil implementación • Amigable con el usuario 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecargas de transformadores y líneas. • Desviaciones de niveles de tensión. • Incremento de la potencia pico. • Aumento de producción de CO_2 • Aumento del costo de la energía eléctrica. • Necesidad de reforzar la red eléctrica.

1.3.6.2. Carga fuera de pico

El segundo enfoque de carga fuera de pico es el que deberían emprender las empresas distribuidoras a medida que se vaya incrementando el número de vehículos eléctricos en una ciudad para poder trasladar la demanda desde el pico de la tarde-noche hacia el valle de la noche-madrugada. Para esto, es necesario, implementar un cuadro tarifario con diferentes bandas horarias que incentive con un menor precio a conectar el auto desde las 23 hs y hasta las 5 hs, es decir durante las horas valle. El quid de la cuestión radica en que para aplicar ese tipo de cuadro tarifario es necesario reemplazar los medidores convencionales analógicos, por medidores electrónicos o mejor aún por medidores inteligentes que permitan facturar con diferentes bandas horarias programadas, esto requiere lógicamente una inversión extra, pero evitaría, al menos por un tiempo retrasar inversiones en la red eléctrica, porque aprovecharía la capacidad ociosa de la red ya instalada. [2]

<u>Tipo de carga</u>	<u>Ventajas</u>	<u>Desventajas</u>
<p style="text-align: center;">Carga fuera de pico</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil implementación. • Aplanamiento del perfil de demanda. • Mejor integración con la energía eólica producida fuera del horario pico. • Demora la necesidad de inversión en la red. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desbalances debido al rápido aumento de la potencia consumida por los vehículos conectados a la red. • Posible sobrecarga de transformadores y líneas (desplazamiento horario del pico de carga). • Posibles desviaciones de los niveles de tensión. • Se requiere voluntad de los usuarios.

1.3.6.3. Carga inteligente (completando valle)

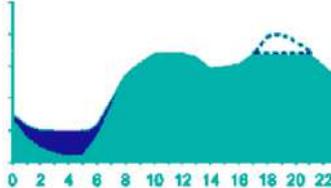
El tercer enfoque de carga inteligente (completando valle) requiere de tecnologías TIC y de una implementación más compleja, de forma tal que en lugar de dejar que una gran cantidad de usuarios conecten sus vehículos a la red luego de las 23 hs en forma casi simultánea, mediante un sistema de control, permita distribuir esas cargas a lo largo de las horas valle de forma más balanceada. Esto evitaría que el pico de la tarde-noche ahora se traslade mediante el segundo enfoque a un pico luego de las 23 hs, y aprovecharía de forma mucho más eficiente la capacidad ociosa de la red. [2]

1. Introducción

Tipo de carga	Ventajas	Desventajas
<p>Carga inteligente (completando valle)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Prestación de servicios auxiliares. • Aplanamiento del perfil de demanda. • Mejor integración con la energía eólica producida fuera del horario pico. • Demora la necesidad de inversión en la red. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación compleja. • Requiere tecnologías TIC. • Se requiere voluntad de los usuarios.

1.3.6.4. Carga inteligente (reduciendo pico)

El cuarto enfoque de carga inteligente (reduciendo pico) requiere también de tecnologías TIC y de una implementación aún más compleja puesto que involucra la interacción V2G (Vehicle to Grid), es decir, que el vehículo entregue parte de su energía almacenada en baterías a la red durante el pico de la tarde-noche con el fin de reducir el pico de demanda que vería la generación convencional aguas arriba de la red y se recargue durante la madrugada en forma inteligente y consumiendo más energía, dado que ahora no solo debe reponer la energía usada durante el día, sino también la energía aportada a la red. Esto además de ser más complejo en cuanto a la implementación, porque requiere de inyección controlada a la red, representa también un uso más intensivo de las baterías, puesto que se incrementan los ciclos de carga y descarga y los mismos son más profundos, lo que implica una reducción de la vida útil de las mismas. [2]

Tipo de carga	Ventajas	Desventajas
<p>Carga inteligente (reduciendo pico)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Prestación de servicios auxiliares. • Reducción de la potencia pico. • Integración óptima con generación renovable intermitente. • Reducción de la intensidad de CO_2 en la producción de energía eléctrica. • Reducción de inversiones necesarias para reforzar la red eléctrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación muy compleja. • Requiere tecnologías TIC. • Se requiere voluntad de los usuarios. • Degradación prematura de las baterías de los vehículos debido a los ciclos de carga y descarga sobre la red (V2G - Vehicle To Grid). • Pérdidas de energía en las transmisiones red - batería - red.

1.3.6.5. Gestión de carga dinámica

La gestión dinámica de carga de vehículos eléctricos es una parte esencial de la carga inteligente. Ayuda a desplazar el consumo de energía lejos de las horas pico, protege las redes eléctricas contra sobrecargas y reduce el costo de la carga para los usuarios. [9]

Tiene 2 funciones cruciales. La primera función es el equilibrio dinámico de carga. Utiliza algoritmos que tienen en cuenta el estado actual de la red eléctrica y de cada consumidor de energía. Luego distribuye la energía de manera adecuada para evitar

1. Introducción

sobrecargar la red eléctrica. En la práctica, esto es necesario cuando varios vehículos y otras cargas están conectados y funcionando simultáneamente. [9]

La segunda función es un sistema que gestiona automáticamente la programación del proceso de carga de vehículos eléctricos. Está optimizado para utilizar la electricidad de la mejor manera posible durante las horas de menor demanda. [9]

En el caso de la electricidad, las tarifas de tiempo de uso (TOU) fluctúan en función de las horas pico y las horas no pico. Por lo tanto, el precio de la electricidad depende de cuándo se utilice. Sin embargo, con los electrodomésticos cotidianos, debemos seleccionar manualmente cuándo operarlos. En el caso de la carga de vehículos eléctricos, es diferente si se utiliza la gestión dinámica de carga, ya que con un software que controla el momento de la carga, el vehículo eléctrico puede cargar al costo más bajo posible sin que el usuario tenga que hacer nada manualmente. [9]

De esta manera reduce los costos de los usuarios y ayuda a evitar la sobrecarga de la red eléctrica como parte de la función de equilibrio dinámico de carga, lo cual es crucial para mantener la infraestructura de carga. [9]

Existen dos tipos de equilibrio de carga, estático y dinámico. El primero ajusta la potencia disponible entre los cargadores de vehículos eléctricos según la capacidad de suministro asignada fija dentro del grupo de carga. Distribuye el tráfico sin tener en cuenta la condición actual del sistema. [9]

Por otro lado, el equilibrio de carga dinámico utiliza soluciones inteligentes para adaptar la carga según las condiciones en tiempo real de la red. Los algoritmos de equilibrio de carga dinámica tienen en cuenta el estado actual del sistema y de cada consumidor, y distribuyen el tráfico en consecuencia. Las estaciones de carga se comunican con el software de gestión de carga de vehículos eléctricos en tiempo real y reportan la demanda y las preferencias. Como resultado, la potencia de carga puede limitarse momentáneamente para satisfacer las restricciones de energía impuestas por la demanda de otros consumidores. En contraste, cuando el uso de energía en la misma red eléctrica es bajo, la potencia asignada puede ser mayor. [9] La siguiente imagen ilustra el objetivo del equilibrio de carga dinámico, aplanar los picos y levantar los valles de la carga descontrolada.

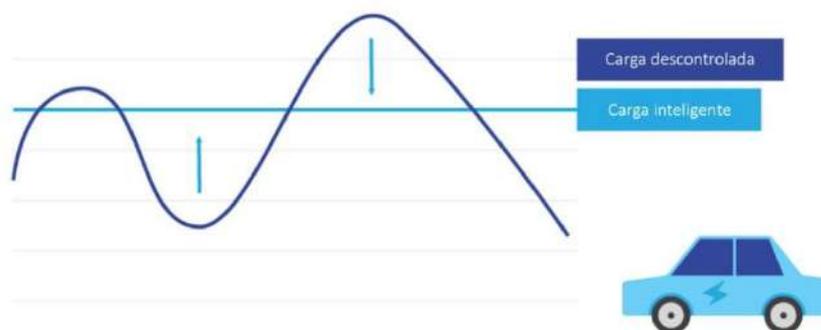


Figura 17 - "Diferencias entre carga estandar y carga inteligente." [9]

2. Movilidad eléctrica en Mar del Plata

2.1. Estudio de la movilidad en Mar del Plata

En 2016, la ONG Mar del Plata entre Todos realizó una EPC (Encuesta de Percepción de Ciudadana) en el partido de General Pueyrredon que incluye la ciudad de Mar del Plata, y pequeñas localidades aledañas. De acuerdo con estos datos, en 2015/2016 habían alrededor de 2 habitantes por vehículo, justo la mitad que la media nacional de 4 habitantes por vehículo. Si se extrapolan estos datos, podría haber actualmente, en 2023, alrededor de 1.25 habitantes por vehículo y se espera que hacia 2030 haya 1 habitante por vehículo, como se observa en la [Figura 18](#). [2]

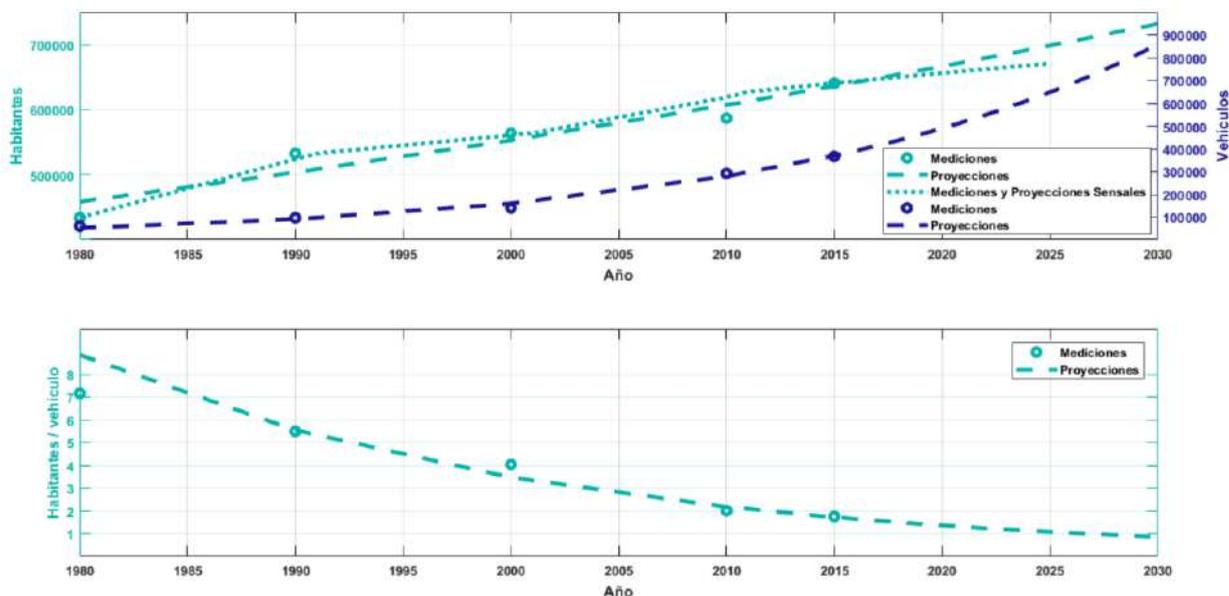


Figura 18 - “Evolución temporal desde el año 2000 hasta el año 2030 de habitantes en la ciudad de Mar del Plata, vehículos y habitantes por vehículo.” [2]

Se encuestaron 1406 ciudadanos pertenecientes a 7 zonas, mediante las cuales se delimitó la ciudad de Mar del Plata. En la [Figura 19](#) se muestra un mapa de Mar del Plata con el detalle de estas 7 zonas geográficas. La zonificación adoptada para el análisis de indicadores, desde el punto de vista de la movilidad responde básicamente a un sistema de coronas geográficas (distancia al centro), donde la zona 1 se corresponde con el área central de la ciudad, la zona 2 con la primera corona, las zonas 3, 4 y 7 una segunda corona, y las zonas 5 y 6 la tercera corona. [2]

2. Movilidad eléctrica en Mar del Plata



Figura 19 - “Mapa de la ciudad de Mar del Plata con detalle de las 7 zonas consideradas en el relevamiento.” [2]

En la Figura 20 se presentan cuáles son los medios de transporte más habituales en cada zona. Mientras que en el gráfico de la Figura 21 se observa el reparto modal de los viajes habituales de 2016 en toda la ciudad. Se observa que el automóvil, es con un 37 % el segundo transporte más utilizado después del autobús. [2]

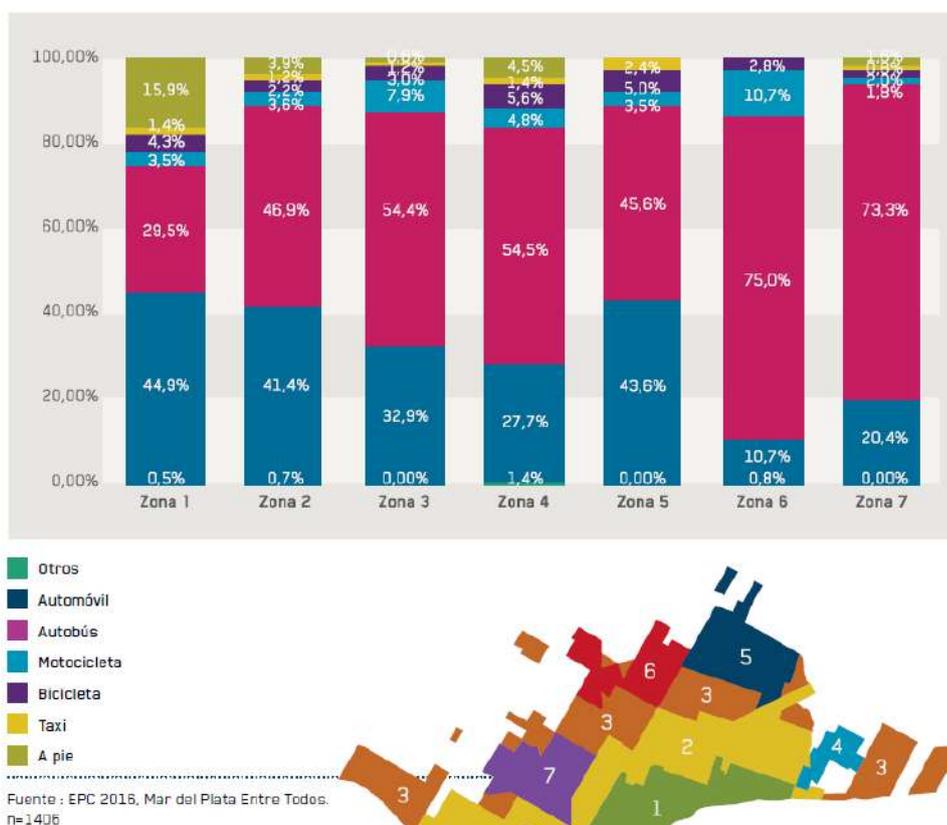


Figura 20 - “Distribución modal por zona.” [2]

2. Movilidad eléctrica en Mar del Plata

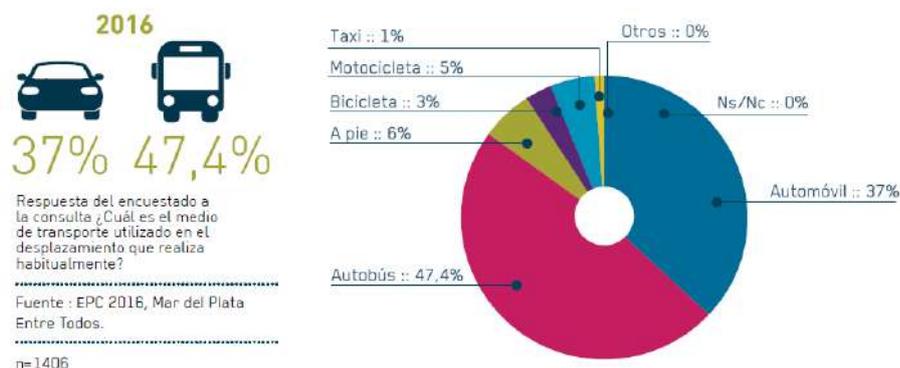


Figura 21 - “Reparto modal de los viajes habituales de 2016.” [2]

Por otro lado, en la Figura 22 se observa la distancia promedio del viaje más frecuente durante el año, según el modo y zona. Se observa que el viaje más frecuente en auto tiene una distancia promedio mínima de 42 cuadras para la zona 2, una distancia promedio máxima de 116,5 cuadras para la zona 4 y de 51 cuadras si se promedian todas las zonas de la ciudad. Con lo cual, se podría concluir que un usuario residencial promedio realizaría una distancia de 51 cuadras como viaje más frecuente. [2]

Distancia Promedio Viaje (en cuadras)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Promedio por modo
Auto	54,3	42,0	57,0	116,5	59,5	47,5	45,7	51,0
Omnibus	51,4	50,2	66,8	92,0	73,1	57,3	63,3	58,5
Moto	48,3	43,8	49,1	87,7	52,5	68,9	76,2	51,0
Bicicleta	31,9	43,0	54,1	54,4	96,2	60,7	35,8	47,5
Taxis	46,1	33,7	55,6		70,0			46,4
Caminando	12,6	18,3		25,6				13,7
Promedio general	45,99	44,90	61,17	93,82	67,31	57,15	59,12	52,29

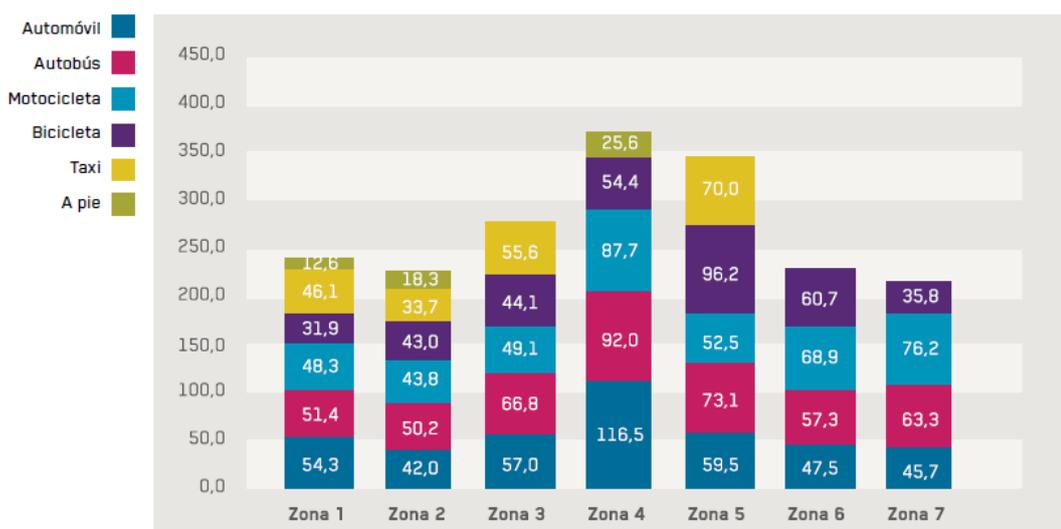


Figura 22 - “Distancia promedio del viaje más frecuente durante el año, según modo y zona, 2016.” [2]

2.2. Estimación del consumo energético de los autos eléctricos

Al evaluar el consumo de un vehículo eléctrico es necesario tener en consideración el tipo de conducción (suave, normal, dinámica), la velocidad, la temperatura exterior, el uso o no de calefacción/aire acondicionado, entre otros factores. A fin de contar con datos reales de consumo y autonomía, la UNECE (Comisión económica para Europa de las Naciones Unidas) ha desarrollado y publicado en 2015 el procedimiento europeo de homologación WLTP (Word Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure). Es un estándar global para determinar los niveles de contaminantes, emisiones de CO₂ y consumo de combustible de autos convencionales, híbridos y eléctricos puros. Uno de los principales objetivos del procedimiento WLTP es hacer coincidir mejor las estimaciones de laboratorio del consumo de combustible y las emisiones con las medidas de una condición de conducción real en carretera. En la [Tabla 5](#) se listan los vehículos eléctricos más populares en el mercado en los últimos tres años. El consumo promedio de los 36 vehículos comerciales analizados es de 16,8 kWh cada 100 km con una autonomía promedio de 338,8 km y una capacidad de batería promedio de 58,3 kWh. En la [Figura 23](#) se presentan los histogramas de consumo de energía eléctrica cada 100 km, autonomía, capacidad de almacenamiento, y costo de cada vehículo. [2]

2. Movilidad eléctrica en Mar del Plata

Marca y modelo	Año	Consumo [kWh/100km]	Autonomía [km]	Capacidad de batería [kWh]	Precio [USD]
Audi e-tron 55 quattro	2021	22.8	417	95	84211
BMW i3	2021	14.8	225	35	44500
Citroen e-C4	2021	14.0	357	50	37500
Citroen e-Spacetourer M75	2021	24.3	308	75	55000
DS 3 Crossback E-Tense	2020	14.6	341	50	47900
FIAT 500e 3+1	2021	13.1	320	42	28000
Ford Mustang Mach-E ER AWD	2021	18.2	540	98.7	43900
Hyundai Ioniq Electric	2019	12.2	204	40.4	46500
Hyundai Kona Electric 64	2021	12.9	523	67.5	32300
Honda e	2020	16.1	220	35.5	41800
Jaguar I-Pace EV 400	2020	27.5	325	90	86000
Kia e-Soul	2020	13.6	185	30	37800
Kia e-Niro 64	2021	14.5	463	67.5	41400
Mercedes-Benz EQA 250	2021	14.7	540	79.8	76800
Mercedes-Benz EQC 4 MATIC	2020	20.3	417	85	75000
MINI Cooper SE	2021	13.9	234	32.6	30750
Mazda MX-30 SUV	2020	17.7	200	35.5	33990
Nissan Leaf e+	2019	16.3	285	62	60490
Opel Ampera-e	2017	16.1	380	62.2	36200
Opel Corsa-e	2020	13.9	359	50	28700
Opel Mokka-e	2021	14.6	342	50	36200
Opel Zafira-e Life L75	2021	22.7	330	75	55870
Peugeot e-208	2020	14.7	340	50	30000
Peugeot e-2008 SUV	2020	15.5	322	50	43400
Peugeot Partner Tepee Electric	2017	18.1	275	50	38700
Porsche Taycan	2021	18.6	425	79.2	82700
Renault Zoe 40	2017	14.6	300	43.8	31800
Renault Twingo Electric	2020	12.1	190	23	26300
Skoda Enyaq iV 50	2021	16.1	340	55	41800
Tesla Model 3 Std Range Plus	2020	13.2	415	55	43990
Tesla Model S Long Range	2021	20.6	461	95	101440
Tesla Model X 100D	2017	23.4	430	100	116440
Volkswagen e-Golf	2017	14.4	219	35.8	31895
Volkswagen ID.3 1st	2020	14.7	420	62	39000
Volkswagen ID.4 1st	2020	16.4	500	82	42200
Volvo XC40 T4 Recharge	2020	23.7	45	10.7	48000

Tabla 5 - "Características autos eléctricos." [2]

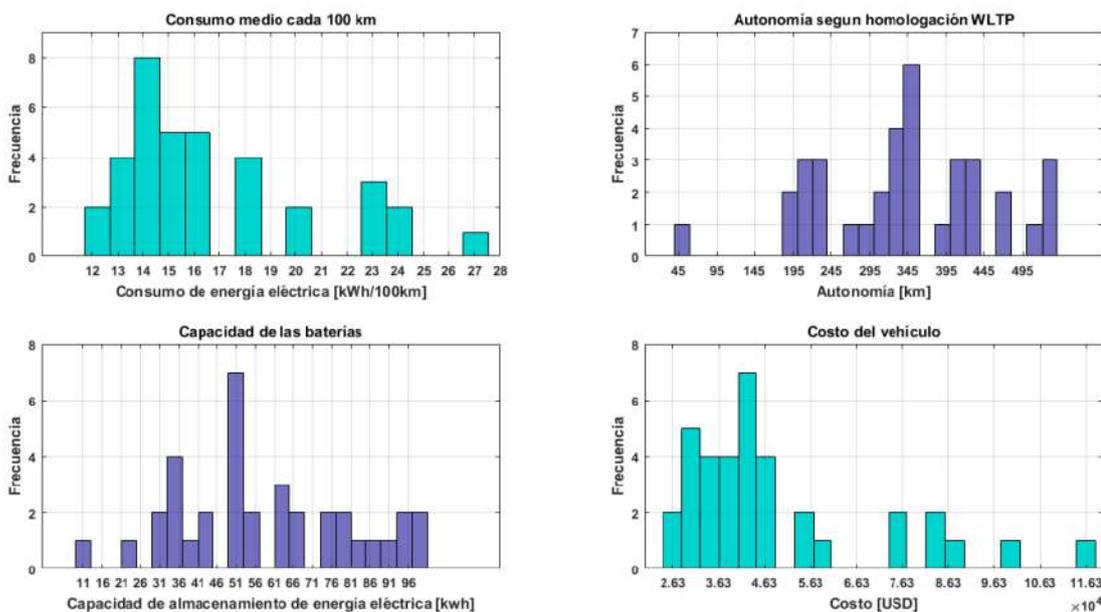


Figura 23 - "Histogramas de consumo, autonomía, capacidad baterías y costo de vehículos eléctricos." [2]

2. Movilidad eléctrica en Mar del Plata

Si se considera que los vehículos de menor costo tienen mayor probabilidad de penetración en el mercado que los de mayor costo, se puede aplicar una ponderación y recalcular los promedios ponderados de consumo medio, autonomía, capacidad y costo, con las siguientes ecuaciones:

$$\dot{p} = \frac{(1 - \frac{\text{costo}}{\text{max}(\text{costo})} + 0,01)}{\sum(1 - \frac{\text{costo}}{\text{max}(\text{costo})} + 0,01)}$$

$$\text{consumo}_{\text{medio ponderado}} = \text{consumo} * \dot{p}'$$

$$\text{autonomia}_{\text{media ponderada}} = \text{autonomia} * \dot{p}'$$

$$\text{capacidad}_{\text{media ponderada}} = \text{capacidad} * \dot{p}'$$

Figura 24 - "Ecuaciones utilizadas para ponderar características de autos eléctricos con respecto a su precio." [2]

En la [Tabla 6](#) se sintetiza el resultado de esta ponderación, obteniéndose que, en la ciudad de Mar del Plata, un vehículo eléctrico promedio consumiría 15,9 kWh/100 km, algo menor que el promedio de 16,8 kWh/100 km al considerar la posible mayor penetración de vehículos de gama económica frente a los de mayores prestaciones. [2]

	Promedio	Incertidumbre (95 % de confianza)	Promedio ponderado
Consumo [kWh/100km]	16.8	1.3	15.9
Autonomía [km]	338.8	38.2	326.2
Capacidad [kWh]	58.3	7.75	53.1
Costo [USD]	49402	7449	42492

Tabla 6 - "Resultados obtenidos sobre movilidad eléctrica en Mar del Plata." [2]

2.3. Tiempo de recarga de los BEV

Para determinar el tiempo de recarga de los vehículos, es necesario conocer el consumo de los EV y los hábitos de uso del automóvil. Para determinar la potencia consumida, debido a que este no es un valor fijo, sino que depende de marca, modelo, prestaciones, etc. se opta por tomar la potencia media ponderada calculada en [2], que es de 15,9 [kWh/100km]. Este valor tiene en cuenta que, debido a las condiciones económicas del país, tendrán más penetración los vehículos con un menor precio.

Para calcular el consumo energético, es necesario conocer la distancia recorrida por cada habitante. En 2016, se llevó a cabo un estudio sobre la movilidad de las personas en la ciudad de Mar del Plata, realizada por la organización "Mar del Plata Entre Todos", donde se estudiaron los medios de transporte utilizados, la distancia de traslado, entre otros factores, donde fue separado por 7 zonas de estudio, siendo la de interés la zona 1 para este trabajo, según se detalla en el apartado "[Zona bajo estudio](#)". El trabajo concluyó que la distancia promedio recorrida por día es de 54 cuadras (considerando solo ida). Aproximando que la longitud de cada cuadra es de unos 100 metros, la distancia promedio recorrida diaria (ida y vuelta) es de 10,8 [km].

2. Movilidad eléctrica en Mar del Plata

Distancia Promedio Viaje (en cuadras)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Promedio por modo
Auto	54,3	42,0	57,0	116,5	59,5	47,5	45,7	51,0
Omnibus	51,4	50,2	66,8	92,0	73,1	57,3	63,3	58,5
Moto	48,3	43,8	49,1	87,7	52,5	68,9	76,2	51,0
Bicicleta	31,9	43,0	54,1	54,4	96,2	60,7	35,8	47,5
Taxis	46,1	33,7	55,6		70,0			46,4
Caminando	12,6	18,3		25,6				13,7
Promedio general	45,99	44,90	61,17	93,82	67,31	57,15	59,12	52,29

Tabla 7 - "Distancia promedio del viaje más frecuente en Mar del Plata."

Luego, la energía diaria consumida por cada vehículo será de:

$$\text{Energía consumida} = \text{Consumo} \times \text{Distancia recorrida}$$

$$\text{Energía consumida [kWh]} = 0.159 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{km}} \right] \times 10.8 [\text{km}] = 1.72 [\text{kWh}]$$

Finalmente, considerando que el cargador tendrá una potencia de 3,8 [kW], el tiempo de recarga es de:

$$\text{Tiempo de recarga} = \frac{\text{Energía consumida}}{\text{Potencia de recarga}}$$

$$\text{Tiempo de recarga [h]} = \frac{1.72 [\text{kWh}]}{3.8 [\text{kW}]} = 0.45 [\text{h}] \cong 27 [\text{min}]$$

Por lo tanto, se considera una recarga por usuario de aproximadamente 30 minutos.

2.4. Mercado de autos eléctricos en Argentina

A partir de datos del mercado de autos en Argentina provistos por el SIOMAA (Sistema de Informes Online del Mercado Automotor Argentino), se observa un claro crecimiento de la porción de ventas de BEV en los últimos 5 años, como se muestra en la [Figura 25](#). Se toma como hipótesis que el mercado automotor argentino es representativo del mercado de Mar del Plata.

2. Movilidad eléctrica en Mar del Plata

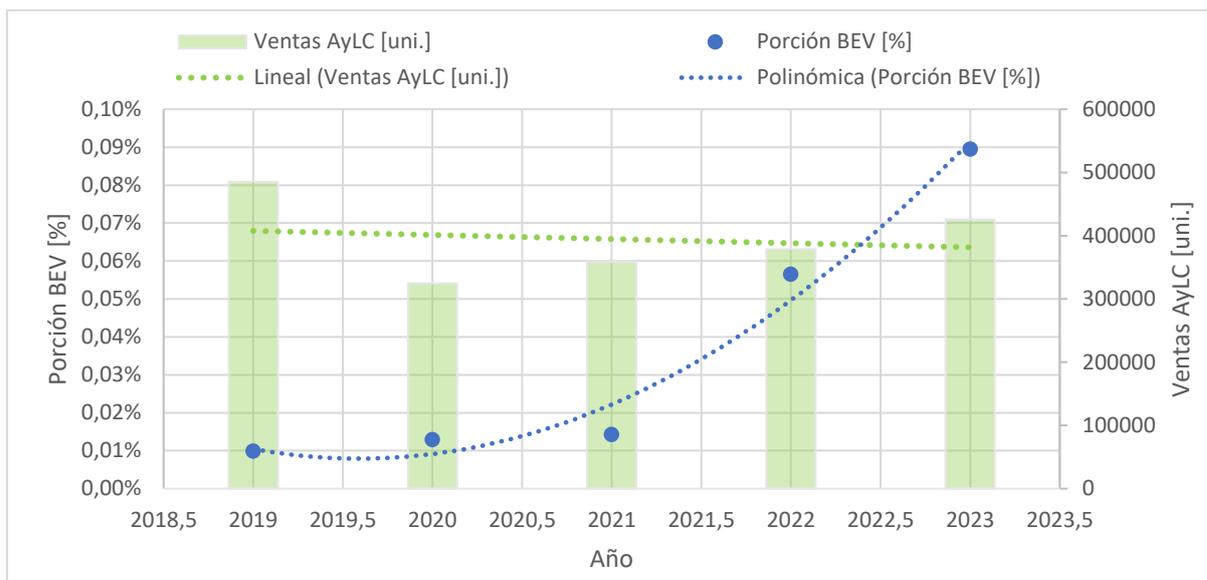


Figura 25 - "Mercado automotor Argentino en los últimos 5 años."

Se aprecia que mientras el mercado de automóviles y livianos comerciales (en verde) no ha tenido grandes cambios en los últimos años, el porcentaje de ventas de BEV (en azul) sí ha crecido sustancialmente. Aun así, proyectando a futuro, esa tendencia no es muy prometedora, ya que señala que solo se tendría un 4% de penetración de mercado para 2040. Ese año se tomará como fecha límite para el análisis debido a la existencia del proyecto de ley (ley de promoción de la movilidad sustentable) que plantea que para ese momento estará prohibido la comercialización de automóviles que utilicen combustibles fósiles. En consecuencia, posiblemente la tasa de crecimiento de la porción de ventas BEV en Argentina sea mayor.

Debido a que es muy difícil estimar el grado de penetración real que habrá en cada uno de los años, principalmente por el hecho que los VCI seguirán dentro del parque automotor, se considera que la porción de ventas de BEV es directamente el grado de penetración para un año dado. Esto es equivalente a decir que el parque automotor se renueva completamente todos los años (por ejemplo, si se estima que las ventas de EV para el 2025 es del 5%, ese será el grado de penetración para dicho año, y si para el año 2030 se estima que un 10% de los vehículos vendidos sobre el total son eléctricos, ese será el grado de penetración para 2030). Se opta realizar esta simplificación ya que no se tienen datos certeros de como estará compuesto el parque automotor en los próximos años, siendo el caso más pesimista. Se espera que en los años venideros se promuevan leyes que fomenten la electromovilidad, como la Ley de movilidad sustentable, e incentivos fiscales que faciliten la compra y manutención de autos con cero emisiones. De esta manera, el país se adaptaría gradualmente al nuevo mercado automotor.

Se decide plantear 2 escenarios adicionales a partir del análisis del crecimiento de las ventas BEV en países con más años en el desarrollo de la electromovilidad como son Alemania y Chile, siendo el caso de Alemania el más favorable y Chile un punto medio, como se muestra en la [Figura 26](#).

2. Movilidad eléctrica en Mar del Plata

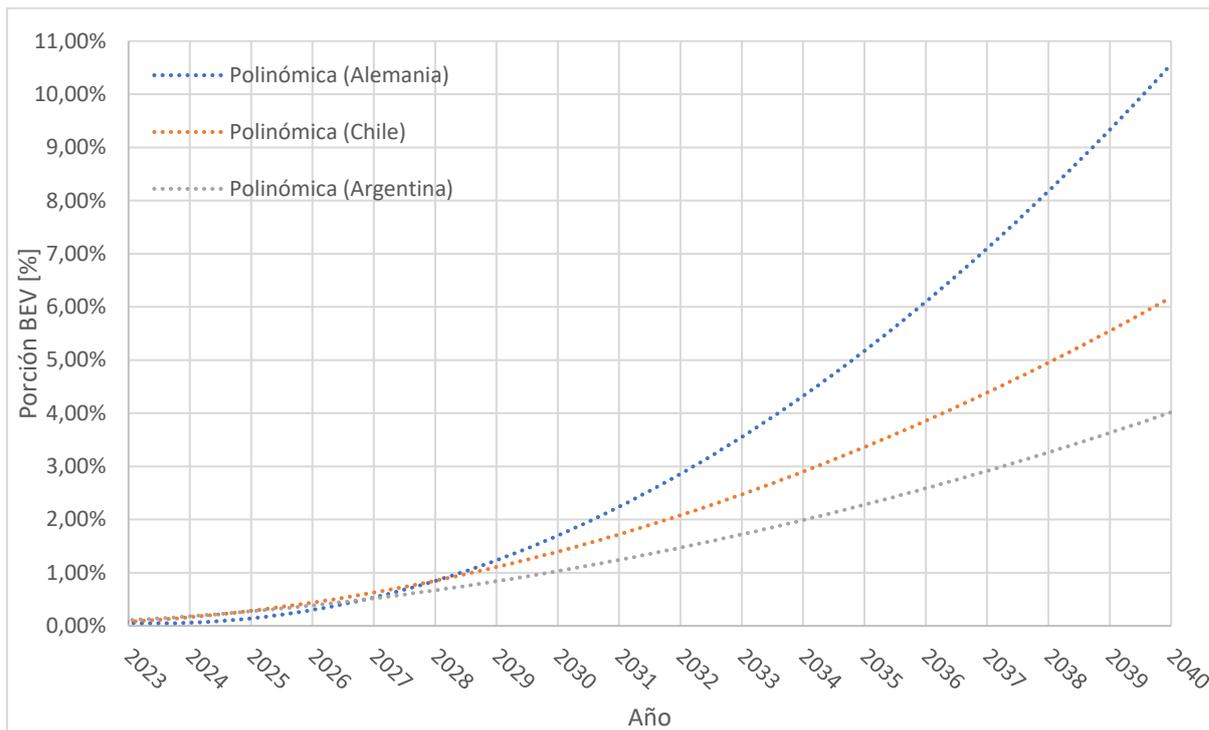


Figura 26 - "Escenarios de mercado de BEV en Argentina."

Se aprecia que, si Argentina continúa con su crecimiento actual no llegaría al escenario de 5% de penetración de mercado para 2040, en cambio adquiriendo una tendencia de crecimiento como la de Chile, para 2038 tendría una porción BEV de 5% y aún mejor siguiendo el crecimiento del mercado alemán podría llegar a un porcentaje de mercado de 10% para 2039.

2.5. Datos obtenidos del capítulo

Los parámetros analizados en este apartado son de gran importancia ya que serán necesarios en los capítulos siguientes para continuar con el estudio. Resumiendo, se considerará:

- El habitante promedio de la zona a analizar recorre 10,8 km por día.
- El consumo promedio de un BEV es de 15,9 kWh/100 km.
- El tiempo de recarga promedio de un BEV es de 30 minutos por día.
- Se analizarán 3 escenarios de crecimiento del parque automotor de BEV, siendo el de Alemania el más favorable, Chile un punto medio y Argentina el más desfavorable.

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

3.1. Zona bajo estudio

A partir del trabajo final de grado, titulado “Generación Distribuida Fotovoltaica Residencial en Redes de Distribución Eléctrica de Mar del Plata: su Impacto en Parámetros Técnicos y Ambientales”, donde se simula una parte de la red eléctrica de Mar del Plata, con características convenientes para este estudio (por tener consumidores predominantemente residenciales), se optó por realizar el presente trabajo en base al distribuidor “Don Bosco y French”, el cual parte del Centro de Distribución denominado CD Beruti. Este último se encuentra ubicado en la esquina este de la intersección de las calles Av. J. H. Jara y French (37° 58' 30.5" S; 57° 33' 40" E) y es alimentado por la Estación Transformadora “ET Jara 132/13,2kV”, ubicada en Av. Colón y Av. Jara. El tendido aéreo del distribuidor Don Bosco y French se desarrolla, en primera instancia, hacia el noreste de la ciudad, principalmente paralelo a la calle Italia (continuación de Pasteur); luego, hacia el noroeste, paralelo a la Av. J. M. Estrada. [10]

Con el apoyo de herramientas gráficas de Google Earth, el área abastecida por el distribuidor en cuestión se puede apreciar en la [Figura 27](#). En la misma se señaló la ubicación de cada una de las 16 subestaciones del distribuidor. El área comprende parte de los barrios Parque Luro, Constitución, Zacagnini, Estrada y El Grosellar, que se trata mayormente de zonas residenciales. [10] Esta corresponde a la zona 1 del “Segundo Informe de Monitoreo Ciudadano” realizado por la ONG Mar del Plata Entre Todos, citada por la fuente [2].

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata



Figura 27 - "Imagen satelital de zona bajo estudio."

3.2. Tendencias de consumos residenciales

No solo la carga de batería de los BEV afecta a la red eléctrica, sino también que el consumo residencial en sí mismo va aumentando de forma progresiva a lo largo de los años. Este es un parámetro clave a la hora de analizar el impacto en la red de distribución eléctrica.

Durante el 2016 (último año del cual se tienen datos oficiales desde la secretaria de Energía) en el partido de General Pueyrredon, se consumieron 1.460.388 MWh (tomados por EDEA, cooperativas de Laguna, Camet y Mar del Plata y GUMEM). De los cuales el 40,74% es consumido por 321.895 usuarios residenciales, el 32,23% es consumido por 28.488 usuarios comerciales, el 14,46% es consumido por 904 usuarios industriales y el 12,87% restante por otros tipos de usuarios (servicios sanitarios, públicos, rural, riego, etc.). De lo cual se deduce que, la energía promedio anual es igual a 1.848,2 kWh por usuario residencial, 16.524 kWh por usuario comercial y 233.605 kWh por usuario industrial y la energía promedio mensual es igual a 154 kWh por usuario residencial, 1.377 kWh por usuario comercial y 19.467 kWh por usuario industrial. [2]

Si se extrapolan esos datos con una curva exponencial, se estima que en 2022 la energía promedio mensual es aproximadamente 185 kWh por usuario residencial, y

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

se espera que hacia 2030 este valor se eleve a 230 kWh como se observa en la [Figura 28](#). [2]

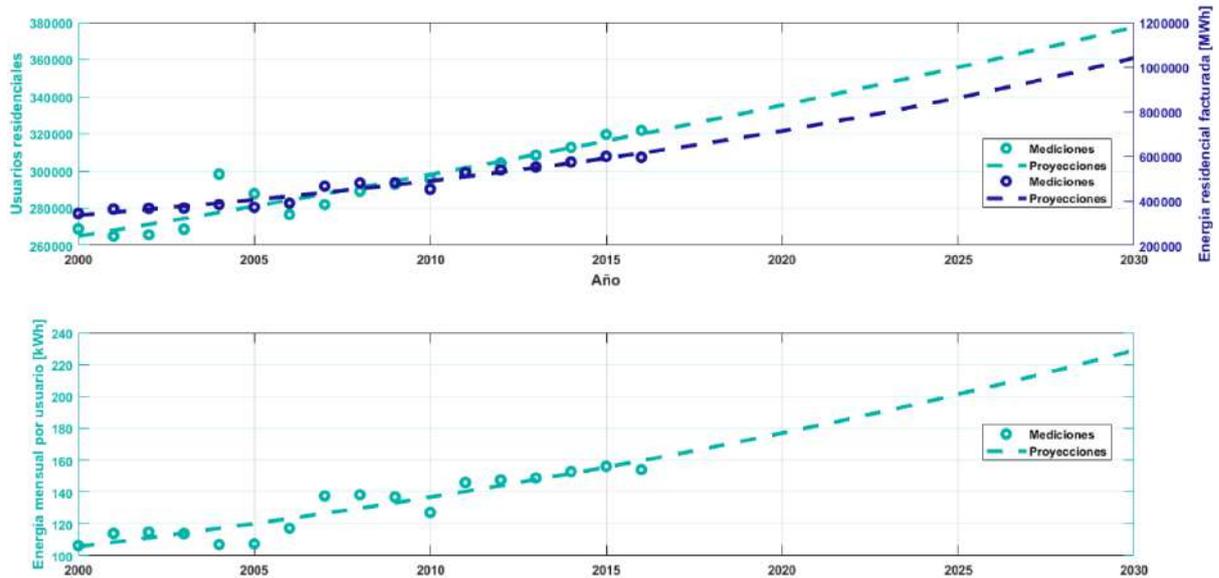


Figura 28 - “Evolución temporal desde el año 2000 hasta el año 2030 de usuarios residenciales en la ciudad de Mar del Plata, energía residencial facturada y energía mensual por usuario.” [2]

3.3. Estación del año y día adoptado como base de estudio

A partir del relevamiento de la corriente consumida por el distribuidor “Don Bosco y French” realizada en el año 2019, y los consumos de energía medios mensuales de los usuarios (dato obtenido de EDEA), se obtuvo la curva de consumo característica de los usuarios y se analizó en que día y época del año realizar el estudio.

En primera instancia se obtuvo el perfil de consumo (en [pu]) de la corriente de salida del distribuidor discriminando mes, días hábiles, sábados y domingos/feriados, como el siguiente:

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

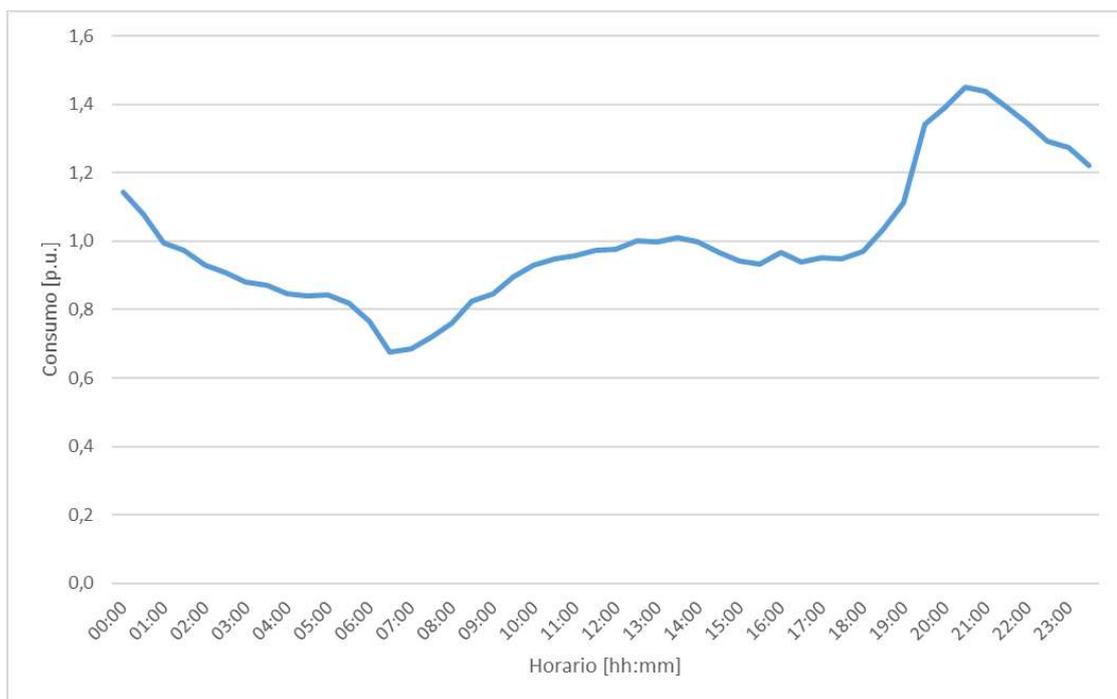


Figura 29 - "Perfil de consumo en p.u. sábados de octubre."

Luego, con los datos de energía consumida medida de manera bimestral se obtuvo una potencia media para cada usuario, la cual multiplicada por el perfil de consumo da como resultado la curva de consumo del usuario. A continuación, se muestra el resultado para un usuario con consumo medio 0,246 [kW] en octubre, ponderado con la curva de la Figura 29 para un sábado:

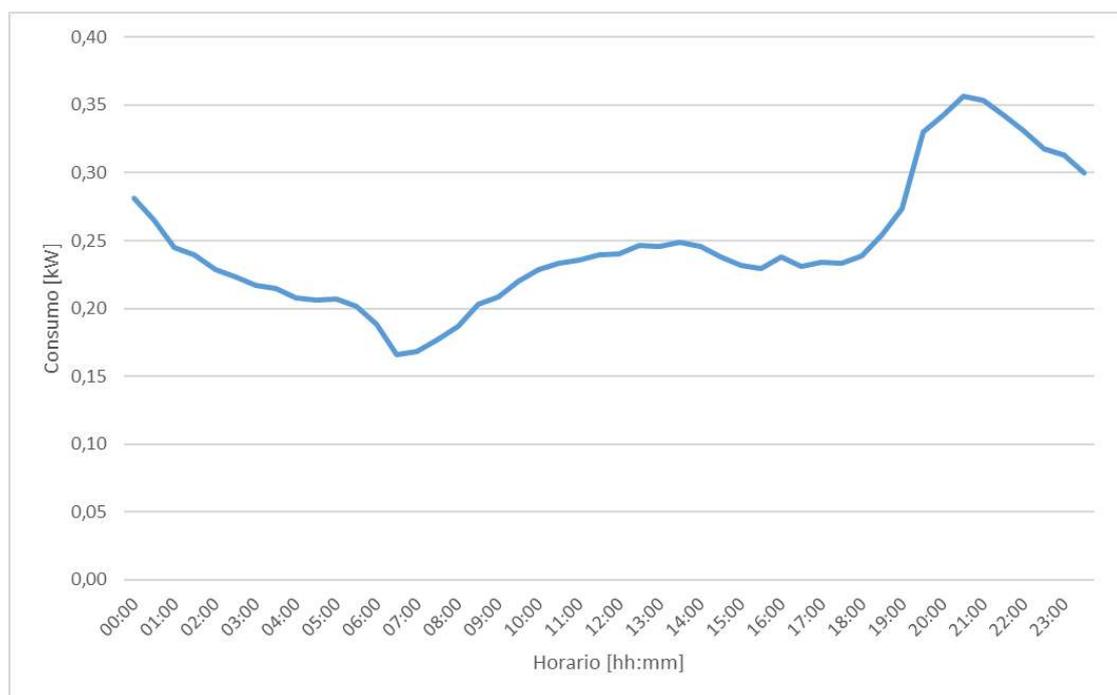


Figura 30 - "Curva de consumo de un usuario para un sábado de octubre."

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

Para obtener el punto de mayor consumo producido por los usuarios residenciales, primero se calculó la potencia media diaria del distribuidor, para cada mes del año. Se obtuvieron los mayores valores en los meses de julio/agosto, como se muestra en la siguiente figura:

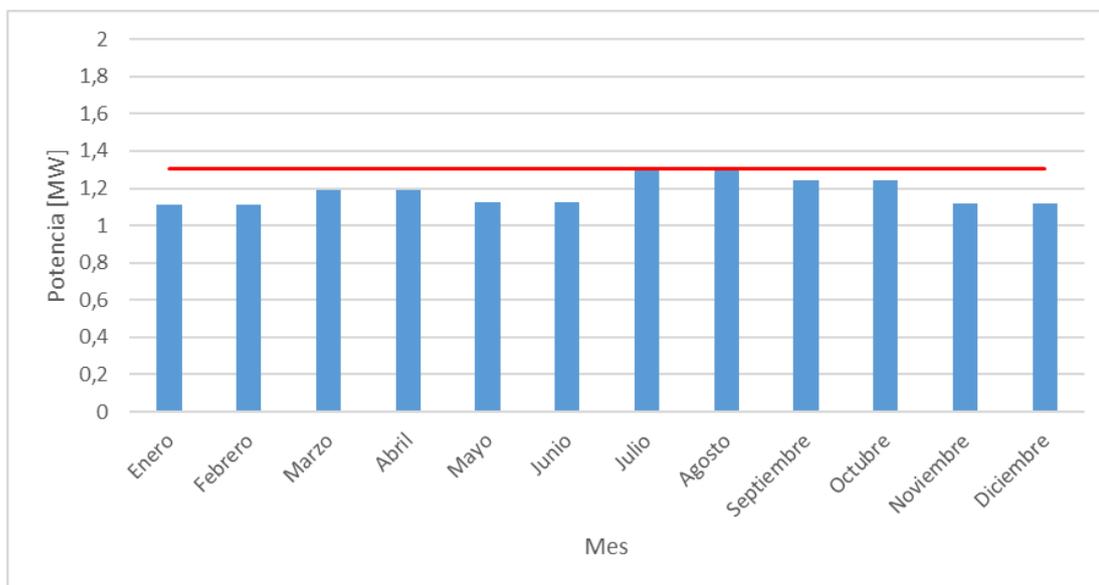


Figura 31 - "Consumo medio diario del distribuidor."

Luego, se halló el valor máximo (en [p.u]) de los perfiles de consumo (considerando solo días hábiles, dado que la recarga se supone con la llegada del trabajo) para cada mes. Se observa una tendencia a que los máximos consumos instantáneos sea en días hábiles.

Mes	Potencia pico [p.u.]
Enero	1,425
Febrero	1,445
Marzo	1,456
Abril	1,451
Mayo	1,438
Junio	1,416
Julio	1,416
Agosto	1,442
Septiembre	1,474
Octubre	1,487

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

Noviembre	1,473
Diciembre	1,489

Tabla 8 - "Valores de consumo máximo instantáneo."

Ahora, multiplicando los consumos medios diarios del distribuidor, y valores máximos de los perfiles de consumo, se obtiene los consumos picos diarios del distribuidor para cada mes del año.

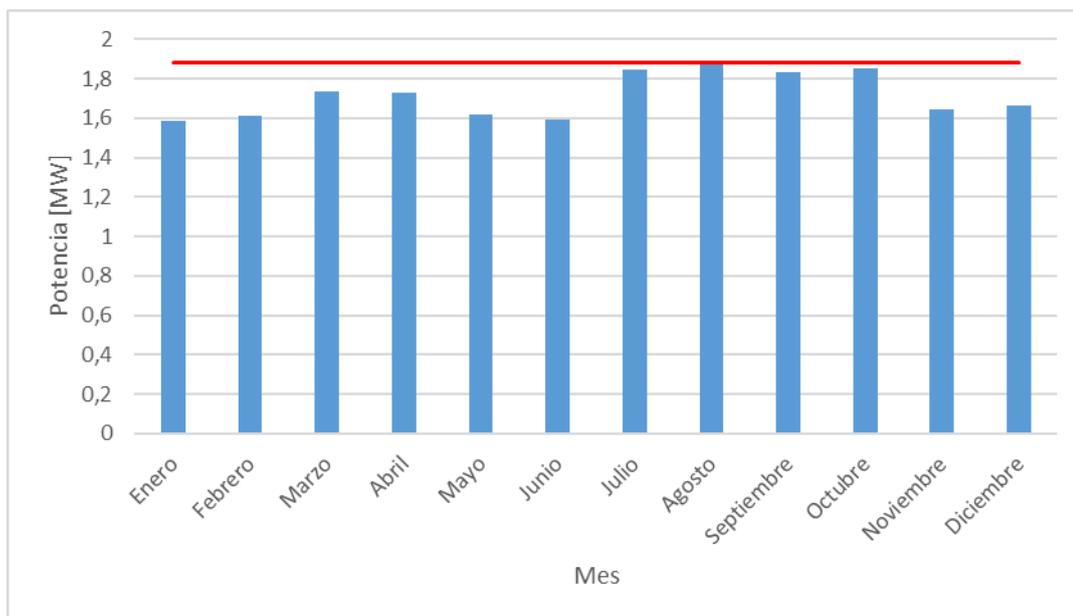


Figura 32 - "Consumo pico diario del distribuidor."

Por lo tanto, se concluye considerando un criterio pesimista realizar las simulaciones en días hábiles del mes de agosto.

3.4. Software de simulación

Para la modelación y simulación de la red eléctrica se utilizó el software DlgSILENT PowerFactory (licencia estudiantil). Este programa permite modelar en forma gráfica sistemas eléctricos de potencia (SEP) con una amplia variedad de elementos, los cuales, a su vez, tienen una gran variedad de parámetros que pueden ser configurados de forma tal de obtener una representación fiel del SEP a modelar. En los siguientes apartados se describen los elementos básicos utilizados en el software para modelar la red eléctrica bajo estudio. A su vez, se enuncian las principales funcionalidades que el programa ofrece para la simulación del comportamiento del SEP. [10]

3.4.1. Modelado de la red

La red modelada en este proyecto utilizó principalmente los siguientes elementos gráficos: terminales (Busbar/Internal Node), red externa (External Grid), líneas (Line),

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

transformadores (2-Winding Transformer), cargas (General Load), Cargadores de EV (Static Generator), Subestaciones (Substations). La apariencia gráfica de los mismos se puede apreciar en la [Figura 33](#), en la que se muestra un esquema simplificado de un SEP. [10]

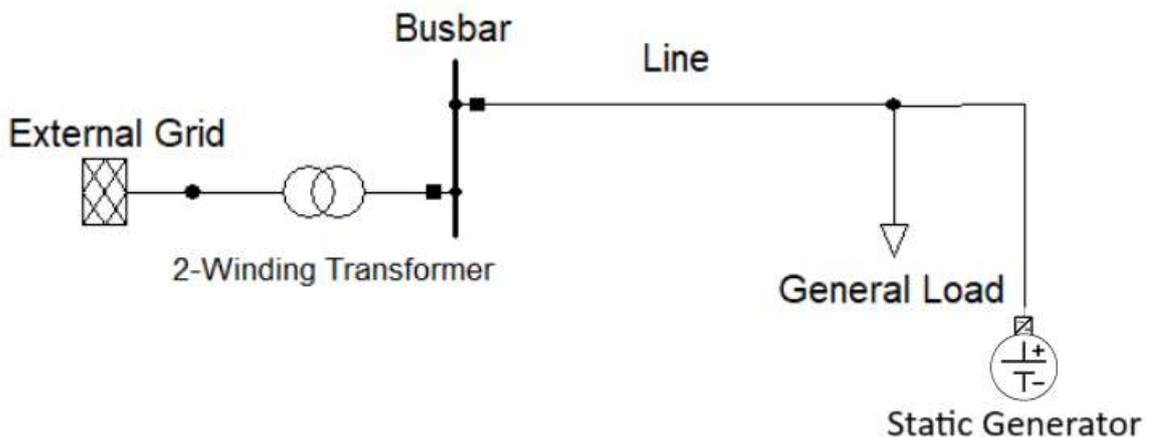


Figura 33 - "Esquema básico de sistema eléctrico de potencia."

El principal potencial del software se encuentra en la amplia variedad de herramientas de análisis de circuitos eléctricos que posee. Algunas de las simulaciones posibles de ejecutar son: flujo de carga, cálculo de cortocircuito, simulación cuasi dinámica, armónicos y calidad de energía, simulación de transitorios electromagnéticos, entre otras. Sin embargo, para el presente trabajo se utilizaron principalmente las herramientas que se detallan a continuación. [10]

3.4.2. Flujo de carga

Analiza el comportamiento de la red para un estado de carga y generación que se dan en un momento específico (fecha y hora) establecido previamente. Es posible obtener datos y gráficos tales como potencias [kW; kVAr; kVA], pérdidas técnicas [kW; kVAr], corrientes [A], tensiones [V; p.u.], perfiles de tensión [V vs. km], porcentaje de carga de las líneas y transformadores [%], etc. En la [Figura 34](#) se observa la ventana de comandos para configurar la ejecución del flujo de carga. [10]

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

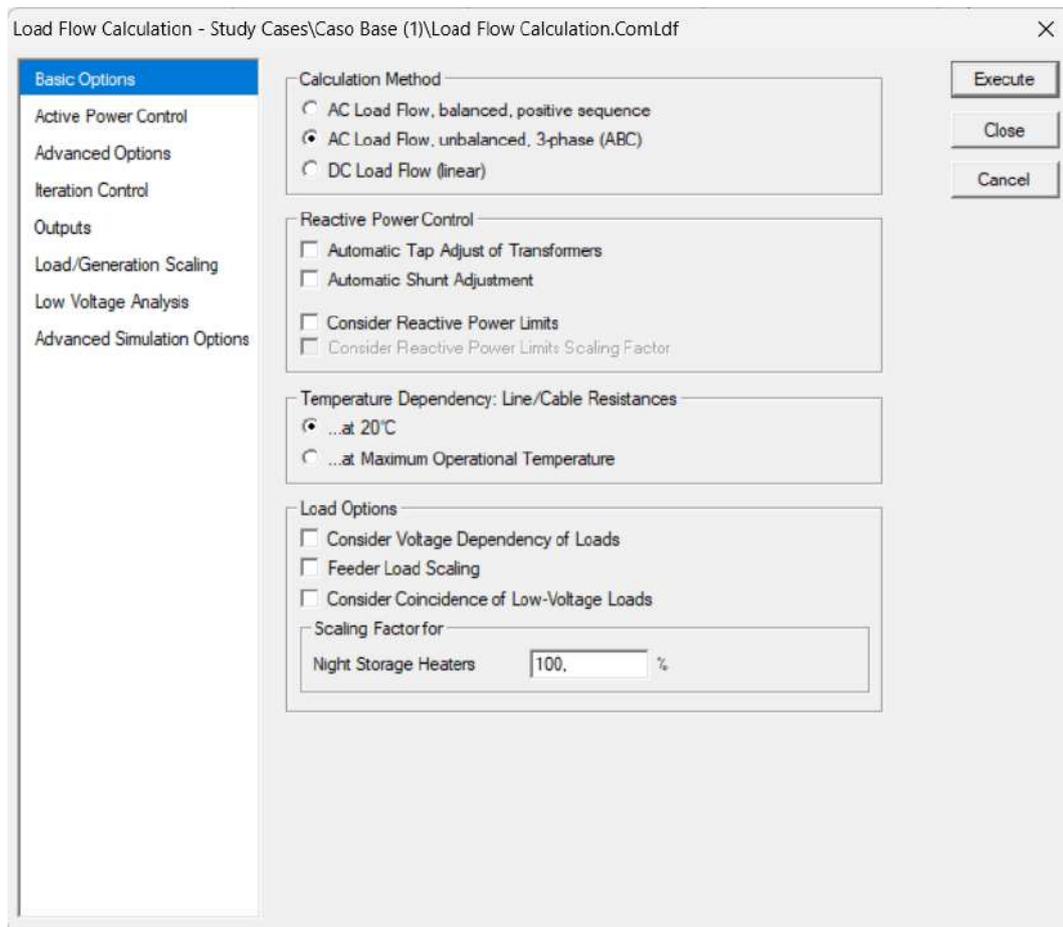


Figura 34 - "Ventana de comando para configuración de parámetros." [10]

3.4.3. Simulación cuasi-dinámica

Analiza el comportamiento de la red durante un período de tiempo preestablecido (Figura 35). Se podría afirmar que es una sucesión de flujos de carga a lo largo del intervalo seleccionado. De esta manera es posible estudiar y graficar en función del tiempo variables tales como potencias [kW; kVAr; kVA], pérdidas técnicas [kW; kVAr], tensión máxima y mínima [V; p.u.]; así como también obtener datos de energía [kWh; kVArh] (de pérdidas, consumida, generada) en el período de tiempo indicado. [10]

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

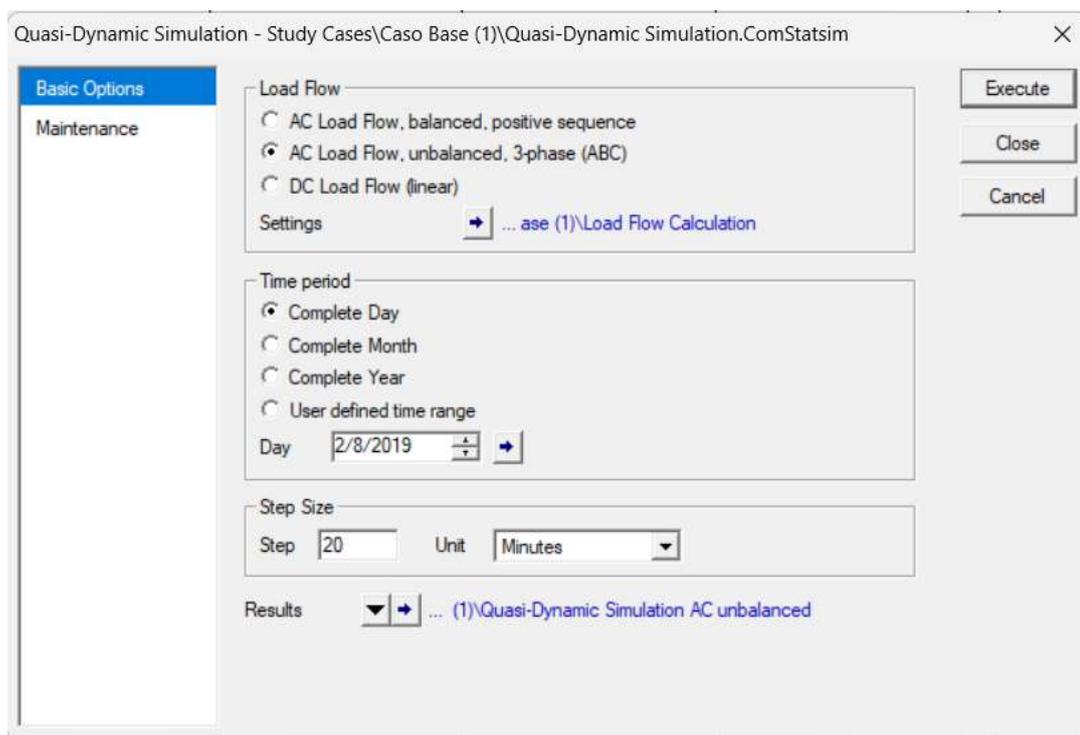


Figura 35 - “Ventana de configuración de parámetros de simulación cuasi-dinámica.” [10]

3.4.4. Carga de parámetros

Para poder variar los diversos parámetros de las baterías de todos los usuarios (o parte de ellos), tales como potencia activa, factor de potencia, habilitar o deshabilitar batería, se desarrolló un script, el cual permite de una forma rápida y fácil hacer modificaciones de dichos parámetros. Si se tuviese que realizar un cambio masivo de todos los parámetros en la totalidad de los usuarios, tomaría una cantidad considerable de tiempo. Dicho código se encuentra en el [Anexo 1](#), donde se explica su carga de parámetros y funcionamiento.

El software de simulación permite crear diferentes escenarios de operación, donde partiendo del caso base (estado actual de la red), se pueden ir variando diversas condiciones o parámetros de operación, para después poder estudiarlos de forma separada, y con la posibilidad de pasar rápidamente de un caso a otro. Esto fue aprovechado para variar el grado de penetración de los EV en la red de distribución.

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

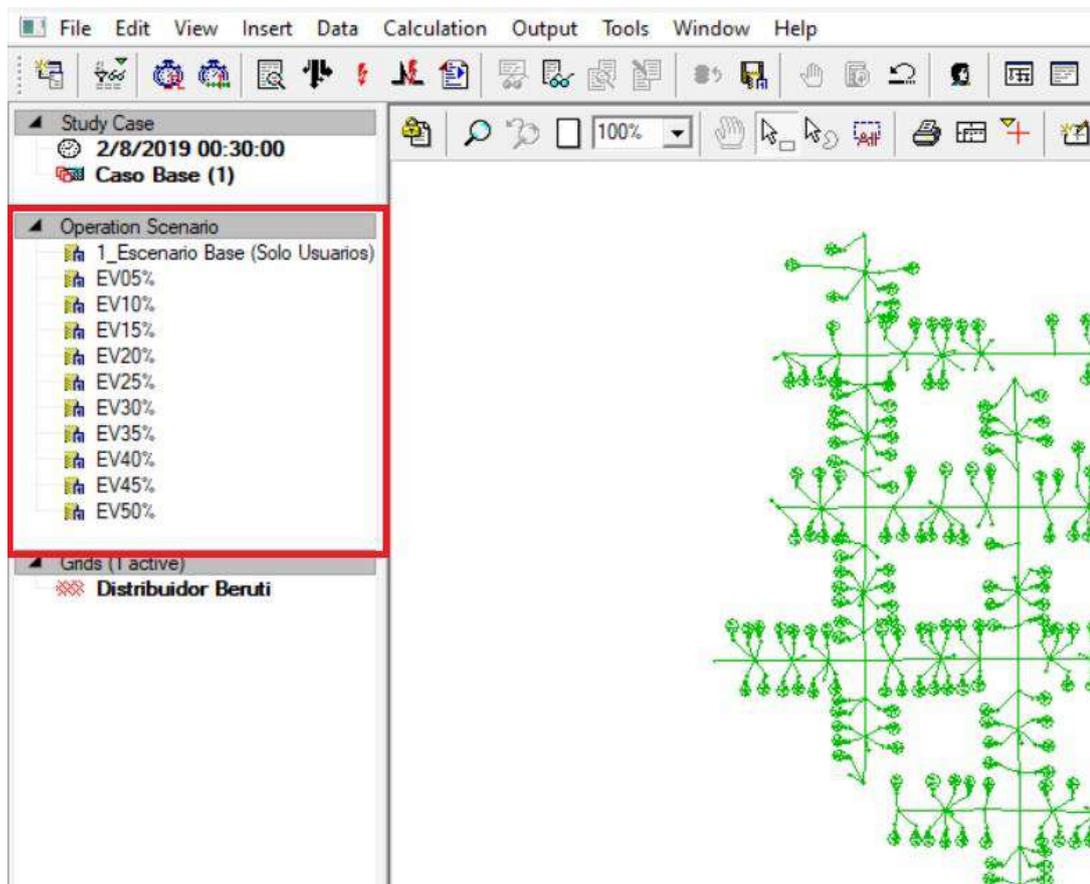


Figura 36 - "Escenarios de operación."

3.4.5. Datos obtenidos de simulación

En cuanto a los datos de salida del software, se decidió extraer los siguientes parámetros para cada una de las 16 subestaciones que componen el distribuidor:

- Carga del transformador [%]
- Corriente salida baja tensión del transformador de la fase A [A]
- Corriente salida baja tensión del transformador de la fase B [A]
- Corriente salida baja tensión del transformador de la fase C [A]
- Corriente salida baja tensión del transformador de la fase N (neutro) [A]
- Factor de potencia baja tensión del transformador fase A
- Factor de potencia baja tensión del transformador fase B
- Factor de potencia baja tensión del transformador fase C
- Potencia activa trifásica total de salida del transformador [KW]
- Potencia reactiva trifásica total de salida del transformador [KVAR]
- Potencia aparente trifásica total de salida del transformador [KVA]
- Caída de tensión en bornes de baja tensión del transformador fase A [pu]
- Caída de tensión en bornes de baja tensión del transformador fase B [pu]
- Caída de tensión en bornes de baja tensión del transformador fase C [pu]

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

La determinación de las variables y elementos a analizar se realiza mediante la siguiente interfaz:

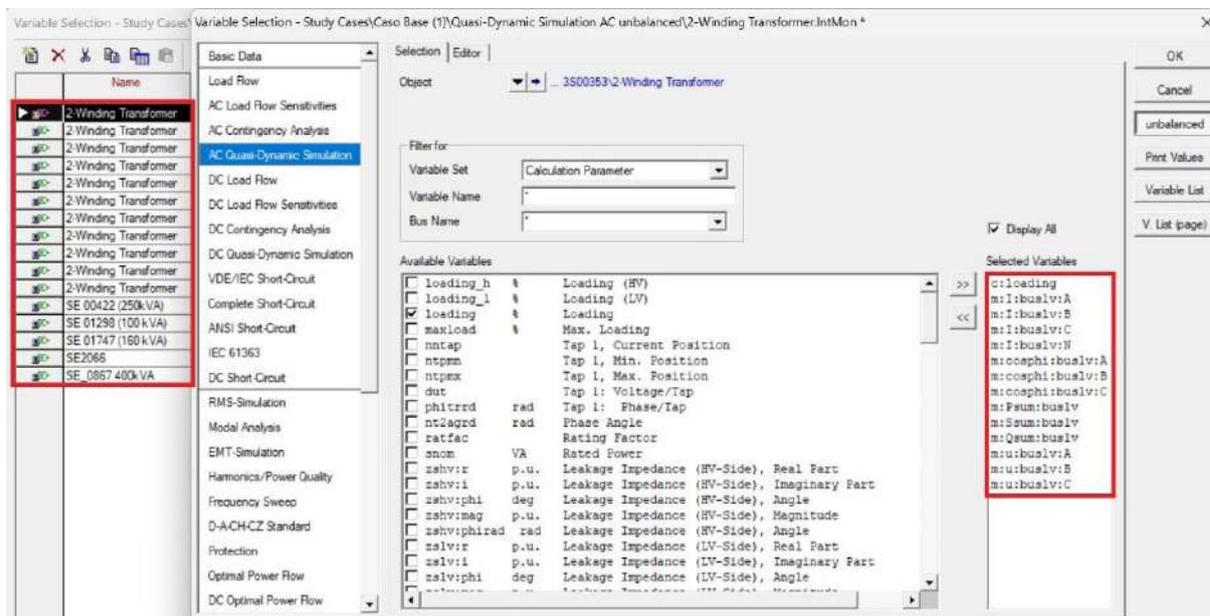


Figura 37 - "Interfaz de determinación de variables y elementos a analizar."

Donde cada uno de estos datos es obtenido durante un periodo de 24 horas, calculado cada 20 minutos. Luego, de cada simulación se realizó la extracción de datos en formato archivos de valores separados por coma (.csv) y posteriormente se importaron a una base de datos Excel con una previa adaptación del formato mediante Power Query. Debido a la excesiva cantidad de datos generados se optó por utilizar la plataforma de análisis de datos PowerBI para una mejor visualización de la información obtenida.

3. Análisis de un distribuidor para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

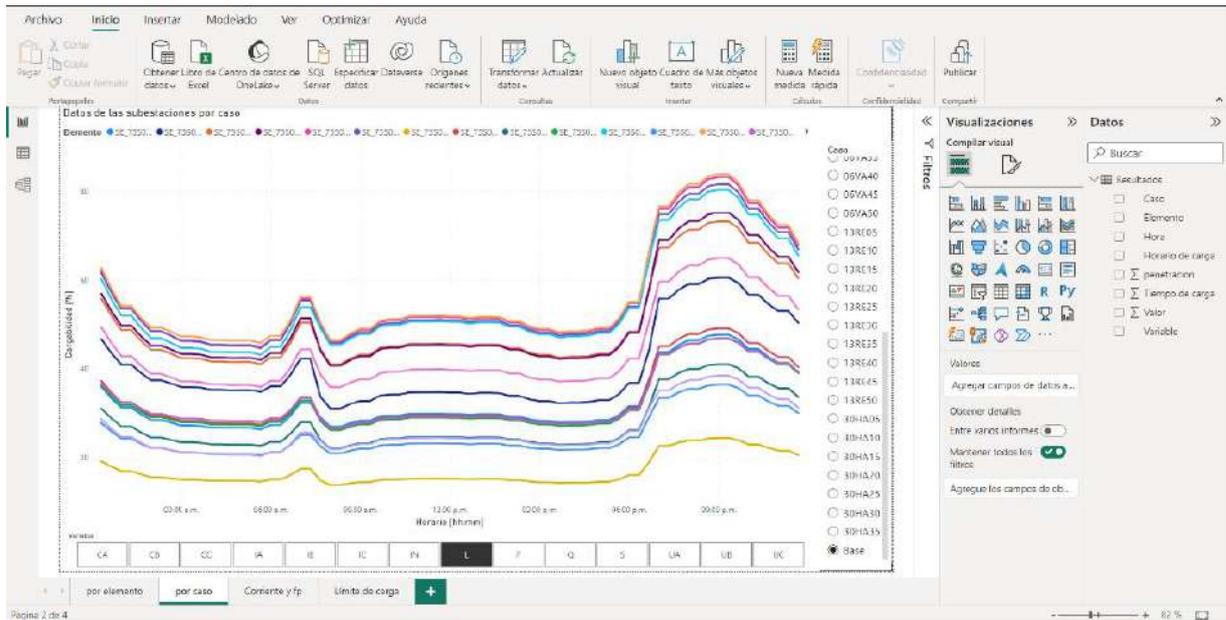


Figura 38 - "Interfaz de PowerBI."

Si bien no se usarán la gran mayoría de las variables recolectadas del listado anterior, las mismas quedarán almacenadas en una base de datos que estará disponible para futuras investigaciones o análisis, aprovechando así el tiempo de simulación empleado (que no es despreciable).

3.5. Datos obtenidos del capítulo

Finalmente, en este apartado se logró introducir el software que se utilizara para realizar las simulaciones y procesar los datos. Para el distribuidor se definió:

- La zona bajo estudio será la 1 correspondiente al apartado "[Estudio de la movilidad en Mar del Plata](#)".
- El perfil de carga.
- Se analizarán los días hábiles del mes de agosto.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Utilizando como base de trabajo el archivo de simulación del proyecto “Generación Distribuida Fotovoltaica Residencial en Redes de Distribución Eléctrica de Mar del Plata: su Impacto en Parámetros Técnicos y Ambientales” [10], facilitado por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Mar del Plata, se realizaron las simulaciones de diversas situaciones de carga de BEV posibles para una parte de la red de Mar del Plata. En el mencionado archivo, ya se encontraban cargadas previamente las baterías, que representan a los acumuladores presentes en los BEV, a cada usuario residencial de la zona de estudio. Dichas baterías cuentan con un grupo inversor / rectificador, lo que lleva a la posibilidad de que el intercambio de energía con la red se de en ambas direcciones.

Los casos planteados se dividirán en 3. El primer caso es considerando las franjas horarias de energía (pico, valle y resto), en el cual la carga de los BEV involucrados (según el grado de penetración), se realiza en simultaneo durante todo el intervalo que dure dicha franja.

Para el segundo caso, se considera los hábitos de las personas, en particular la llegada al hogar después de la jornada laboral, donde se toma como el inicio de la recarga del BEV.

En cuanto al último caso, aquí se tiene en cuenta la recarga nocturna, donde la red de energía eléctrica está con menor potencia. Esto en principio puede ser incentivado con una tarifa diferenciada.

Cada uno de estos casos son aplicados sobre una simulación base sin BEV, tal cual muestra el siguiente diagrama conceptual. Este servirá en los siguientes apartados para guiar al lector en qué casos/escenario se encuentra.

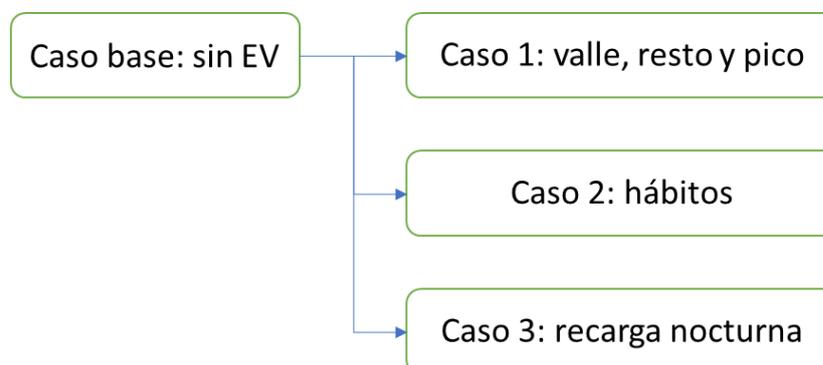


Figura 39 - “Diagrama conceptual.”

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

4.1. Hipótesis adoptadas

Las hipótesis que se tomaron, comunes para todos los casos de simulación son las siguientes:

- Factor de potencia 0,95 (L) para el grupo inversor/ rectificador – batería.
- Factor de potencia 0,85 (L) para todos los usuarios residenciales. Este valor es el más desfavorable permitido por la distribuidora local.
- La potencia activa consumida por el sistema de baterías es de 3,8 [kW] (constante) para cada usuario. Este caso corresponde a una carga modo 1 clasificado por la IEC-62196 (ver [Tabla 4](#)), el cual en su configuración monofásica consume una corriente de 16 [A]. Se decidió por optar este modo de carga ya que es el que no requiere mayores modificaciones en una instalación domiciliaria convencional.
- Solo se tendrán en cuenta vehículos completamente eléctricos.
- Cada usuario residencial posee solo un punto de recarga para su BEV.
- No se tienen en cuenta los posibles puntos de recarga en sitios de trabajo ni tampoco en futuras electrolineras.
- Los grados de penetración de los BEV tendrán un paso gradual de 5%.
- Todos los usuarios comparten la misma curva perfil de consumo resultante del estudio descrito en el apartado [“Estación del año y día adoptado como base de estudio”](#).
- Los BEV se recargan todos los días hábiles.

4.2. Simulaciones

4.2.1. Caso 1 – Recarga descontrolada en franja horaria de pico, valle y resto.

En este caso se dividen los intervalos de recarga en las 3 franjas horarias de pico, valle y resto, como se muestra a continuación:

- Energía pico: 18 a 23hs (5 horas de recarga)
- Energía valle: 23 a 05hs (6 horas de recarga)
- Energía resto: 05 a 18hs (13 horas de recarga)

La recarga se realiza durante todo el intervalo considerado, para los diferentes grados de penetración, hasta llegar al caso del 50% de BEV en la red estudiada. Dicho esto, se realizaron un total de 31 simulaciones, 10 por franja horaria y el caso base del que se parte.

Si bien este caso no representa lo que se esperarí en un escenario real, ya que de este modo el grado de simultaneidad es del 100% (que sería el peor caso posible), es una manera de poder analizar cómo afecta esta simultaneidad al grado de carga de la red.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

4.2.2. Caso 2 – Recarga considerando los hábitos de las personas

Debido a que no hay demasiados estudios al respecto sobre el momento exacto en el cual las personas pondrán a recargar sus vehículos eléctricos en el futuro, un enfoque que se toma en diversos estudios es que el comienzo de la recarga se da en el momento en que las personas llegan a sus hogares después de la jornada laboral. Por esto, utilizando un estudio estadístico realizado a partir de una recopilación de datos en Reino Unido [11], se confeccionó la siguiente distribución de probabilidad de llegada al hogar:

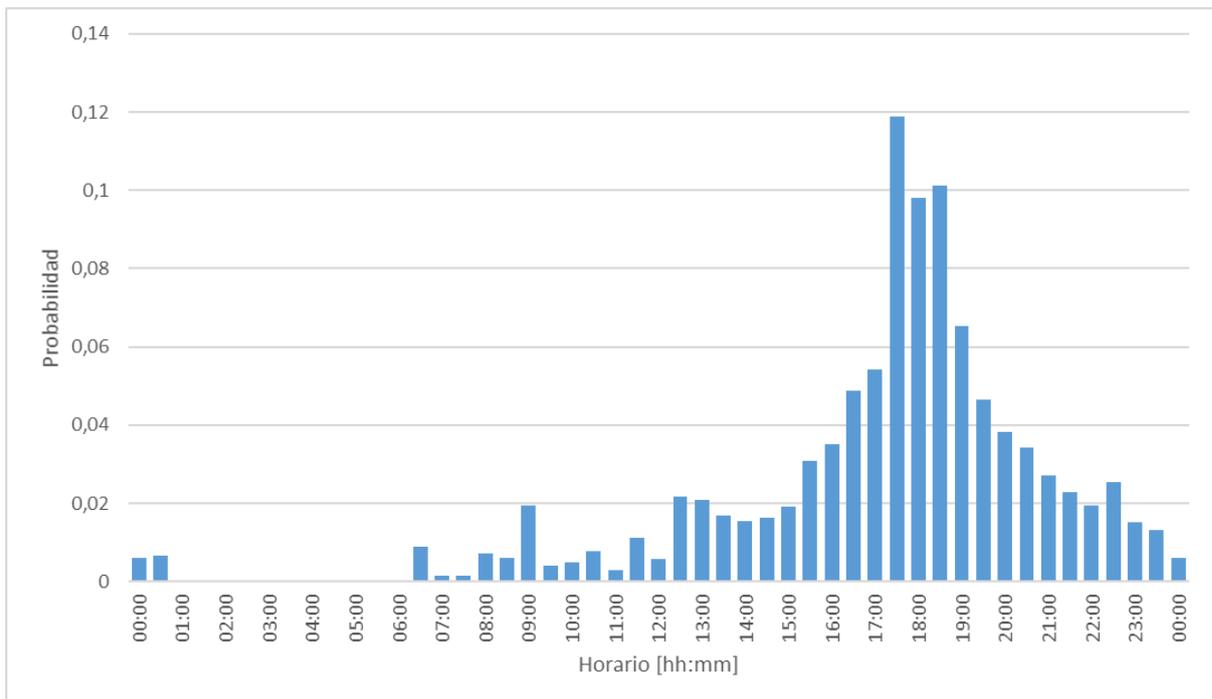


Figura 40 - “Distribución de probabilidad de llegada a casa día de semana.”

Donde el paso entre los datos de probabilidad de es de 30 minutos. Debido a que el tiempo de recarga, estimado en la sección “[Tiempo de recarga de los BEV](#)”, es de 30 minutos, se confeccionaron 48 curvas de característica de tiempo, que luego serán distribuidas aleatoriamente según la [Figura 40](#).

Para que esta distribución pueda ser cargada en el software de simulación, y debido a que este no permite realizar dicho proceso directamente, se llevó a cabo un script, el cual genera números aleatorios entre 0 y 1 (con 1×10^{-6} de paso entre números sucesivos). A su vez, se subdividió el intervalo $[0,1]$, en 49 intervalos, a los cuales se le asignó una curva de característica de tiempo a cada uno de ellos. El ancho del intervalo es directamente proporcional a la probabilidad asignada en la [Figura 41](#). Gráficamente esto se puede ver en la siguiente imagen:

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

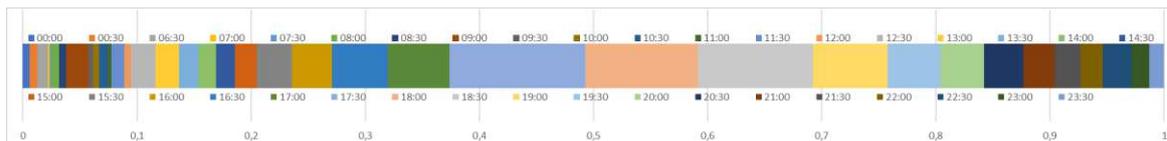


Figura 41 - “Representación del ancho de los intervalos por horario.”

Luego, según el intervalo al cual pertenezca el número aleatorio generado, es la curva de tiempo que se le asigna a un usuario residencial dado. El script pasa por el total de los 5165 usuarios que hay en el archivo de simulación. El código de programación completo se encuentra en el [Anexo 1](#).

4.2.3. Caso 3 – Recarga considerando tarifa diferenciada (recarga nocturna o valle)

Este modo de carga será incentivado por políticas que permitirán segmentar el cobro del consumo eléctrico de los usuarios residenciales, similar a lo que ocurre con los usuarios de medianas y grandes demandas. El precio de la energía variará según el momento del consumo, siendo más económico entre las 23 hs y las 5 hs, durante el horario de valle. En la siguiente figura se resalta la franja horaria (de color verde) en la que se realizará la carga, donde también se encuentra superpuesta la curva consumo (naranja) para un usuario residencial típico.

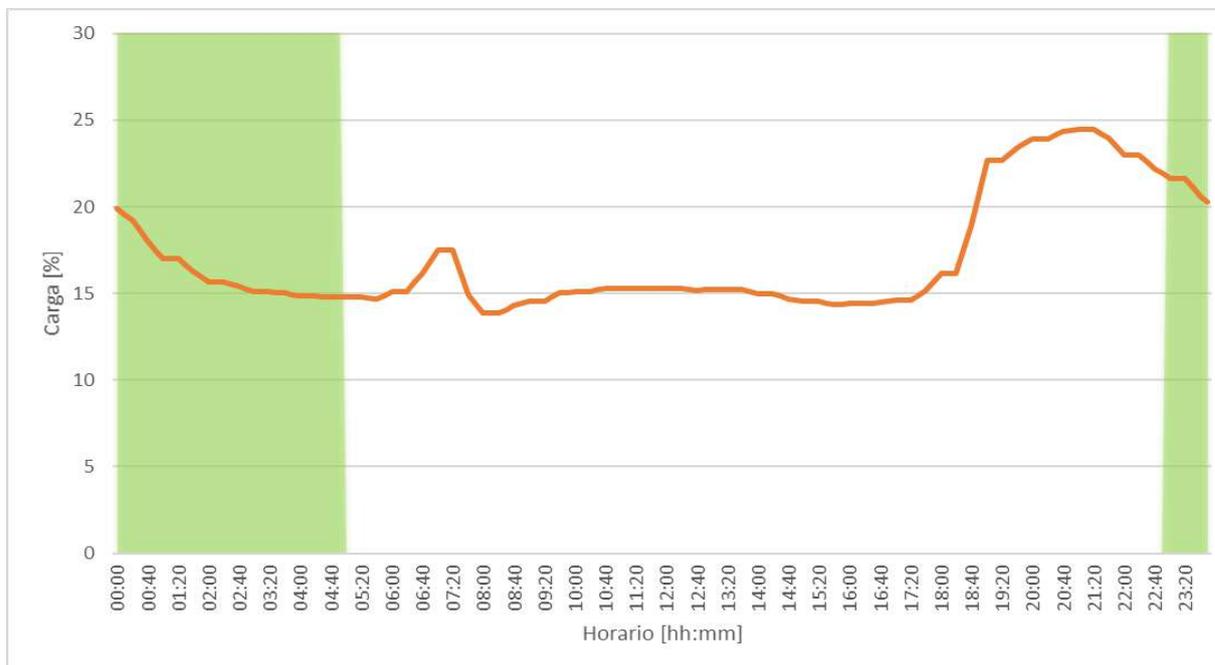


Figura 42 - “Franja horaria de recarga nocturna.”

El horario valle se decide a partir de analizar los horarios de menor demanda de potencia de generación, no solo de la ciudad sino del Sistema Argentino de Interconexión (SADI). Esto con el fin de minimizar las entradas y salidas de funcionamiento de las plantas generadoras. En consecuencia, el perfil de consumo de un usuario residencial de Mar del Plata en horario valle no necesariamente es

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

considerablemente menor que en el resto del día. En la [Figura 43](#) se muestra una curva típica de demanda de potencia energética.

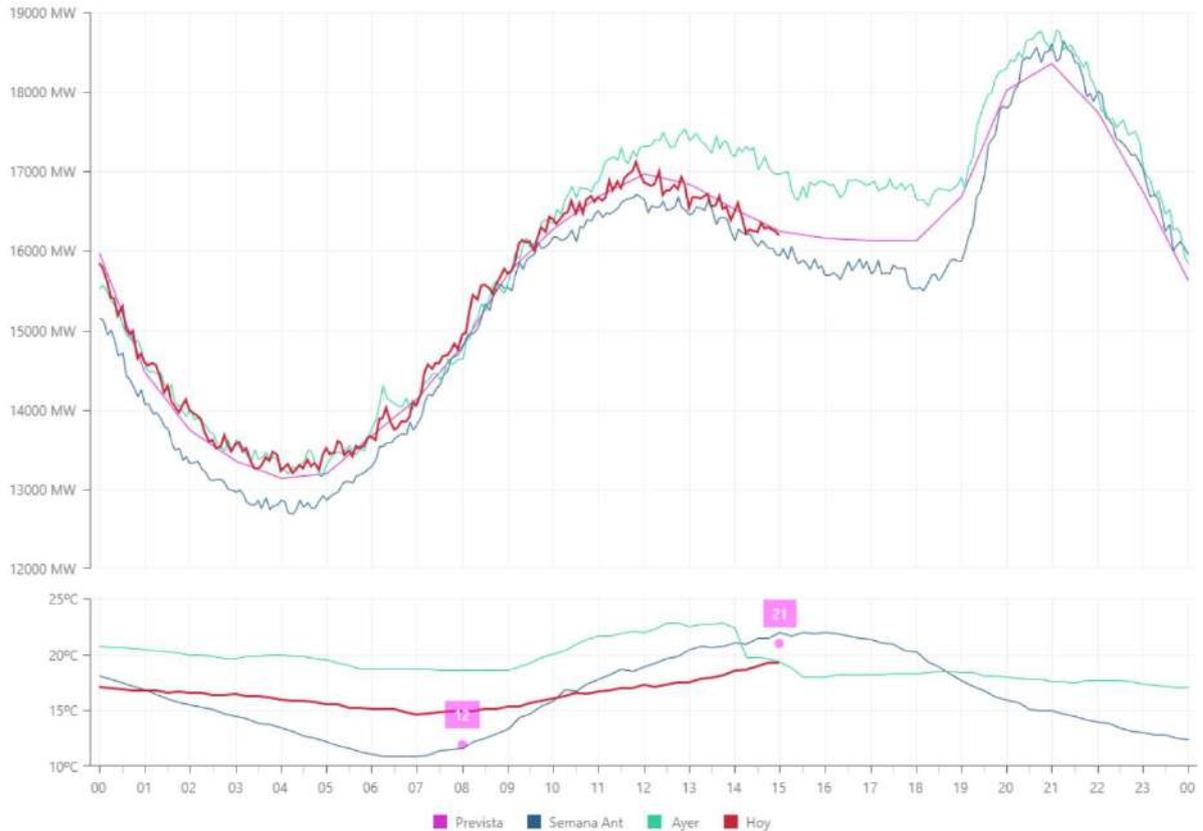


Figura 43 - “Comparación de la potencia de generación eléctrica en Argentina entre un día tipo, días previos y su previsión correspondiente.” Fuente: Cammesa

Se considera un cargador de BEV que permita configurar un rango de horarios de recarga (para este caso, de 23hs a 5hs, correspondiente al horario de valle), el cual su software reparta de manera aleatoria los horarios de inicio de la recarga, siguiendo una distribución uniforme, como se muestra a continuación.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

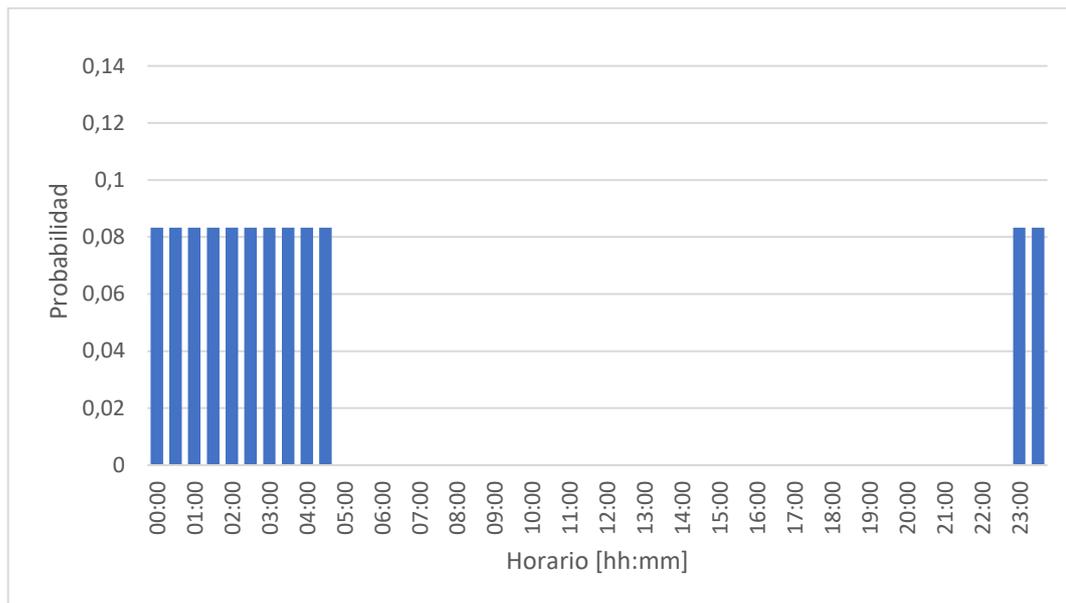


Figura 44 - "Distribución de probabilidad de recarga nocturna."

Esta distribución de probabilidad de recarga fue cargada en el programa de simulación de la misma manera que para el caso 2, donde se consideraban los hábitos de las personas.

4.3. Análisis de los resultados obtenidos

Con los resultados obtenidos de las simulaciones, se llevó a cabo un análisis para determinar el grado de penetración máximo para cada una de las 16 subestaciones. Este análisis se realizará para cada uno de los casos planteados anteriormente de forma separada.

Para realizar este análisis, se utilizaron las variables de cargabilidad y caída de tensión. En cuanto a la primera, toma en cuenta la potencia aparente aportada por el transformador y la divide por la potencia aparente nominal del mismo, para luego multiplicar este valor por 100.

$$Cargabilidad (\%) = \frac{S_{carga}}{S_{nominal}} * 100\%$$

Donde:

- S_{carga} : potencia aparente entregada por el transformador [kVA]
- $S_{nominal}$: potencia nominal del transformador [kVA]

Se fijarán 2 límites de cargabilidad: en primera instancia del 75%, ya que es la potencia respecto de su capacidad nominal para la cual se planifica que trabajen los transformadores. Esto es debido a que ante la falla de una de las subestaciones aledañas se pueden realizar maniobras en BT para abastecer la carga que queda

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

fuera de servicio. En segunda instancia, sería del 100% para evitar la sobrecarga del transformador.

En cuanto a la caída de tensión, el valor máximo de caída permitido considerado es del 8% en bornes del transformador, sobre el lado de baja tensión. Este valor es tomado del decreto 1208/97 (Subanexo D), donde están fijadas las variaciones porcentuales admisibles para los diferentes niveles de tensión.

4.3.1. Resultados caso 1 – Recarga descontrolada en franja horaria de pico, valle y resto.

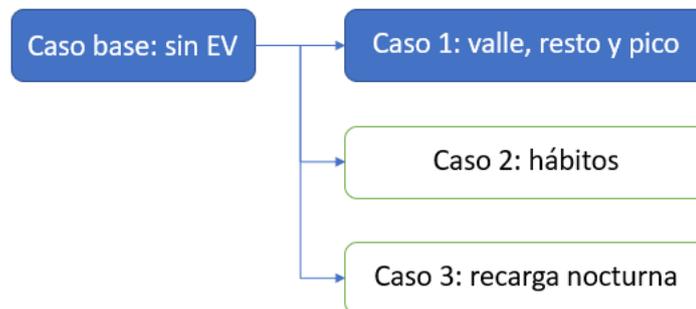


Figura 45 - “Diagrama conceptual: Caso 1.”

En las siguientes tablas se muestran los grados de cargabilidad máximos para los casos de recarga en pico, resto y valle, correspondiente a cada una de las 16 subestaciones, para diferentes estados de penetración de BEV. Este valor es el máximo registro para un determinado momento del día. Se resaltan en amarillo los casos en los que la subestación sobrepasa el primer límite de 75% y con rojo los casos que sobrepasan el límite de 100%.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Subestación	Pico										
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
SE_73S00047	42,4	55,7	73,1	91,4	108,4	125,1	141,4	157,7	175,0	191,0	206,7
SE_73S00270	49,8	64,8	85,2	105,4	125,2	144,7	164,0	183,2	202,2	220,9	238,9
SE_73S00353	69,5	80,8	100,9	120,7	141,7	162,8	184,0	205,0	225,6	245,9	266,3
SE_73S00422	68,5	80,9	101,7	120,7	140,9	160,3	179,3	198,1	216,6	234,4	251,7
SE_73S00658	73,0	88,3	113,1	153,4	161,4	185,5	209,4	232,3	255,0	277,5	299,4
SE_73S00667	73,3	85,2	105,7	125,8	146,4	166,3	186,1	205,4	224,9	244,1	263,1
SE_73S00785	22,6	28,8	36,3	43,7	51,1	58,5	65,8	73,0	80,2	87,2	94,3
SE_73S00867	42,1	51,1	65,3	78,4	92,6	106,6	120,5	133,7	146,9	159,7	172,7
SE_73S00917	34,1	44,7	59,2	72,7	87,0	101,2	115,1	129,0	142,7	156,4	169,9
SE_73S00932	43,8	58,0	75,4	92,7	110,8	128,7	146,6	163,6	180,6	197,2	213,4
SE_73S01138	68,4	97,3	130,5	165,3	199,6	233,2	265,5	296,9	325,6	353,1	380,2
SE_73S01217	32,9	44,8	58,1	71,3	86,2	100,2	113,8	127,5	140,9	154,2	166,8
SE_73S01298	70,8	90,1	117,8	144,9	171,8	197,9	222,5	247,1	271,0	293,9	316,2
SE_73S01747	40,2	49,7	63,0	76,0	89,0	101,8	114,4	126,8	139,1	150,8	162,7
SE_73S02066	54,3	61,7	81,6	96,5	111,3	125,9	140,1	154,0	167,8	181,2	194,4
SE_73S02178	27,7	36,1	49,4	62,2	74,2	85,7	97,4	110,4	122,5	132,9	142,9

Tabla 9 - "Cargabilidad subestaciones caso 1, carga en pico."

Subestación	Resto										
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
SE_73S00047	42,4	45,1	62,9	81,7	99,2	116,4	133,1	149,8	167,6	184,1	200,2
SE_73S00270	49,8	53,2	74,1	94,9	115,3	135,5	155,4	175,2	194,8	214,0	232,6
SE_73S00353	69,5	69,5	85,1	105,5	127,0	148,7	170,7	192,2	213,5	234,4	255,4
SE_73S00422	68,5	68,5	86,8	106,6	127,6	147,8	167,6	187,2	206,5	225,0	243,1
SE_73S00658	73,0	73,0	97,3	138,7	147,1	172,1	196,8	220,6	244,1	267,5	290,1
SE_73S00667	73,3	73,3	88,6	109,4	130,6	151,2	171,7	191,7	211,8	231,7	251,2
SE_73S00785	22,6	23,0	30,6	38,2	45,7	53,2	60,7	68,0	75,3	82,5	89,7
SE_73S00867	42,1	42,1	56,0	69,6	84,2	98,7	113,1	126,8	140,4	153,7	167,1
SE_73S00917	34,1	36,6	51,5	65,4	80,0	94,6	108,9	123,2	137,2	151,4	165,3
SE_73S00932	43,8	47,5	65,3	83,0	101,6	120,0	138,4	155,9	173,3	190,3	207,0
SE_73S01138	68,4	80,7	115,0	150,9	186,4	221,0	254,3	286,7	316,2	344,6	372,6
SE_73S01217	32,9	36,6	50,4	63,9	79,3	93,6	107,6	121,6	135,4	149,0	162,0
SE_73S01298	70,8	73,7	102,5	130,6	158,6	185,7	211,3	236,9	261,7	285,6	308,8
SE_73S01747	40,2	40,2	53,9	67,3	80,7	93,9	106,8	119,6	132,3	144,4	156,7
SE_73S02066	54,3	54,3	69,0	84,5	99,8	114,9	129,7	144,1	158,5	172,4	186,1
SE_73S02178	27,7	29,3	43,1	56,3	68,7	80,4	92,4	105,8	118,3	128,9	139,1

Tabla 10 - "Cargabilidad subestaciones caso 1, carga en resto."

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Subestación	Valle										
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
SE_73S00047	42,4	51,5	69,0	87,5	104,7	121,6	138,1	154,6	172,0	188,3	204,1
SE_73S00270	49,8	60,2	80,7	101,2	121,2	141,0	160,6	180,0	199,2	218,2	236,4
SE_73S00353	69,5	74,2	94,6	114,7	135,8	157,2	178,7	199,9	220,8	241,3	262,0
SE_73S00422	68,5	74,7	95,7	115,0	135,6	155,3	174,7	193,7	212,6	230,6	248,3
SE_73S00658	73,0	81,6	106,9	147,6	155,7	180,2	204,4	227,6	250,6	273,5	295,7
SE_73S00667	73,3	78,1	98,9	119,3	140,1	160,3	180,4	199,9	219,7	239,2	258,3
SE_73S00785	22,6	26,5	34,0	41,5	48,9	56,4	63,7	71,0	78,3	85,3	92,4
SE_73S00867	42,1	47,2	61,6	74,9	89,2	103,4	117,6	131,0	144,3	157,3	170,5
SE_73S00917	34,1	41,4	56,1	69,8	84,2	98,5	112,6	126,7	140,5	154,4	168,1
SE_73S00932	43,8	53,8	71,3	88,8	107,1	125,2	143,3	160,6	177,7	194,4	210,8
SE_73S01138	68,4	90,7	124,3	159,6	194,3	228,3	261,0	292,8	321,8	349,8	377,2
SE_73S01217	32,9	41,5	55,0	68,4	83,4	97,5	111,3	125,2	138,7	152,1	164,9
SE_73S01298	70,8	83,6	111,7	139,2	166,5	193,0	218,1	243,0	267,3	290,6	313,3
SE_73S01747	40,2	45,9	59,3	72,6	85,7	98,6	111,4	124,0	136,4	148,2	160,3
SE_73S02066	54,3	56,4	76,6	91,7	106,7	121,5	135,9	150,0	164,1	177,7	191,1
SE_73S02178	27,7	33,4	46,9	59,8	72,0	83,6	95,4	108,5	120,8	131,3	141,4

Tabla 11 - "Cargabilidad subestaciones caso 1, carga en valle."

Para más detalle sobre como la cargabilidad se distribuye a lo largo del día, se tiene gráficos de cargabilidad [%] vs momento del día [hs] para cada subestación. Para el siguiente ejemplo se toma la subestación SE_73S00785 con los 3 casos de carga posible (pico, resto y valle).

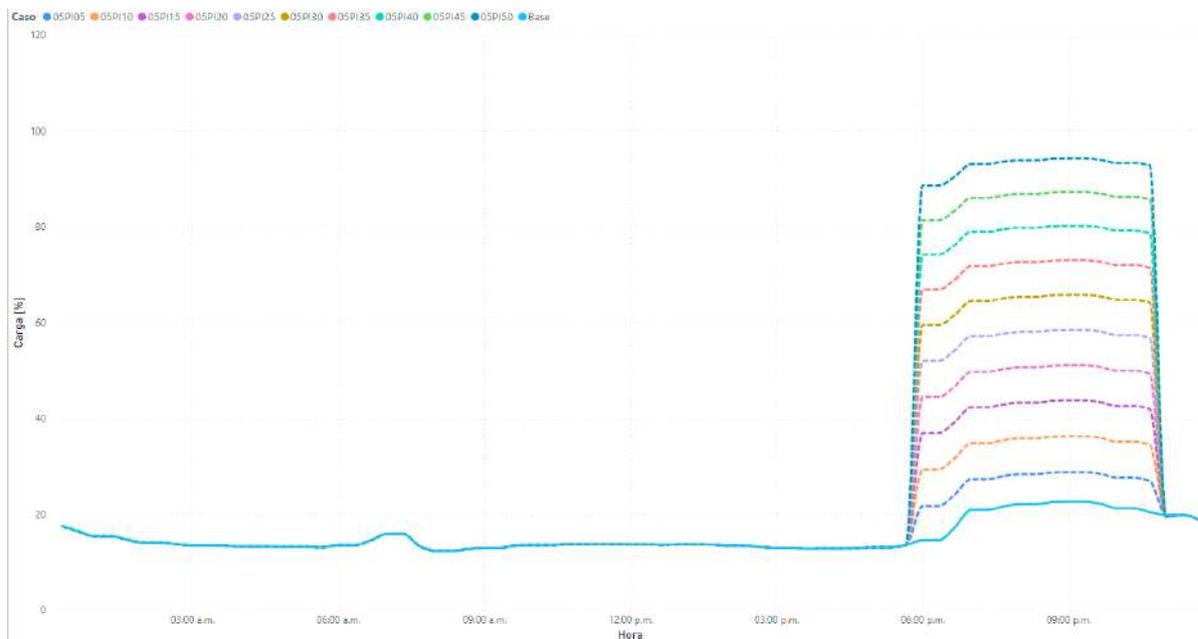


Figura 46 - "Grado de carga de la subestación SE_73S00785, carga en hora pico."

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

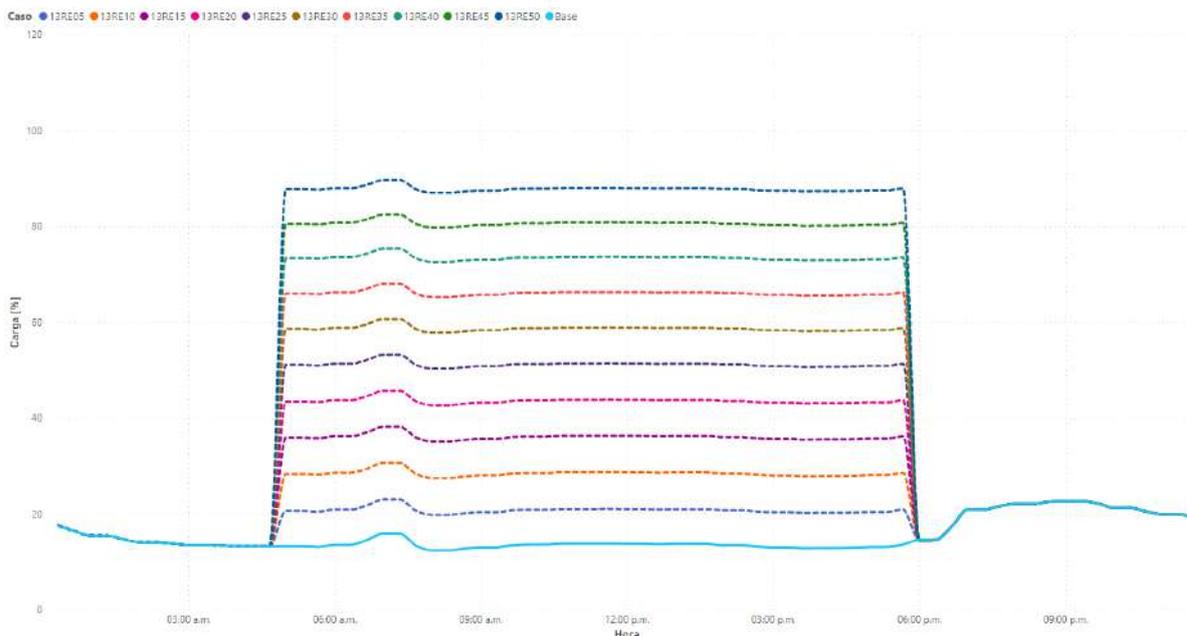


Figura 47 - “Grado de carga de la subestación SE_73S00785, carga en hora resto.”

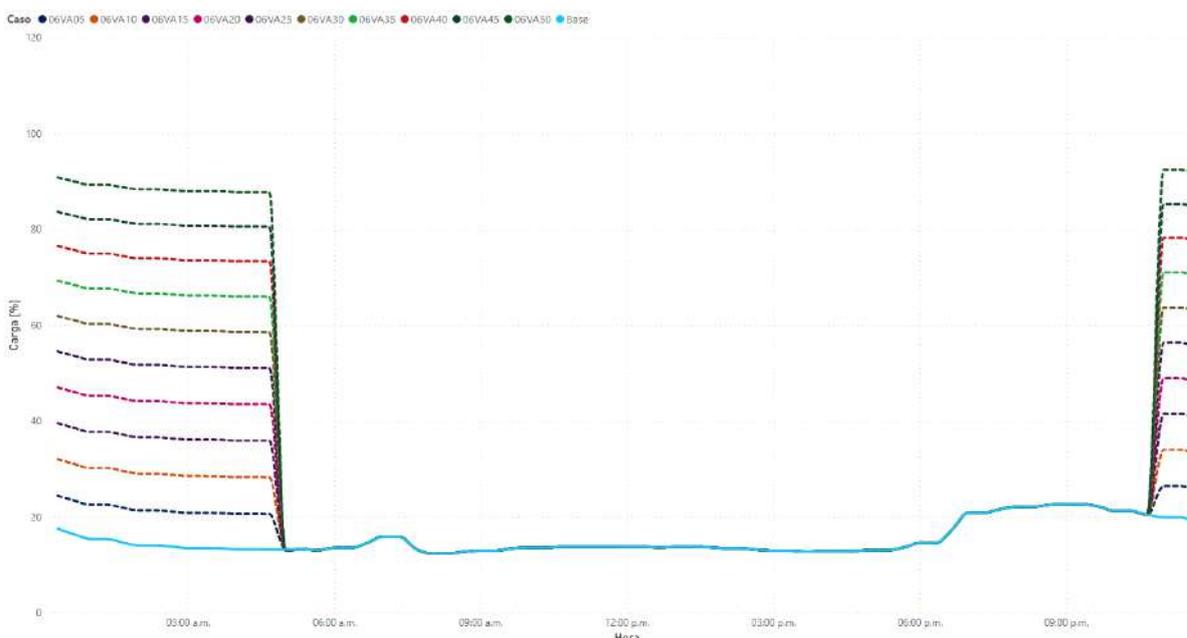


Figura 48 - “Grado de carga de la subestación SE_73S00785, carga en hora valle.”

Dado que los puntos de mayor carga se encuentran en el escenario de pico, de este se puede analizar el peor caso. Se observa que ante un 5% de penetración, 6 de las subestaciones (37,5%) ya no cumplirían con el primer criterio considerado del 75%. Al aumentar la penetración al 10% esa misma cantidad supera el segundo criterio de 100% y 2 más se suman para superar el primer límite de esta manera más de la mitad (56,25%) de las subestaciones se encontrarían en situación de analizar su reemplazo.

En cuanto a la caída de tensión, se representa de forma similar a la cargabilidad, donde se registra la máxima caída de tensión para un determinado caso en un momento dado del día, como sigue:

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Subestación	Pico										
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
SE_73S00047	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85
SE_73S00270	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,83
SE_73S00353	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89
SE_73S00422	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,80
SE_73S00658	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84	0,83
SE_73S00667	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86
SE_73S00785	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
SE_73S00867	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,85	0,84
SE_73S00917	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,84
SE_73S00932	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,84
SE_73S01138	0,95	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,82	0,80	0,78
SE_73S01217	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85
SE_73S01298	0,95	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77
SE_73S01747	0,96	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85	0,84
SE_73S02066	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,83
SE_73S02178	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86

Tabla 12 - "Caída de tensión máxima en bornes de subestaciones caso 1, carga en pico."

Subestación	Resto										
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
SE_73S00047	0,97	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86
SE_73S00270	0,96	0,96	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,83
SE_73S00353	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89
SE_73S00422	0,95	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,84	0,83	0,81
SE_73S00658	0,96	0,96	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84
SE_73S00667	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87
SE_73S00785	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92
SE_73S00867	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85
SE_73S00917	0,97	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85
SE_73S00932	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85
SE_73S01138	0,95	0,95	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,83	0,81	0,79
SE_73S01217	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85
SE_73S01298	0,95	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78
SE_73S01747	0,96	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84
SE_73S02066	0,96	0,96	0,95	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,85	0,84
SE_73S02178	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87

Tabla 13 - "Caída de tensión máxima en bornes de subestaciones caso 1, carga en resto."

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Subestación	Valle											
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	
SE_73S00047	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	
SE_73S00270	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	
SE_73S00353	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	
SE_73S00422	0,95	0,95	0,93	0,92	0,90	0,89	0,87	0,85	0,84	0,82	0,80	
SE_73S00658	0,96	0,96	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83	
SE_73S00667	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	
SE_73S00785	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	
SE_73S00867	0,96	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	
SE_73S00917	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	
SE_73S00932	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	
SE_73S01138	0,95	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	
SE_73S01217	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	
SE_73S01298	0,95	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82	0,79	0,77	
SE_73S01747	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,85	0,84	
SE_73S02066	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	
SE_73S02178	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	

Tabla 14 - "Caída de tensión máxima en bornes de subestaciones caso 1, carga en valle."

Al igual que en el caso de la cargabilidad, dado que los puntos de mayor caída de tensión se encuentran en el escenario de pico, de este se puede analizar el peor caso. Se observa que es posible soportar una penetración del 10% y tener una caída de tensión permisible. Pero al aumentar la penetración al 20%, el 50% de las subestaciones tendrían una caída de tensión mayor a la permitida.

Dado que la cargabilidad sobrepasa los límites permitidos a penetraciones menores a los de la caída de tensión, el elemento que primero presentaría problemas frente el aumento de la penetración de BEV serían los transformadores.

4.3.2. Resultados caso 2 – Recarga considerando los hábitos de las personas

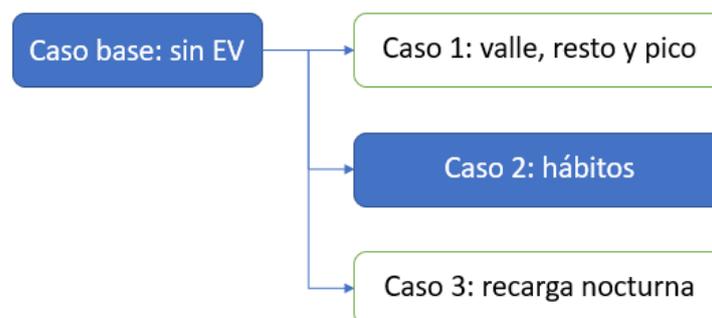


Figura 49 - "Diagrama conceptual: Caso 2."

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

A continuación, se presentan los datos obtenidos para el caso de recarga de los BEV, considerando los hábitos de las personas, utilizando el mismo formato de visualización que el caso anterior.

Subestación	Hábitos										
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
SE_73S00047	42,4	46,0	47,6	46,2	47,6	49,0	53,9	55,3	59,6	62,8	62,8
SE_73S00270	49,8	51,2	51,9	51,9	55,7	55,7	55,7	57,4	60,1	61,5	66,7
SE_73S00353	69,5	70,7	73,0	75,4	80,1	80,1	80,8	81,2	81,2	82,2	84,6
SE_73S00422	68,5	68,7	71,9	71,9	73,5	75,4	77,1	77,1	79,0	79,0	82,5
SE_73S00658	73,0	76,7	78,0	78,0	80,0	80,7	84,7	87,3	88,8	91,8	94,7
SE_73S00667	73,3	73,3	73,3	76,9	78,3	82,4	82,4	83,8	85,1	87,6	90,3
SE_73S00785	22,6	23,8	24,8	24,8	24,8	25,9	26,8	26,8	26,8	27,8	27,8
SE_73S00867	42,1	42,4	44,8	48,2	49,1	49,2	49,2	50,3	51,9	51,9	53,1
SE_73S00917	34,1	34,9	35,9	38,2	39,3	41,6	45,0	45,0	45,0	45,0	45,4
SE_73S00932	43,8	45,1	46,5	48,4	48,4	49,0	51,2	51,2	53,4	57,7	57,7
SE_73S01138	68,4	68,4	73,5	73,5	73,5	80,8	83,5	83,5	85,9	102,1	114,1
SE_73S01217	32,9	33,9	37,5	37,5	39,2	42,8	42,8	45,1	45,4	47,2	50,7
SE_73S01298	70,8	80,1	80,1	80,1	80,1	82,1	89,0	89,0	89,0	95,1	105,1
SE_73S01747	40,2	40,6	40,6	43,0	43,0	45,3	46,3	48,5	48,8	50,9	50,9
SE_73S02066	54,3	56,9	62,3	62,3	62,3	62,3	62,3	62,3	65,1	65,1	65,1
SE_73S02178	27,7	28,8	29,3	29,8	31,4	30,7	33,8	34,1	35,9	38,4	39,6

Tabla 15 - “Cargabilidad subestaciones caso 2, carga siguiendo hábitos.”

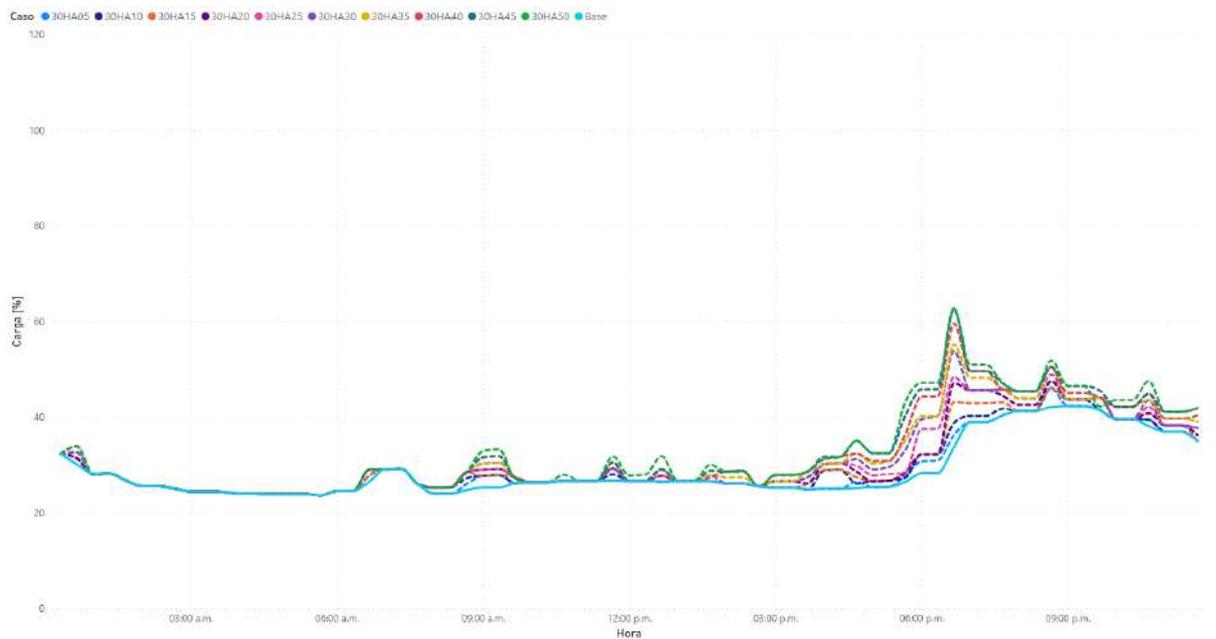


Figura 50 - “Grado de carga de la subestación SE_73S00047, carga siguiendo hábitos.”

A partir del 5%, comenzando con 2 subestaciones, empiezan a surgir casos de transformadores por encima del 75% de cargabilidad, hasta llegar al 40% con el 37,5%

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

de estos en la misma situación. Luego del 45% de penetración se observan pocos casos que superen el segundo límite.

Subestación	Hábitos										
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
SE_73S00047	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95
SE_73S00270	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
SE_73S00353	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
SE_73S00422	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94
SE_73S00658	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
SE_73S00667	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95
SE_73S00785	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97
SE_73S00867	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
SE_73S00917	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
SE_73S00932	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
SE_73S01138	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,93
SE_73S01217	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95
SE_73S01298	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93
SE_73S01747	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95
SE_73S02066	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
SE_73S02178	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96

Tabla 16 - "Caída de tensión máxima en bornes de subestaciones caso 2, carga siguiendo hábitos."

No se observan problemas de caída de tensión producidos por el aumento de la penetración en electromovilidad para este caso.

Debido a que no existe la alta simultaneidad del caso 1, el grado de penetración permisible por la red aumenta considerablemente. Este caso se asemeja más a la realidad, pero no quita la posibilidad de existencia de situaciones anormales que modifiquen los hábitos de las personas y que aumente la simultaneidad de las cargas temporalmente.

Además, como consecuencia de la tendencia de los consumos y usuarios residenciales a aumentar, el caso base aumentaría. Esto generaría que en el tiempo que transcurre hasta alcanzar una penetración del 40% de BEV algunas subestaciones podrían superar el segundo límite de manera prematura. Por ejemplo, las subestaciones SE_73S01138 y la SE_73S01298 que para un 45% y 50% de BEV respectivamente muestran sobrecargas.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

4.3.3. Resultados caso 3 – Recarga considerando tarifa diferenciada (recarga nocturna o valle)

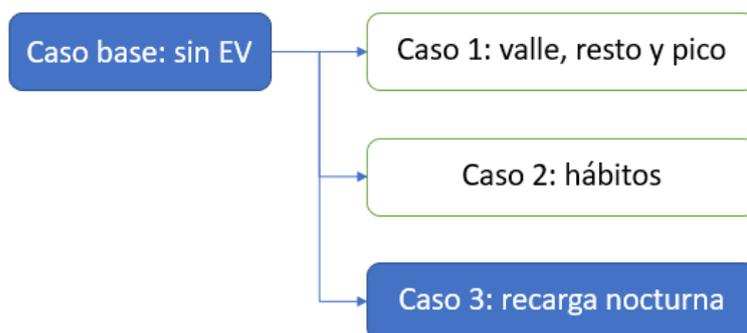


Figura 51 - “Diagrama conceptual: Caso 3.”

A continuación, se presentan los datos obtenidos para el caso de recarga de los BEV, considerando la recarga en horario valle.

Subestación	Carga nocturna										
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
SE_73S00047	42,4	42,4	42,4	43,8	45,2	45,2	48,0	53,1	54,5	55,9	54,4
SE_73S00270	49,8	49,8	49,8	49,8	56,1	59,0	59,0	60,3	64,7	64,7	66,5
SE_73S00353	69,5	69,7	69,7	69,7	72,9	75,8	77,9	80,9	82,4	84,1	85,1
SE_73S00422	68,5	68,6	68,6	69,0	72,5	77,5	79,3	82,8	84,8	86,5	90,1
SE_73S00658	73,0	73,0	74,4	78,6	78,6	80,3	80,3	80,3	80,3	80,3	84,8
SE_73S00667	73,3	73,4	73,4	73,4	75,6	80,4	83,2	84,5	84,5	88,6	88,6
SE_73S00785	22,6	22,6	22,6	22,6	24,1	24,2	25,2	25,2	26,3	26,3	27,4
SE_73S00867	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	43,3	45,5	45,5	47,7	48,7	51,2
SE_73S00917	34,1	34,1	34,1	35,0	38,3	39,4	40,6	41,7	42,7	43,9	46,0
SE_73S00932	43,8	43,8	43,8	43,8	44,0	45,3	46,6	48,3	52,2	55,1	56,6
SE_73S01138	68,4	68,4	68,4	71,9	71,9	73,8	78,1	83,9	86,5	104,7	109,5
SE_73S01217	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	33,9	35,6	36,0	37,9	39,6	41,9
SE_73S01298	70,8	70,8	70,8	70,8	79,6	83,9	92,6	92,6	92,6	92,6	101,1
SE_73S01747	40,2	40,2	40,2	40,2	40,2	41,2	41,0	44,8	44,8	45,3	47,8
SE_73S02066	54,3	54,3	54,3	54,3	55,6	58,5	61,5	66,7	66,7	69,5	69,5
SE_73S02178	27,7	27,7	27,7	27,7	27,7	27,9	30,0	30,7	32,1	34,0	35,9

Tabla 17 - “Cargabilidad subestaciones caso 3, carga nocturna.”

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

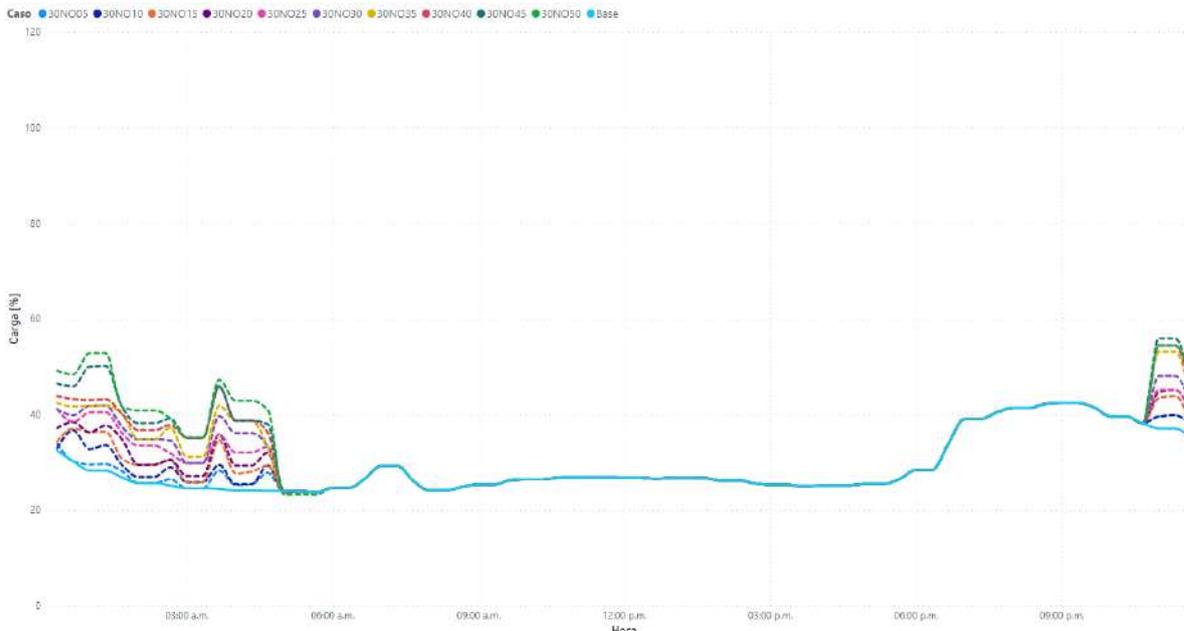


Figura 52 - “Grado de carga de la subestación SE_73S00047, carga nocturna.”

A partir del 15%, comenzando con 1 subestación, empiezan a aparecer casos de transformadores por encima del 75% de cargabilidad, hasta llegar al 40% con el 37,5% de estos en la misma situación. Luego del 45% de penetración se observan pocos casos que superen el segundo límite.

Subestación	Carga nocturna											
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	
SE_73S00047	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	
SE_73S00270	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	
SE_73S00353	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	
SE_73S00422	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	
SE_73S00658	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
SE_73S00667	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	
SE_73S00785	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	
SE_73S00867	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	
SE_73S00917	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	
SE_73S00932	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	
SE_73S01138	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	
SE_73S01217	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	
SE_73S01298	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	
SE_73S01747	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	
SE_73S02066	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
SE_73S02178	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	

Tabla 18 - “Caída de tensión máxima en bornes de subestaciones caso 3, carga nocturna”

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

No se observan problemas de caída de tensión producidos por el aumento de la penetración en electromovilidad para este caso.

Se aprecia que los resultados de este caso son similares a los del caso 2, sin embargo, estos se dan en horarios distintos como se muestra en la [Figura 53](#) (tomando como ejemplo la subestación SE_73S01138 para un 45% de penetración). Además, presenta una leve mejora en cuanto el grado de penetración que soporta sin superar el primer límite.

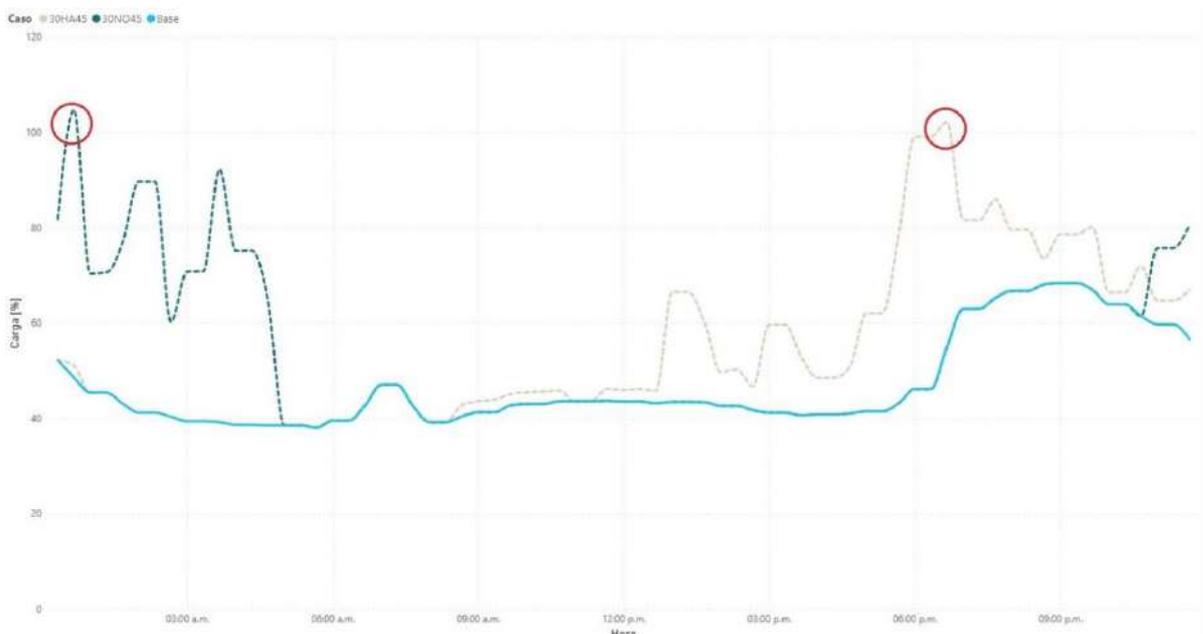


Figura 53 - “Comparativa de consumo eléctrico entre caso base, hábitos y recarga en horario valle.”

La distribución de las cargas en ambos casos sigue una curva de probabilidad característica de cada situación como se explicó anteriormente. A diferencia del caso 2 que sigue los hábitos cotidianos de las personas, en este caso se tiene la opción de modificar el ancho de la franja temporal (horario valle) en la que se consume esa energía. De esta manera si se amplía el intervalo de carga puede apaciguar los valores pico de potencia, si la energía consumida en ese periodo se mantiene constante. Además, tiene la posibilidad de implementar una red inteligente con gestión de carga dinámica para aplanar aún más la curva de demanda. Aun así, sin implementar ninguna tecnología de recarga inteligente se observa que el caso 3 hasta un 20% tiene menor cantidad de subestaciones por encima de algún límite, como se puede observar en la [Figura 54](#).

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

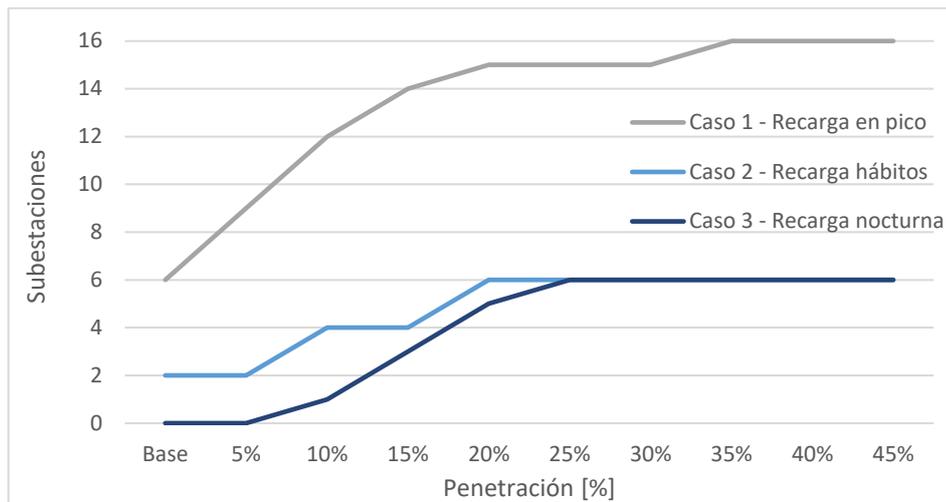


Figura 54 - “Cantidad de SE por encima del 75% de cargabilidad, según caso de simulación.”

4.4. Ajuste de los resultados considerando aumento de consumos residenciales e inserción BEV

La importancia estratégica de realizar un análisis técnico económico previo a la adopción masiva de vehículos eléctricos radica en determinar el punto crítico en el cual la red eléctrica podría experimentar fallas debido al aumento de la demanda por la carga de estos vehículos. Este estudio también tiene en cuenta las variaciones en los consumos residenciales a lo largo del tiempo.

Esta evaluación permite a las empresas distribuidoras anticipar y planificar inversiones necesarias para mantener la fiabilidad del suministro eléctrico, adaptándose proactivamente a las dinámicas cambiantes tanto en el sector de transporte como en los patrones de consumo residencial. Así, el análisis económico proporciona una base informada para la toma de decisiones, contribuyendo al desarrollo sostenible y asegurando la integridad de la red eléctrica en un contexto de creciente adopción de vehículos eléctricos.

En este estudio se analiza por forma separada el impacto del crecimiento de los consumos eléctricos domiciliarios y el impacto de la inserción de BEV en la red eléctrica. Luego, se toma en cuenta ambos factores para obtener el impacto global, y así analizar cuál de ellos tiene más peso.

Al igual que en el apartado “Análisis de los resultados obtenidos”, se utilizará un diagrama conceptual (Figura 55) para ayudar al lector a interpretar el análisis de los casos. “CR” corresponde a los ajustes por consumos residencial y “AT” corresponde al ajuste temporal relacionado a la tendencia de los mercados automotores.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

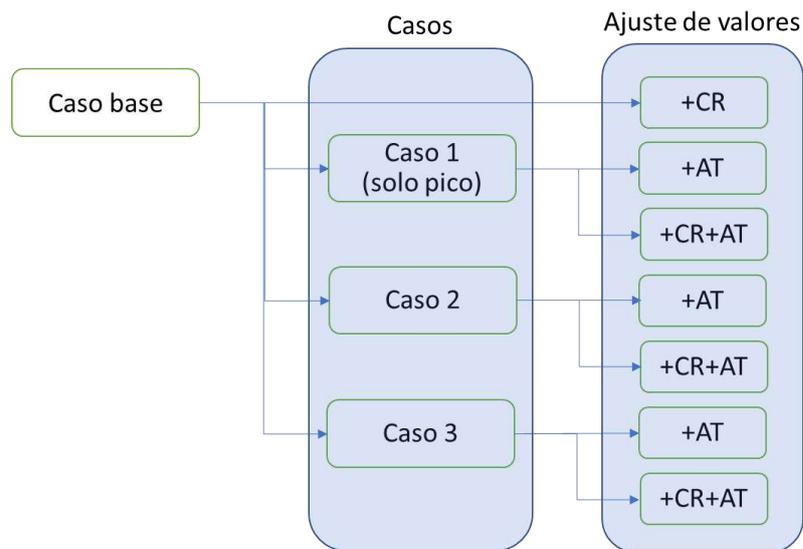


Figura 55 - "Diagrama conceptual: ajuste de valores obtenidos."

4.4.1. Impacto de los consumos residenciales

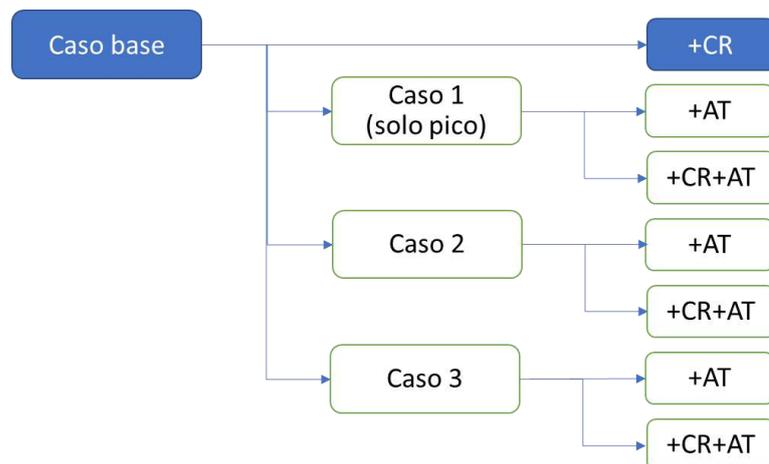


Figura 56 - "Diagrama conceptual: Ajuste de caso base por consumos residenciales."

El objetivo de este apartado es analizar el impacto de los aumentos de los consumos residenciales en la red eléctrica. Este análisis se realiza considerando que el grado de penetración de BEV es nulo.

Inicialmente, se analiza analíticamente de la siguiente manera:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{Subestación}}(t) = P_{\text{usuario}}(t) * n_{\text{usuarios}} \\ P_{\text{usuario}}(t) = P_{\text{p.u.}}(t) * P_{\text{usuario media}} \\ P_{\text{usuario media}} = \frac{E_{\text{usuario mensual}}}{\text{horas del mes}} \end{array} \right.$$

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Donde:

- $P_{\text{Subestación}}(t)$: potencia instantánea de subestación.
- $P_{\text{usuario}}(t)$: potencia instantánea de usuario.
- n_{usuarios} : cantidad de usuario en la SE analizada.
- $P_{\text{p.u.}}(t)$: perfil de carga de un usuario residencial.
- $P_{\text{usuario media}}$: potencia media consumida por un usuario residencial dado.
- $E_{\text{usuario mensual}}$: energía mensual total consumida por usuario residencial dado.

Reemplazando las ecuaciones de arriba se llega a:

$$P_{\text{Subestación}}(t) = \frac{P_{\text{p.u.}}(t) * E_{\text{usuario mensual}} * n_{\text{usuarios}}}{\text{horas del mes}}$$

Se considera que la zona en estudio es un barrio residencial ya consolidado, por lo que no se espera un crecimiento en la cantidad de usuarios y se asume que el perfil de carga no varía. Por lo tanto, la única variable a analizar es el aumento en los consumos energéticos de los usuarios (Δ_E), que se analizó en el apartado “[Tendencias de consumos residenciales](#)”. Se demuestra analíticamente que las variaciones en el perfil de carga de las subestaciones resultan proporcionales a la variación de la energía demandada.

$$\left\{ \begin{array}{l} P'_{\text{Subestación}}(t) = \frac{P_{\text{p.u.}}(t) * E'_{\text{usuario mensual}} * n_{\text{usuarios}}}{\text{horas del mes}} \\ E'_{\text{usuario mensual}} = E_{\text{usuario mensual}} * \Delta_E \end{array} \right.$$

Donde:

- $P'_{\text{Subestación}}(t)$: potencia instantánea de subestación, corregida por crecimiento en los consumos residenciales.
- $E'_{\text{usuario mensual}}$: energía mensual total consumida por usuario residencial dado, corregida por crecimiento en los consumos residenciales.
- Δ_E : variación de la energía de energía consumida de los usuarios residenciales con respecto al caso base.

Reemplazando se llega a:

$$P'_{\text{Subestación}}(t) = \frac{P_{\text{p.u.}}(t) * E_{\text{usuario mensual}} * \Delta_{E\%} * n_{\text{usuarios}}}{\text{horas del mes}}$$

Y luego:

$$P'_{\text{Subestación}}(t) = P_{\text{Subestación}}(t) * \Delta_{E\%}$$

Con ayuda de las ecuaciones anteriores, se calcula el grado de carga de las subestaciones para los siguientes años, sin tener en cuenta la inserción de BEV.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Subestación	Año				
	2019	2023	2028	2033	2038
SE_73S00047	42,4	46,9	53,3	60,6	68,9
SE_73S00270	49,8	55,2	62,7	71,3	81,0
SE_73S00353	69,5	77,0	87,5	99,4	113,0
SE_73S00422	68,5	75,9	86,3	98,1	111,5
SE_73S00658	73,0	80,9	91,9	104,5	118,7
SE_73S00667	73,3	81,2	92,3	104,9	119,2
SE_73S00785	22,6	25,1	28,5	32,4	36,8
SE_73S00867	42,1	46,6	53,0	60,2	68,5
SE_73S00917	34,1	37,7	42,9	48,8	55,4
SE_73S00932	43,8	48,5	55,1	62,6	71,2
SE_73S01138	68,4	75,8	86,2	97,9	111,3
SE_73S01217	32,9	36,4	41,4	47,1	53,5
SE_73S01298	70,8	78,4	89,1	101,3	115,1
SE_73S01747	40,2	44,6	50,7	57,6	65,5
SE_73S02066	54,3	60,1	68,3	77,7	88,3
SE_73S02178	27,7	30,7	34,9	39,6	45,0

Tabla 19 - “Evolución de la cargabilidad del caso base considerando el aumento de los consumos residenciales.”

Donde los factores de corrección de la energía consumida por los usuarios residenciales en función del año son los siguientes:

Año	$\Delta E\%$	ΔE
2019	0	1,000
2023	10,78	1,108
2028	25,91	1,259
2033	43,10	1,431
2038	62,65	1,626

Tabla 20 - “Factor de corrección de energía consumida por los usuarios residenciales.”

Cabe aclarar, que los datos proporcionados anteriormente en el apartado “Análisis de los resultados obtenidos”, corresponden a los datos de simulaciones obtenidos de curvas de consumo del año 2019. Por esa razón, no se condice el valor actual (2023) con el obtenido en dicho apartado para el caso base.

De los datos obtenidos resulta que hasta el año 2031 no habría casos de SE por encima del 100% de cargabilidad, pero si se observan casos en los cuales se debería analizar su reemplazo o acción correctiva. En la siguiente figura se muestra la evolución del estado de las SE a lo largo de los años.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

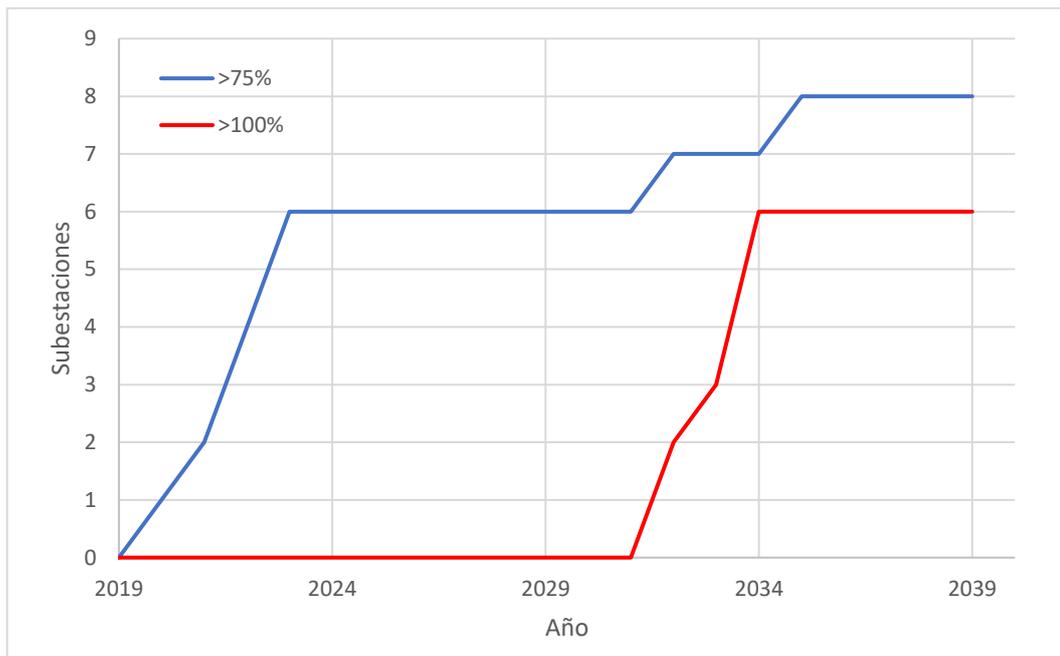


Figura 57 - "Cantidad de SE por encima del 75% y 100% de cargabilidad teniendo en cuenta el aumento de consumos residenciales."

4.4.2. Impacto de los consumos de los BEV en el tiempo

Existe la posibilidad de que los consumos eléctricos residenciales se mantengan constantes y no continúen crecimiento siguiendo la tendencia actual, ya sea por temas económicos, de concientización sobre el uso de la energía o factores no predecibles. Debido a esto sería prudente realizar un análisis de la cargabilidad esperada para las SE en los años siguientes solo teniendo en cuenta el crecimiento del mercado automotor de BEV en la Argentina.

En cuantos a los datos presentados se tendrán en cuenta los escenarios de recarga en pico, de hábitos y recarga nocturna, ya que se consideran los más útiles. No se analiza el caso de que Argentina continúe con su tendencia de crecimiento ya que no llega al escenario de 5% de BEV para el año 2040.

A continuación, se presentan de manera gráfica los resultados obtenidos. Se resalta en color amarillo las SE con carga entre 75% y 100% y en rojo SE con carga mayor al 100%.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

4.4.2.1. Resultados caso pico

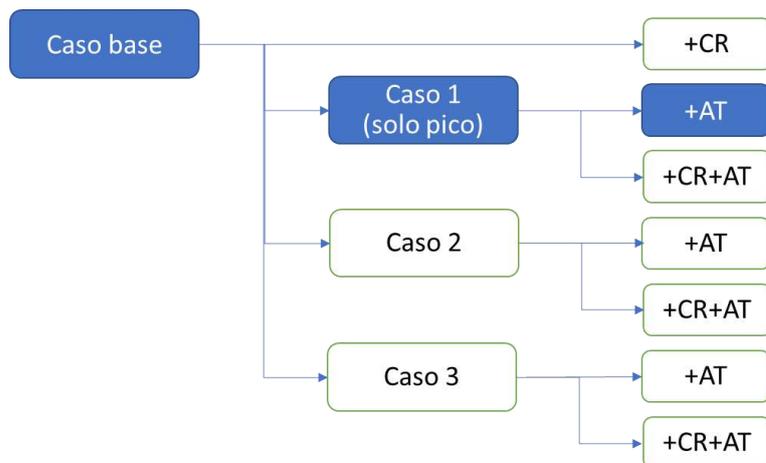


Figura 58 - “Diagrama conceptual: Caso 1 (solo pico), ajuste temporal.”

En la Figura 59 se observa que en el caso más favorable para la electromovilidad (siguiendo tendencia de Alemania) para 2039 se tendrán 9 SE por encima del 75% de los cuales 6 estarán por encima del 100% y habrán requerido una acción/maniobra correctiva obligatoria.

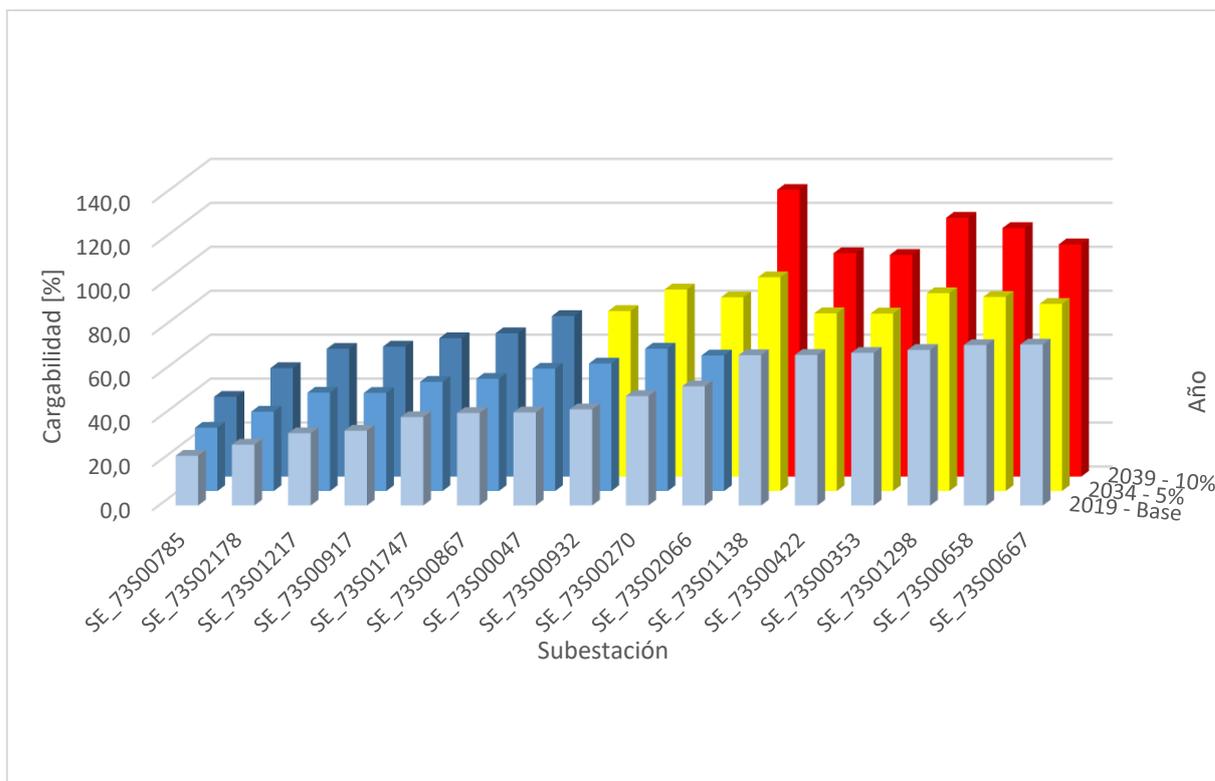


Figura 59 - “Carga en Pico de SE a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Alemania.”

En el caso intermedio (siguiendo la tendencia de Chile) se tiene para 2038 6 SE con una carga en 75% y 100% y ninguna por encima del 100%. Por lo que no es necesario

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

tomar acciones/maniobras correctivas obligatoriamente, se debería analizar cada uno de esos casos de manera individual.

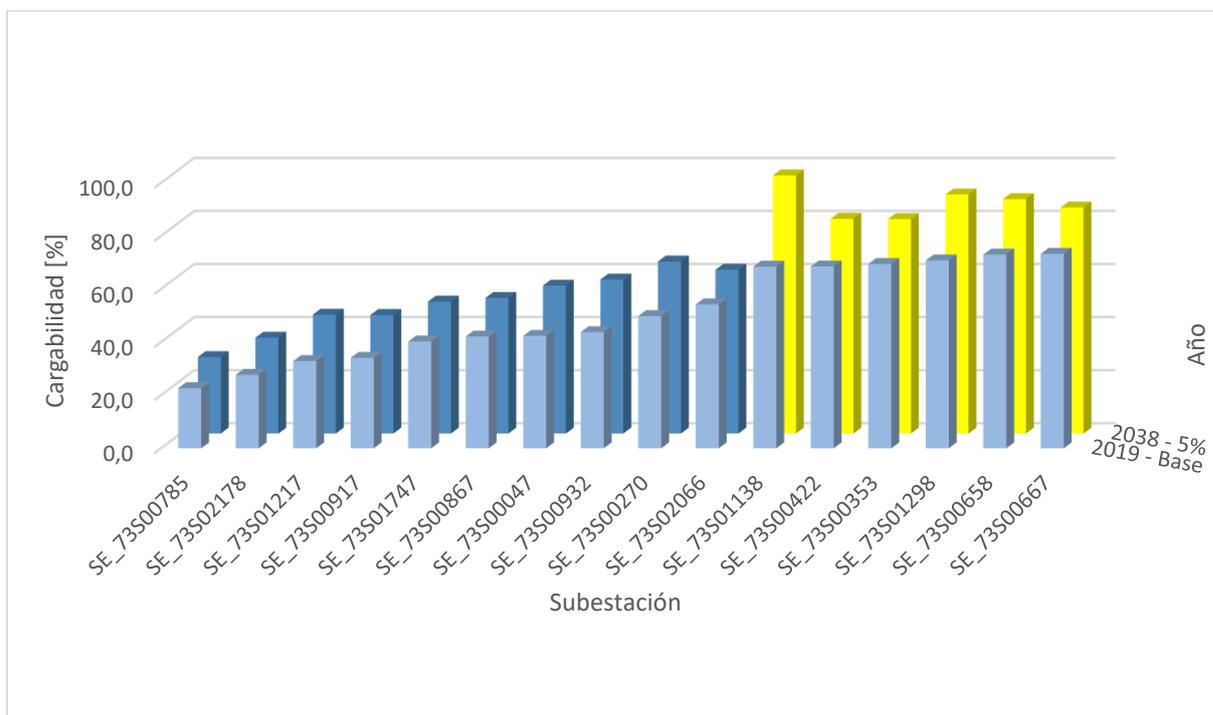


Figura 60 - “Carga en Pico de SE a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Chile.”

4.4.2.2. Resultados caso hábitos

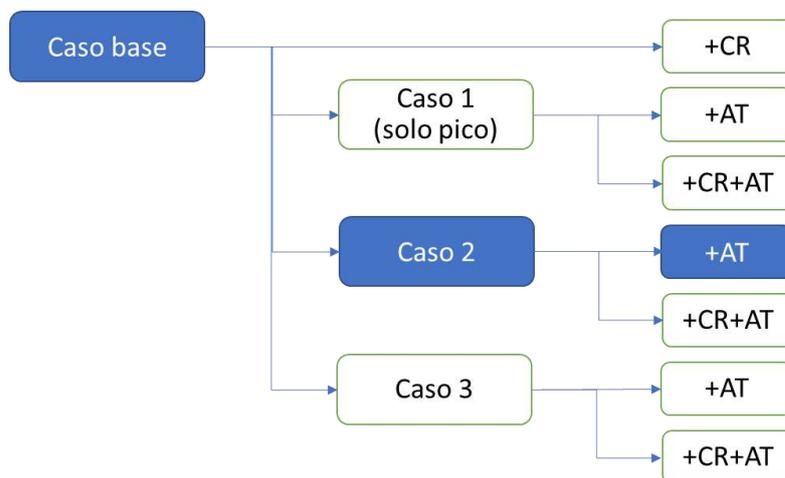


Figura 61 - “Diagrama conceptual: Caso 2, ajuste temporal.”

En las siguientes figuras se observa que para ambos (siguiendo tendencia de Alemania o Chile) el resultado es el mismo. Se llega a tener 2 SE entre 75% y 100% sin otras que estén por encima del 100%.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

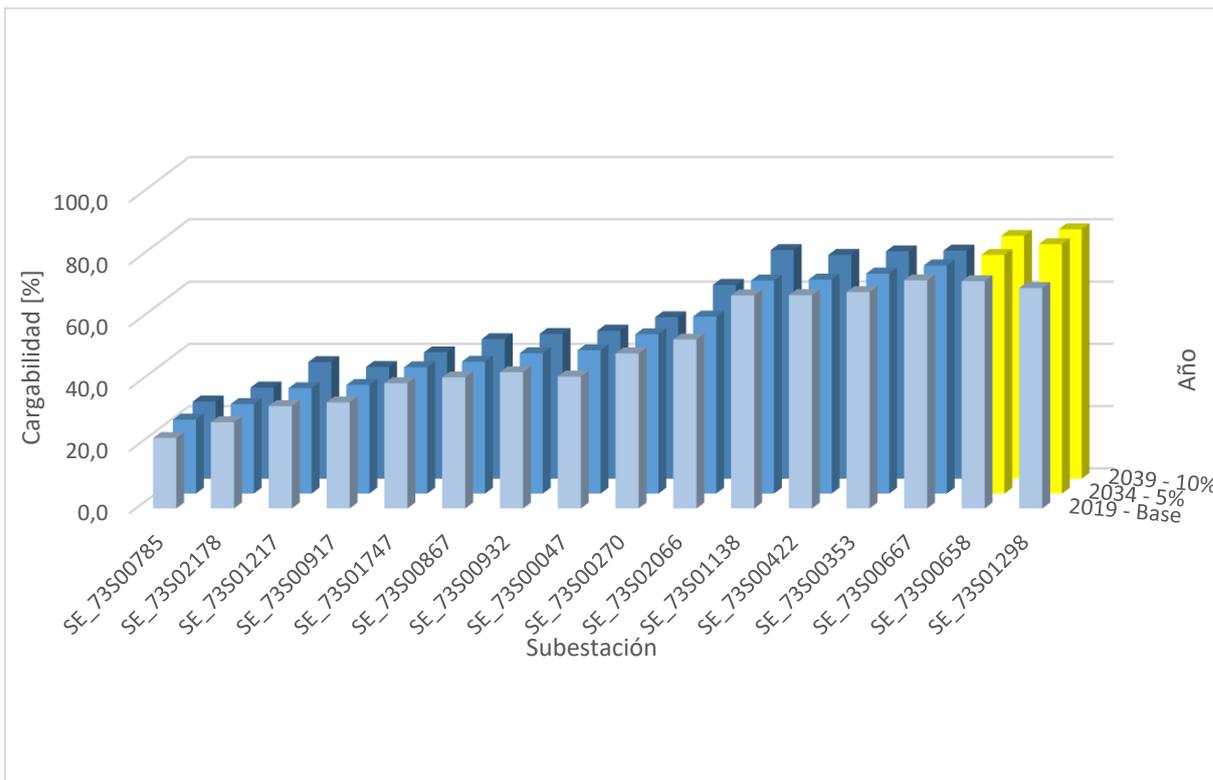


Figura 62 - “Carga de las SE considerando hábitos a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Alemania.”

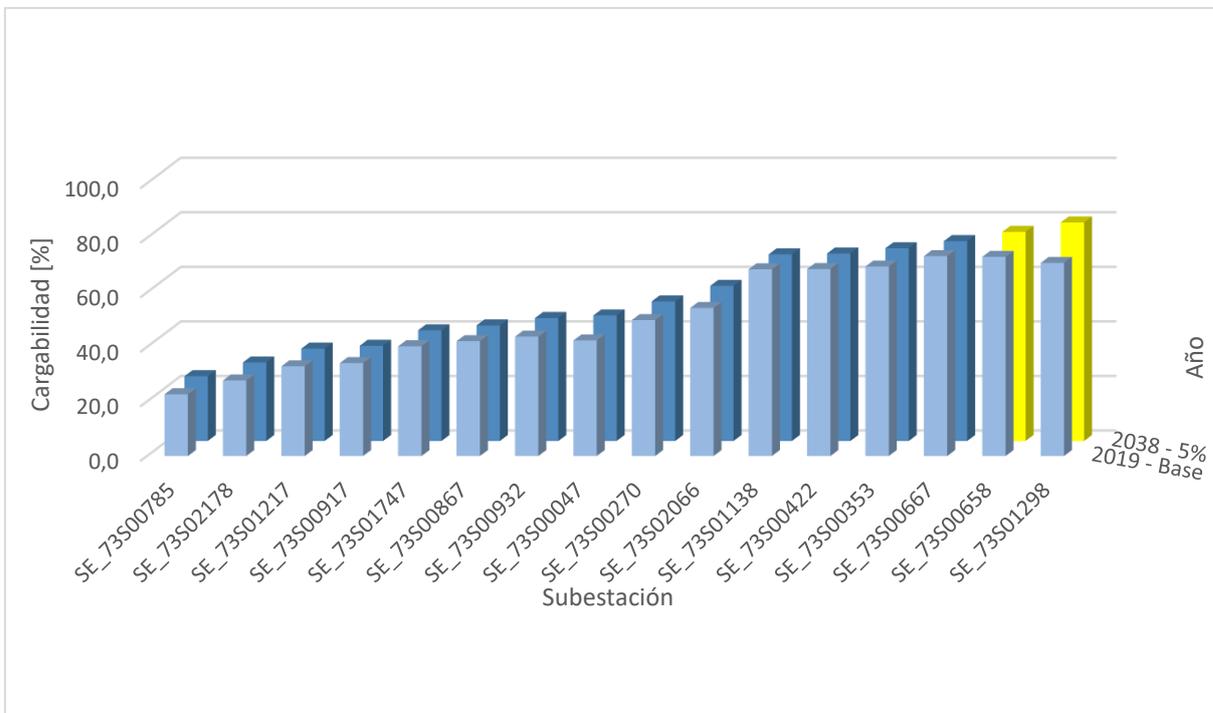


Figura 63 - “Carga de las SE considerando hábitos a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Chile.”

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

4.4.2.3. Resultados caso nocturno

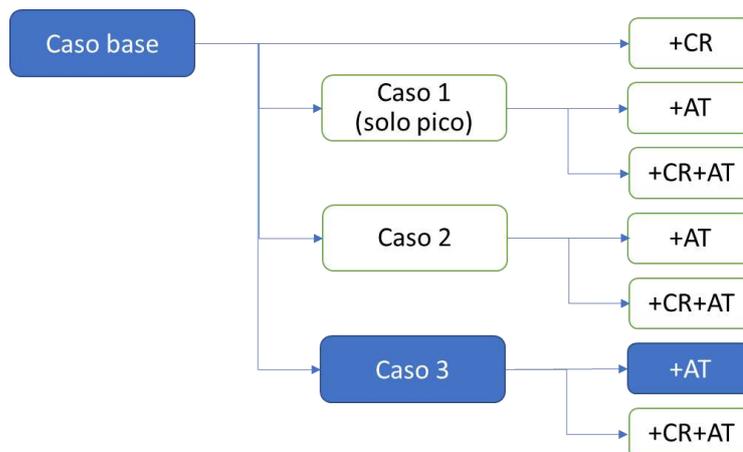


Figura 64 - “Diagrama conceptual: Caso 3, ajuste temporal.”

En las siguientes figuras se observa que para ambos (siguiendo tendencia de Alemania o Chile) el resultado es el mismo. No hay SE que supera alguno de los límites establecidos y no sería necesario tomar acciones/maniobras correctivas.

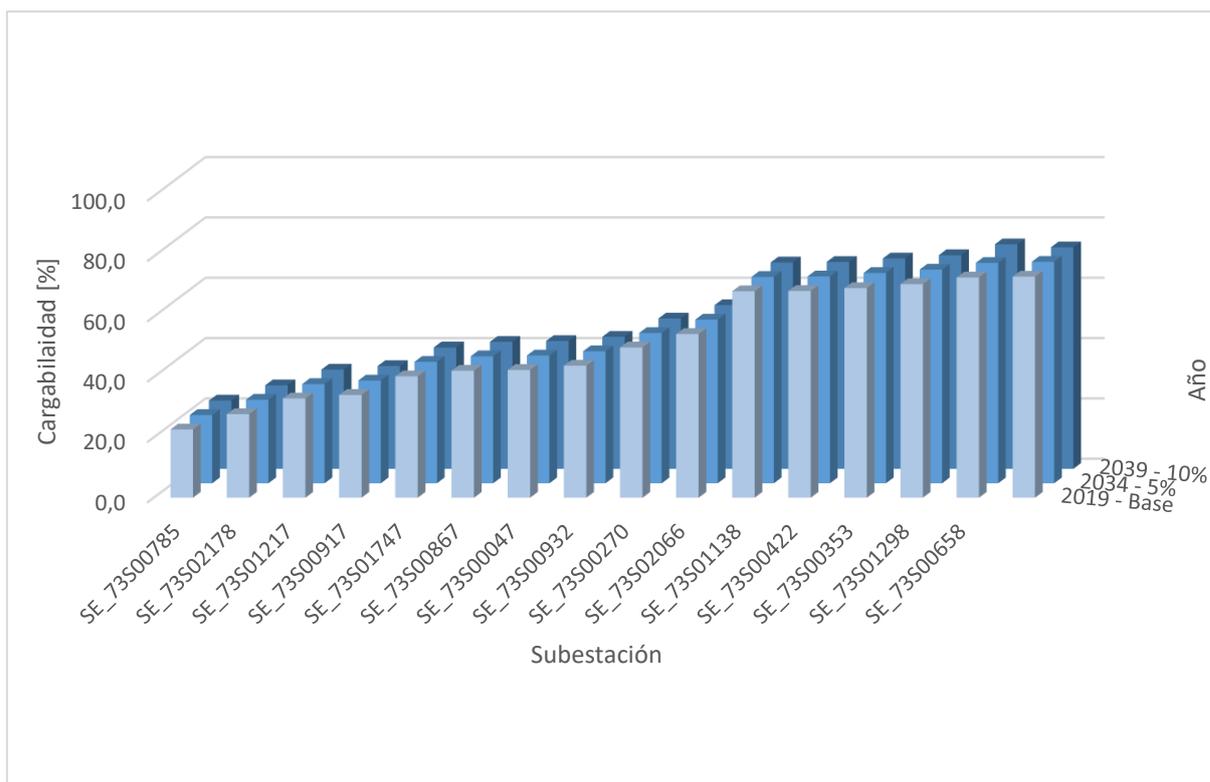


Figura 65 - “Carga de las SE considerando recarga nocturna a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Alemania.”

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

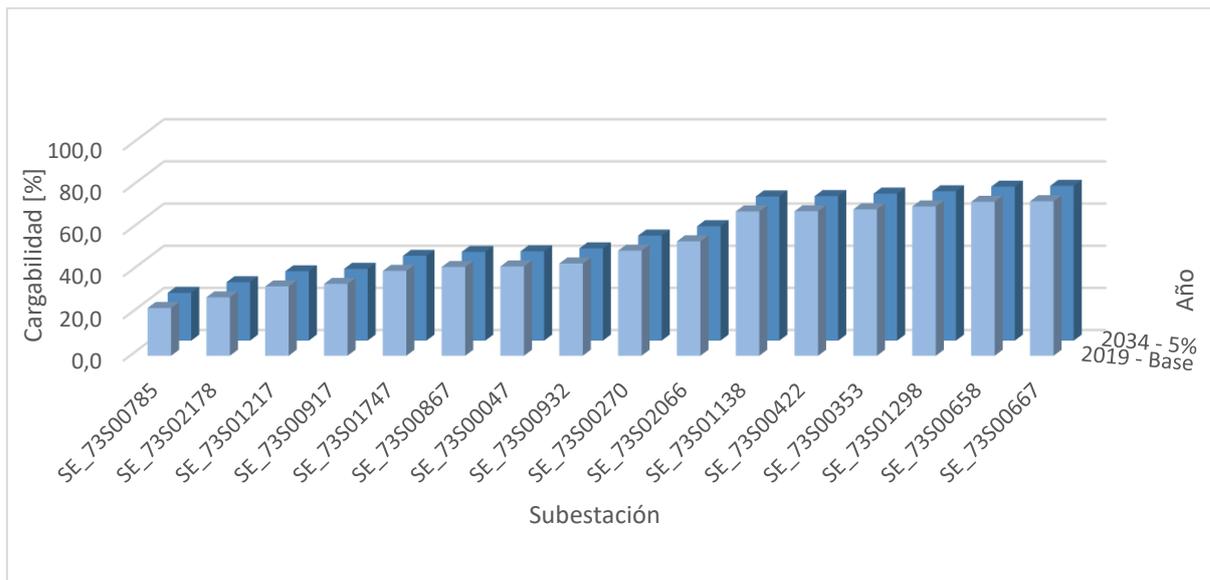


Figura 66 - “Carga de las SE considerando recarga nocturna a lo largo de los años teniendo en cuenta crecimiento de la porción BEV del mercado automotor, siguiendo tendencia de Chile.”

4.4.2.4. Análisis de resultados

De los resultados obtenidos se observa la notable mejora del caso de hábitos al caso nocturno, el cual se puede lograr simplemente incentivando con una tarifa diferenciada para la carga fuera de pico.

En el único caso que se observan SE con carga por encima del 100% es el de pico siguiendo la tendencia de Alemania. Esta situación se daría en aproximadamente 15 años, por lo que la empresa distribuidora tendría tiempo para planificar el reemplazo de estos equipos para poder abastecer la demanda, además de que el caso pico es una situación poco probable.

Estos resultados son válidos únicamente si los consumos residenciales, debido a factores ajenos a la electromovilidad, detengan su crecimiento y se mantengan constantes.

4.4.3. Impacto debido a consumos domiciliarios y BEV

En este apartado, se realiza una proyección del impacto combinado debido al crecimiento de los consumos eléctricos domiciliarios y la inserción de EV para los años futuros.

Del análisis realizado en el apartado “[Mercado de autos eléctricos en Argentina](#)” se obtiene para qué años se llega a una penetración de mercado que se haya simulado. Para la tendencia actual de Argentina se considera despreciable ya que no logra más de un 5% para 2040. Por otro lado, siguiendo el caso intermedio (Chile) lograría una penetración de 5% para el año 2038 y con el caso optimista (Alemania) una penetración de 5% para 2034 y un 10% para 2039.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Luego, a partir del análisis realizado en el apartado “[Tendencia de consumo residenciales](#)” se obtienen los aumentos de consumos correspondientes a cada año. De esta manera se corrigen los valores obtenidos de la simulación debido al aumento de los consumos domésticos eléctricos para el año que les corresponda cada caso en particular. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

4.4.3.1. Resultados caso pico

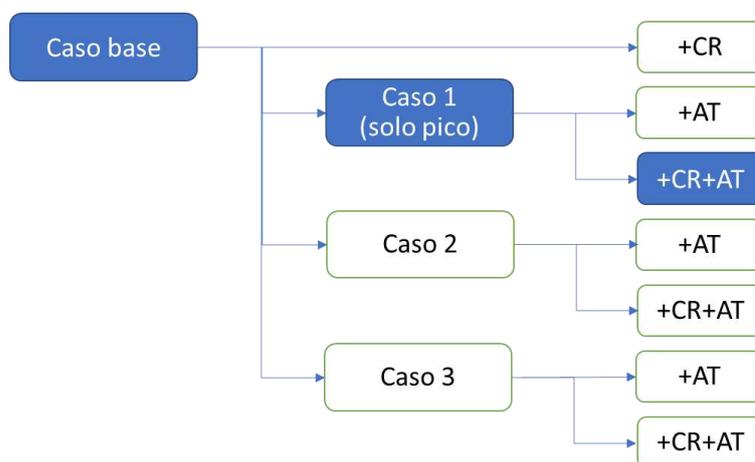


Figura 67 - “Diagrama conceptual: Ajuste por aumento de consumos residenciales y ajuste temporal del caso 1 (solo pico).”

En la siguiente figura se observa que en el caso más favorable para la electromovilidad (siguiendo tendencia de Alemania) para 2039 se tendrán 15 SE por encima del 75% de las cuales 12 estarán por encima del 100% y deberán tener una acción/maniobra correctiva obligatoria.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

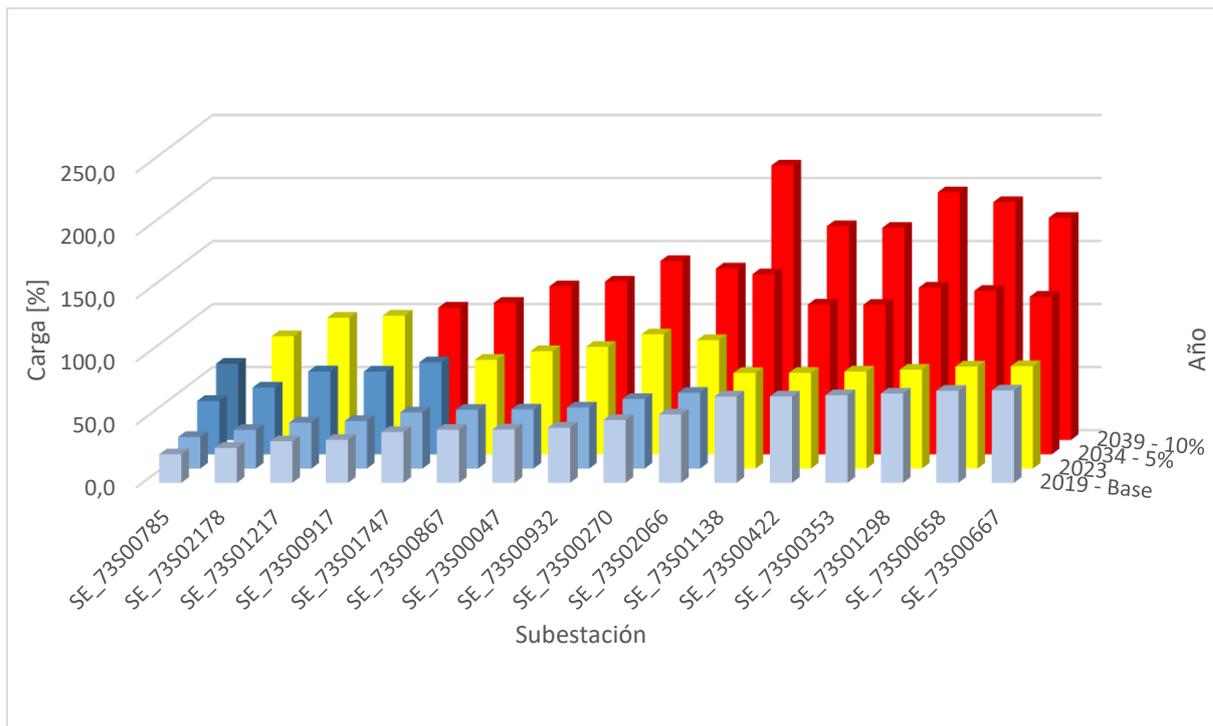


Figura 68 - “Carga en Pico de SE a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Alemania.”

En el caso intermedio (siguiendo la tendencia de Chile) se tiene para 2038 12 SE con una carga por encima del 75% de las cuales 8 estarán por encima del 100% y necesitarán una acción/maniobra correctiva.

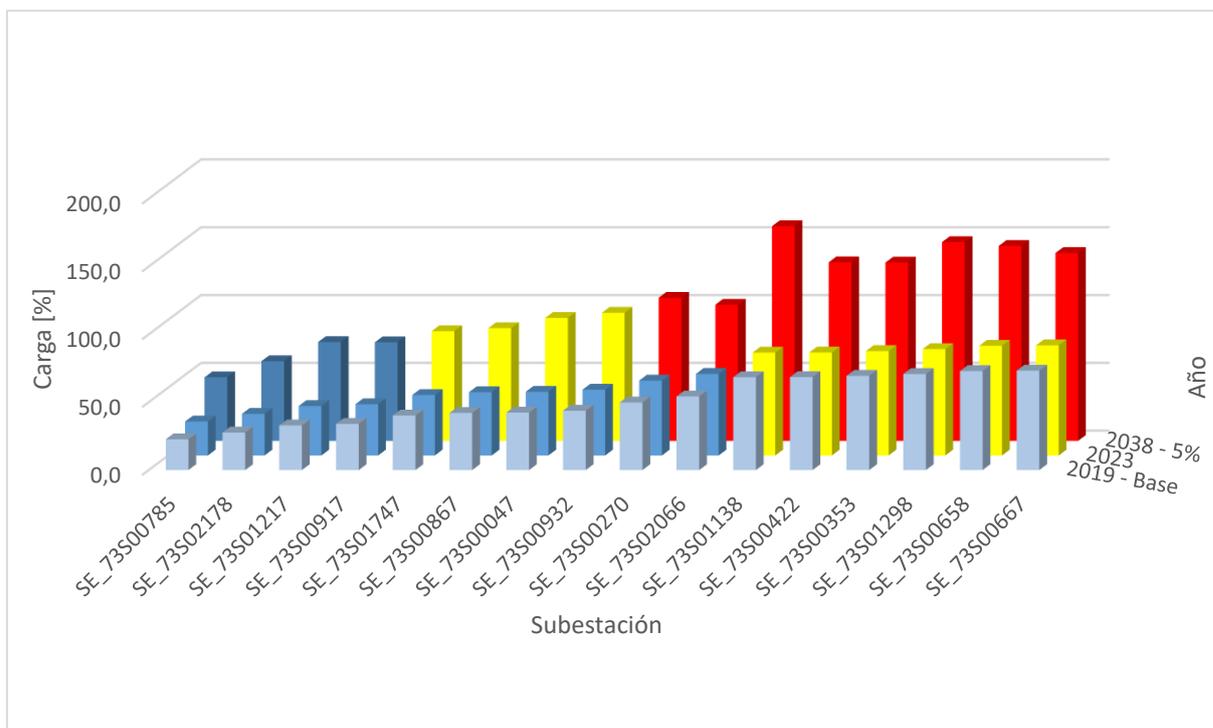


Figura 69 - “Carga en Pico de SE a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Chile.”

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

4.4.3.2. Resultados caso hábitos

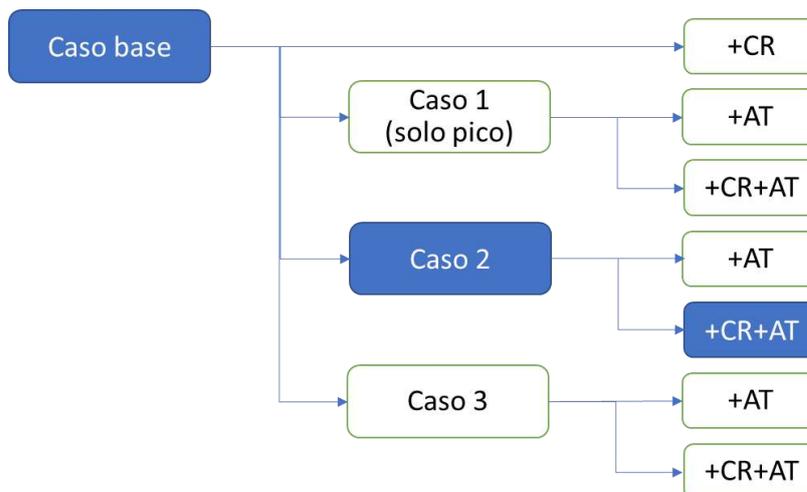


Figura 70 - “Diagrama conceptual: Ajuste por aumento de consumos residenciales y ajuste temporal del caso 2.”

En las siguientes figuras se observa que para ambos (siguiendo tendencia de Alemania o Chile) el resultado es similar. En el caso más favorable para la electromovilidad (tendencia alemana) se llega a tener 10 SE por encima de 75% de las cuales 7 se encuentran por encima del 100%. Para el caso intermedio (tendencia chilena) se tiene 8 SE por encima del 75% de las cuales 6 se encuentran por encima del 100%. Esto es 1 SE menos entre 75% y 100% y 1 SE menos por encima del 100%, pero la problemática es similar.

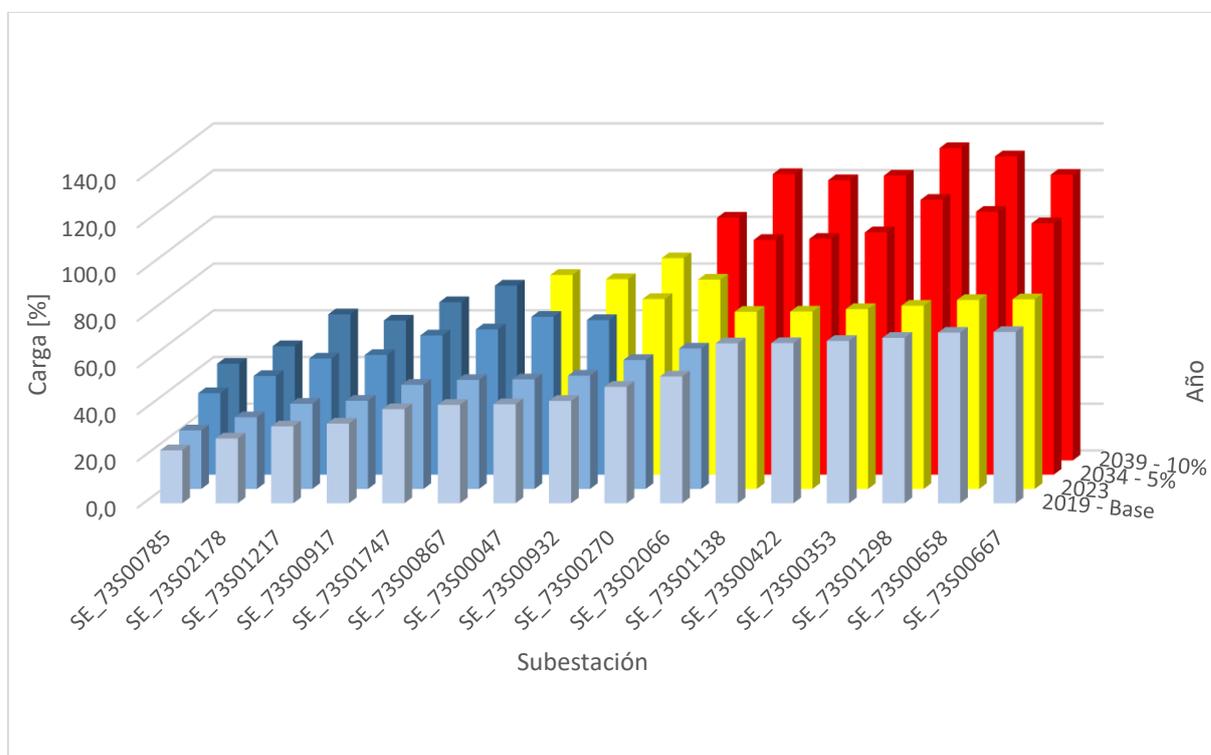


Figura 71 - “Carga de las SE teniendo en cuenta hábitos de las personas a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Alemania.”

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

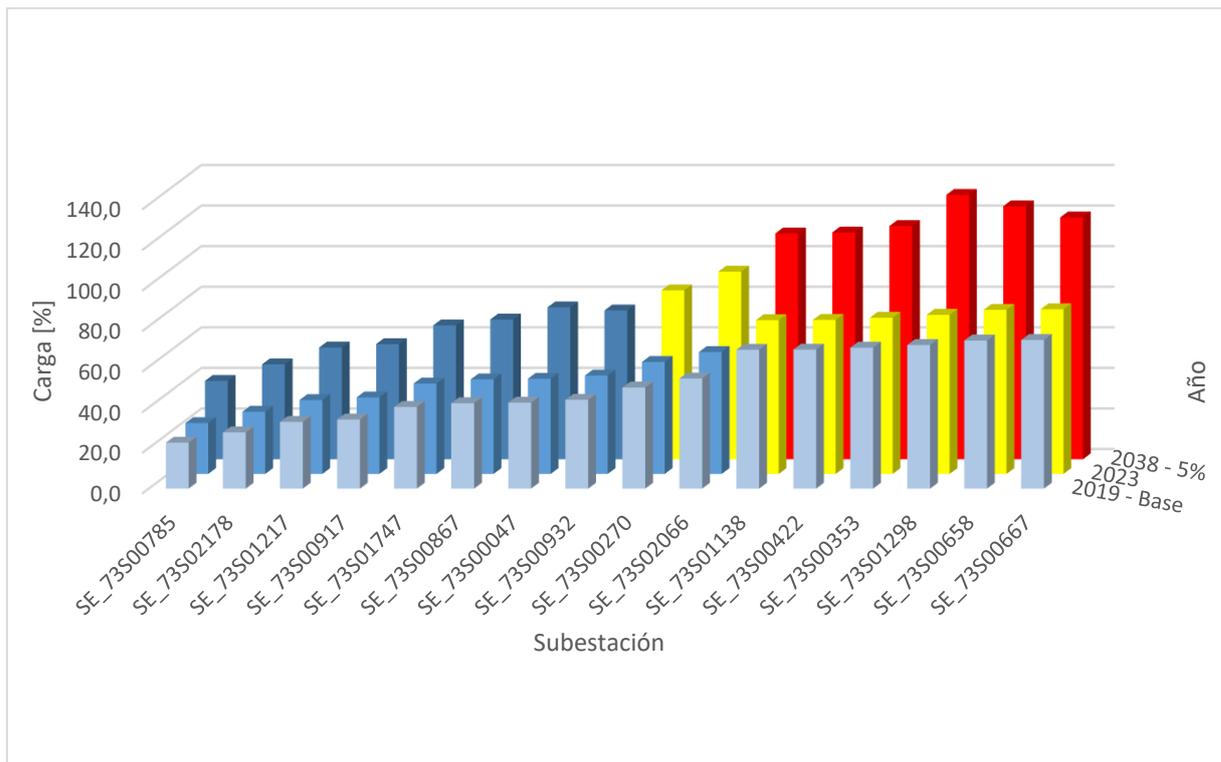


Figura 72 - “Carga de las SE teniendo en cuenta hábitos de las personas a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Chile.”

4.4.3.3. Resultados caso nocturno

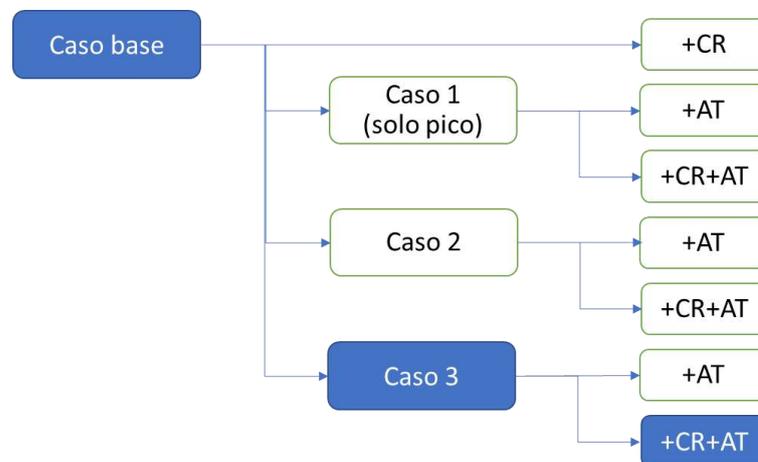


Figura 73 - “Diagrama conceptual: Ajuste por aumento de consumos residenciales y ajuste temporal del caso 3.”

En las siguientes figuras se observa que para ambos (siguiendo tendencia de Alemania o Chile) el resultado es el mismo. Se llega a tener 8 SE por encima del 75% de las cuales 6 se encuentran por encima del 100%.

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

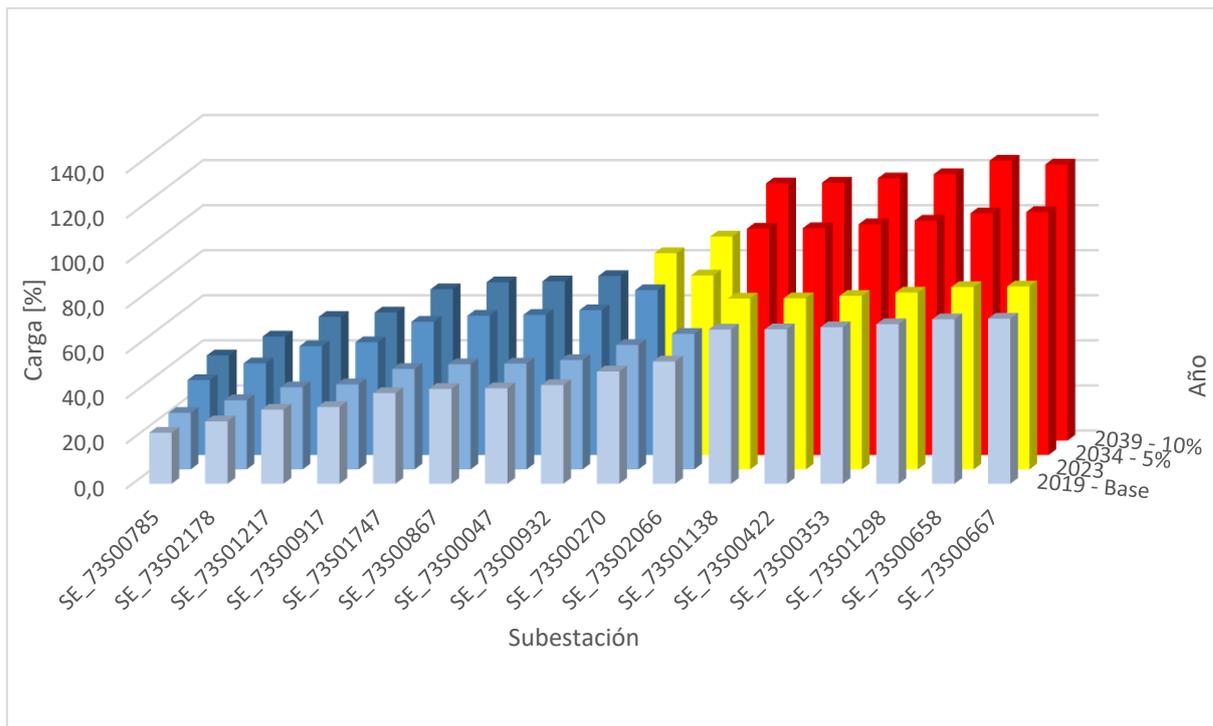


Figura 74 - “Carga Nocturna de SE a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Alemania.”

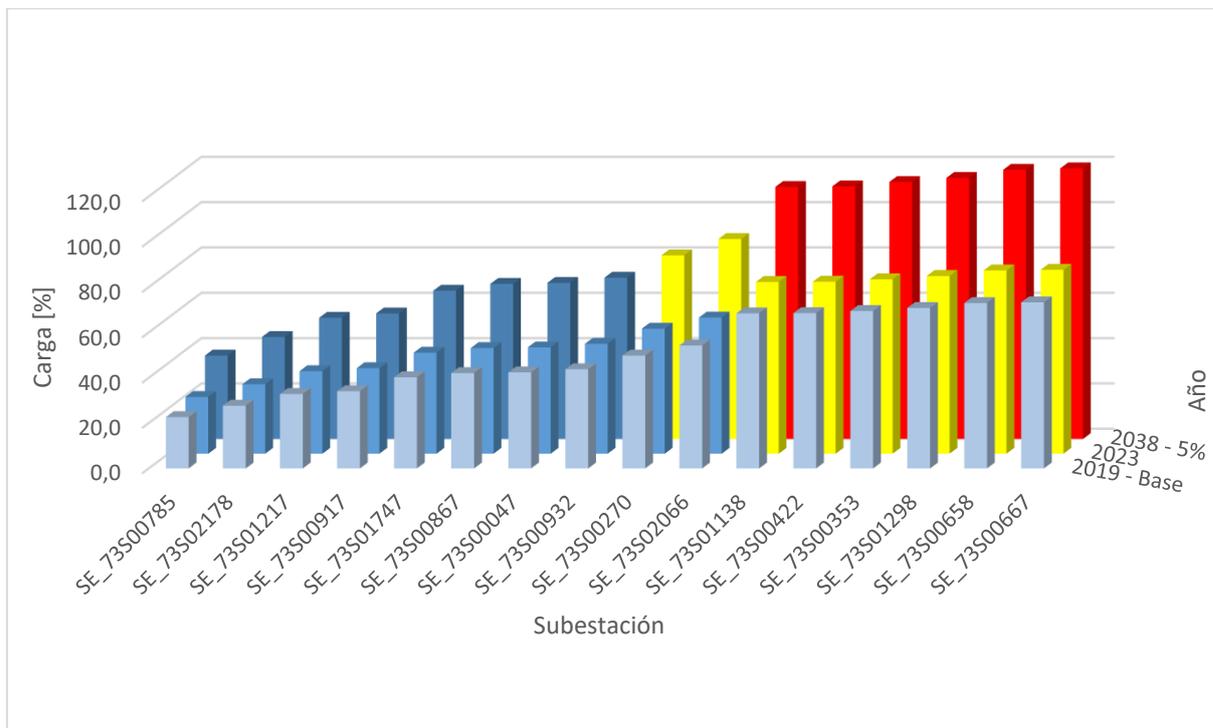


Figura 75 - “Carga Nocturna de SE a lo largo de los años, siguiendo tendencia de Chile.”

4.4.3.4. Análisis de resultados

De comparar los resultados de este apartado con el anterior se observa el fuerte impacto de los consumos residenciales en las SE. Esto es debido a la tendencia actual

4. Impacto de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

en el aumento de la energía demandada por los usuarios en los próximos años. Por lo tanto, se debería hacer foco en la concientización en el uso de la energía eléctrica para así disminuir este factor.

Se observa también que, a diferencia del caso de carga nocturna solo considerando electromovilidad, utilizar la estrategia de carga en valle, teniendo en cuenta aumento en consumos residenciales, no resolvería la problemática de la sobrecarga de las SE. Esto es debido a que la problemática no es consecuencia de la distribución de cargas, sino que recae en el aumento del caso base (sin BEV) consecuencia del creciente consumo residencial.

En la [Figura 76](#) se puede apreciar la predominancia del caso base (naranja) en la zona de valores pico, encontrándose muy cercano al primer límite de cargabilidad (75%). En consecuencia, cualquier carga extra, además de la residencial, en horario pico haría sobrepasar el umbral de cargabilidad estipulado. Por el contrario, cualquier carga fuera de esa franja no tendría impacto significativo en la cargabilidad.

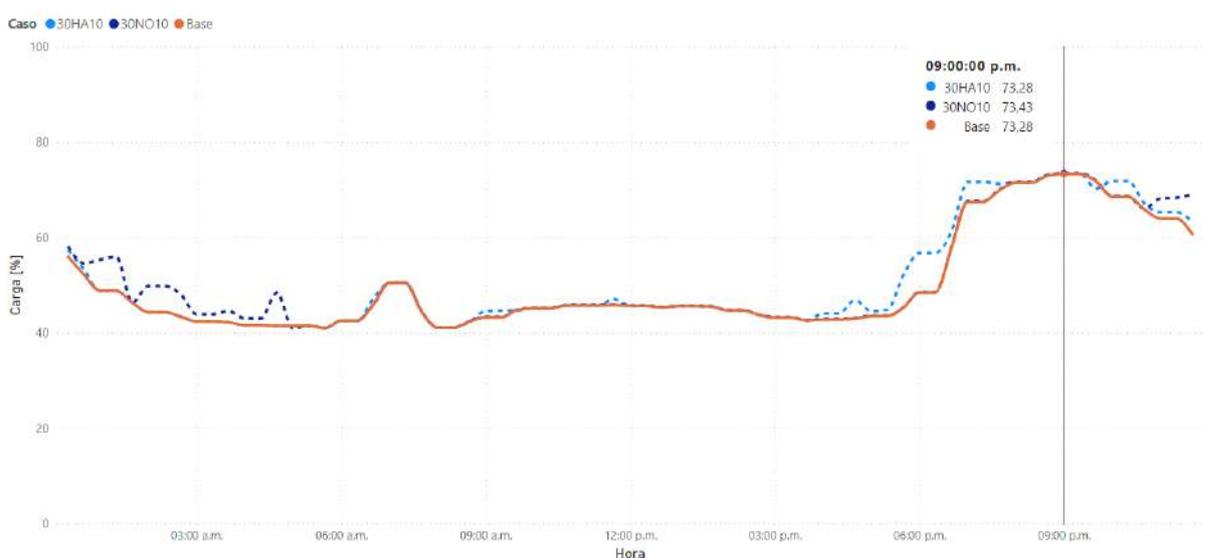


Figura 76 - "Superposición de caso base, 10% carga siguiendo hábitos y 10% de carga nocturna para la SE_73S00667."

5. Impacto ambiental de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Se realiza un análisis sobre los beneficios ambientales del uso de la energía eléctrica en la movilidad urbana, para poder compararlos con los autos de combustión interna convencionales.

La necesidad de disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) se fundamenta en la urgencia de abordar el impacto ambiental adverso y la contaminación atmosférica asociados con la quema de combustibles fósiles. Estas emisiones contribuyen a la degradación de la calidad del aire y tienen consecuencias perjudiciales para la salud humana y la biodiversidad.

En el contexto de la electromovilidad, la reducción de las emisiones de CO₂ se convierte en un objetivo esencial para el sector del transporte, ya que la adopción de vehículos eléctricos impulsados por fuentes de energía renovable juega un papel clave en la mitigación de la contaminación atmosférica y la promoción de prácticas más sostenibles. De este modo, al priorizar tecnologías limpias, podemos avanzar hacia un futuro más saludable y respetuoso con el medio ambiente.

5.1. Cálculo del factor de emisión de energía

A partir de los datos obtenidos de [12], se relevaron los factores de emisión de los diferentes combustibles involucrados en la generación eléctrica de Argentina, que se muestran en la siguiente tabla:

Factores de Emisión			
Gas Natural	Fuel Oil	Gasoil	Carbón
tCO ₂ /dam ³	tCO ₂ /t	tCO ₂ /m ³	tCO ₂ /t
1,95	3,17	2,70	2,34

Tabla 21 - "Factores de emision para combustibles."

Luego, se obtiene la cantidad de combustible utilizado para la generación eléctrica en el año 2022 para las diferentes regiones del país. Los datos fueron relevados de [13].

5. Impacto ambiental de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Región	Carbón mineral [t]	Fuel oil [t]	Gas oil [m3]	Gas natural [dam3]
Buenos Aires y CABA	760.837,00	991.997,00	1.156.032,00	6.937.729,00
Litoral	-	116.443,00	921.405,00	983.906,00
NEA	-	-	44.351,00	-
NOA	-	-	66.853,00	1.803.134,00
Cuyo	-	4.148,00	11,00	671.352,00
Centro	-	-	241.372,00	585.592,00
Comahue	-	-	5.455,00	3.036.212,00
Patagonia	16.188,00	-	78,00	201.927,00
TOTAL	777.025,00	1.112.588,00	2.435.557,00	14.219.852,00

Tabla 22 - "Combustibles consumidos en Argentina en 2022 en centrales de energía eléctrica."

Luego, se calcula la cantidad total de CO₂ liberado a la atmosfera por los distintos combustibles.

Combustible	Emisiones [tCO ₂]
Carbón mineral	1.814.553,66
Fuel oil	3.529.441,67
Gas oil	6.569.112,62
Gas natural	27.703.057,65
Total	39.616.165,60

Tabla 23 - "CO₂ liberado a la atmosfera en Argentina en 2022."

Con el dato de energía total consumida en el año 2022, que fue de 111.426.440 [MWh] proporcionado por [14], se calcula el factor de emisión de energía de la siguiente manera:

$$\text{Factor de emision} = \frac{\text{CO}_2 \text{ Liberado a la atmopstera por las centrales electricas}}{\text{Demanda total de energia}}$$

$$\text{Factor de emision} = \frac{39616165,59 [t]}{111426440 [MWh]} = 0,33 \left[\frac{kg CO_2}{KWh} \right]$$

5.2. Cálculo de CO₂ liberado por los BEV

A partir del consumo de energía promedio de los BEV que es de 15,9 [KWh/100Km], se calcula la emisión de CO₂ que emite indirectamente un BEV por cada 100 km.

$$\text{Emision de CO}_2 \text{ por EV} = \text{Factor de emision} \times \text{Consumo promedio de BEV}$$

$$\text{Emision de CO}_2 \text{ por BEV} = 0,33 \times 15,9 = 5,2 \left[\frac{kg CO_2}{100 km} \right]$$

5. Impacto ambiental de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

5.3. Cálculo de CO₂ liberado por los VCI

Para obtener el gasto de combustible de los vehículos a combustión interna, se relevaron los consumos de varios modelos típicos que circulan en Argentina (Tabla 24), y se realizó el promedio del consumo en condiciones de manejo urbanas. El valor resultó de 10,6 [L/100km].

Marca Modelo	Motor	Consumo Urbano [L/100km]
Chery Tiggo 5	2.0L 16V	11,5
Chevrolet Cruze Prem	1.4L 16V	10,0
Chevrolet Onix	1.0L 3 Cil	9,8
Chevrolet Onix Plus	1.2L 3 Cil	8,0
Chevrolet Spin	1.8L 8V	13,0
Citroën C4 Cactus	1.6L 16V VTi	9,3
Citroën C4 Lounge	1.6L 16V VTi	9,8
Citroën C4 Lounge	1.6L 16V THP Turbo	13,0
FIAT Argo	1.8L 16V	10,0
FIAT Cronos	1.8L 16V	10,0
FIAT Mobi	1.0L 8V	8,2
FIAT Tipo	1.6L 16V	11,3
FIAT Toro	1.8L 16V	14,7
FIAT Uno Way	1.3L 8V	9,3
Ford Ecosport	2.0L 16V	13,0
Ford Ecosport	1.5L 12V	10,8
Ford Fiesta	1.6L 16V	9,1
Ford Ka	1.5L 12V	11,1
Honda HR-V	1.8L 16V	10,0
Jeep Renegade	1.8L 16V eTorQ	12,0
Peugeot 2008	1.6L THP	9,3
Peugeot 301	1.6L 16V VTi	10,5
Renault Captur	1.6L 16V	9,9
Renault Captur	2.0L 16V	12,1
Renault Kangoo 2	1.6L 16V	10,0
Renault Kwid	1.0L 12V 3 Cilindros	9,2
Renault Oroch	2.0L 16V	13,8
Toyota Yaris	1.5L 16V VVTi	9,8
VW Gol Trend	1.6L 16V	10,4
VW Polo	1.6L 16V MSi	12,5
VW T-Cross	1.6L 16V	10,7
VW Tiguan Allspace	1.4L 16V TSi	9,2
VW Up! TSi	1.0L 12V FSi	8,9
VW Vento	1.4 16V TSi	9,3
VW Virtus	1.6L 16V MSi	12,0
Promedio		10,6

Tabla 24 - "Autos a combustion interna tipicos de Argentina."

5. Impacto ambiental de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

Luego, similar al caso de BEV, para calcular las emisiones de CO₂ se debe multiplicar al consumo de combustible por su factor de emisión. Para este último, se toma un valor de 2,38 [tCO₂/m³] para las naftas de 95 o 98 octanos, según [15].

$$\text{Emision de CO}_2 \text{ por VCI} = \text{Factor de emision} \times \text{Consumo promedio de VCI}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ por VCI} = 2,38 \times 10,6 = 25,23 \left[\frac{\text{kg CO}_2}{100\text{km}} \right]$$

Se puede observar que las emisiones de los BEV son de aproximadamente 5 veces menores que en los autos a combustión interna. Esto se debe a que gran parte de la energía que alimenta a los BEV fue generada de manera renovable (aproximadamente 32% [13]), por lo que no genera emisiones, además el rendimiento en conjunto de las plantas generadoras y el motor de los BEV es ampliamente mayor que el aprovechamiento de la energía en MCI.

5.4. Ahorro de CO₂

Para este análisis, se considera que cada BEV que se ponga en calle reemplaza a un vehículo de combustión interna. A partir de los factores de emisión de CO₂ calculados para BEV y VCI y asumiendo que recorren 10,8 [km] por día, se calculan los gases emitidos en cada caso de penetración de EV (línea punteada verde) y se lo compara con el caso base (línea punteada azul).

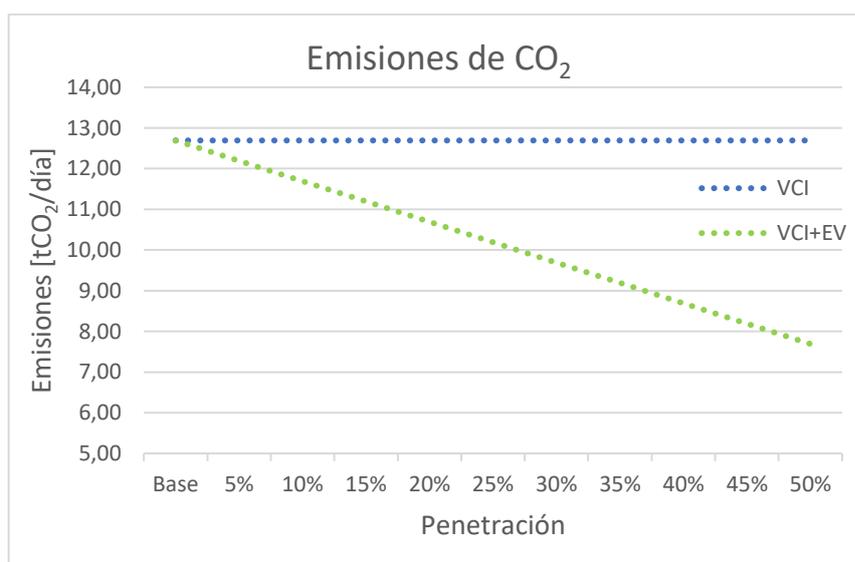


Figura 77 - "Emisiones de CO₂ considerando los BEV."

Se observa una disminución de aproximadamente un 4% del CO₂ emitido por día por cada 5% de aumento de la penetración de autos eléctricos en el parque automotor de Mar del Plata. Cabe destacar que este valor sería asumiendo que toda la energía

5. Impacto ambiental de la movilidad eléctrica en el distribuidor bajo estudio

consumida por los BEV fue generada en Mar del Plata, que sería el caso más desfavorable. En el mejor de los casos esa energía se genera en plantas fuera de la ciudad, lo cual disminuye aún más la concentración de GEI (gases de efecto invernadero) en la ciudad como se muestra en el siguiente gráfico.

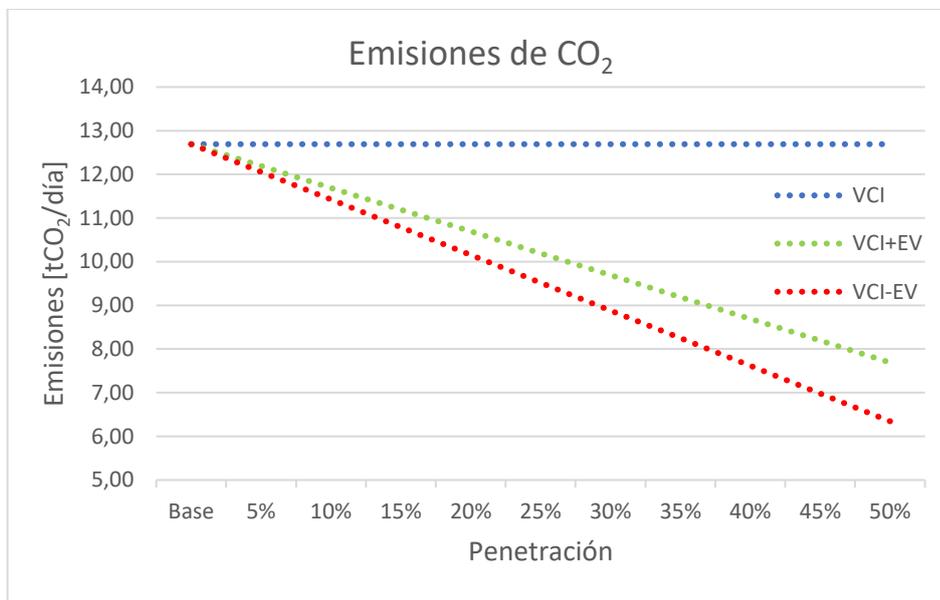


Figura 78 - "Emisiones de CO₂ considerando los BEV teniendo en cuenta generación limpia."

Se observa que como máximo disminuiría un 5% de CO₂ por cada 5% de aumento de penetración del parque automotor de la ciudad. La diferencia entre la curva verde y la roja representa las emisiones indirectas de los EV, cuyo CO₂ es liberado en las plantas generadoras de energía.

6. Conclusiones y trabajo a futuro

Las conclusiones de este trabajo son válidas para un modo de carga 1 (carga lenta de 3,8 kW de potencia), considerando un tiempo de recarga de 30 minutos y que cada usuario residencial cuenta con un solo punto de recarga de BEV.

Bajo estas hipótesis y con el objetivo de estimar el grado de penetración máximo que la red de distribución en estudio puede soportar, se logró simular 3 posibles escenarios con hasta 50% de penetración de autos eléctricos considerando nulo el crecimiento energético residencial por causas ajenas a la movilidad eléctrica. En ninguno de los casos se observó problemas de caída de tensión previos a que su respectiva SE supere el segundo límite de cargabilidad. Para el primer caso, carga descontrolada en pico, resto y valle, siendo pico el peor caso, se concluye que se puede llegar hasta un 5% de penetración de BEV sin tener SE por encima del 100% de su capacidad, aunque el 37,5% este por encima del 75%. En el escenario del 10%, esa misma cantidad (37,5%) de SE pasa a estar cargada por encima de su potencia nominal.

En cuanto al segundo caso, que es la recarga siguiendo los hábitos de las personas, hasta el escenario de 40% de penetración BEV se observan 6 SE (37,5%) con una cargabilidad entre 75% y 100%, lo cual no genera ninguna problemática directa. En el siguiente escenario del 45% ya se observa 1 SE por encima del 100% por lo que sería necesario alguna acción correctiva. Debido a que no existe la alta simultaneidad del caso 1, el grado de penetración permisible por la red aumenta considerablemente. Este caso se asemeja más a la realidad, pero no quita la posibilidad de existencia de situaciones anormales que modifiquen los hábitos de las personas y que aumente la simultaneidad de las cargas temporalmente.

Por último, en cuanto al caso 3, que es la carga de baterías considerando una tarifa diferencial en horario valle, los resultados finales son similares a los del caso 2, donde se puede llegar a una penetración del 40% BEV con 6 SE (37,5%) entre 75% y 100% de cargabilidad, lo cual no genera ninguna problemática directa, y para el siguiente el escenario del 45% surge 1 SE que supera el 100%. Este caso a diferencia del anterior puede llegar a una penetración del 10% sin tener SE por encima del primer límite (75%), mientras que siguiendo los hábitos en el primer escenario del 75% ya se observan 2 SE (12,5%) con carga entre 75% y 100%. Además, en el caso de carga nocturna se tiene la opción de modificar el ancho de la franja temporal (horario valle) en la que se consume esa energía. De esta manera si se amplía el intervalo de carga puede apaciguar los valores pico de potencia, si la energía consumida en ese periodo se mantiene constante.

Con el fin de estimar el tiempo aproximado en el cual el distribuidor bajo estudio comenzará a tener sobrecargas inadmisibles, se estudió la tendencia de crecimiento de la porción de ventas de BEV del mercado automotor y el crecimiento de los consumos residenciales (que también afecta a la carga total). A partir de esto se estudiaron 3 posibles escenarios: optimista, intermedio y pesimista. Se observó que el efecto del crecimiento de los consumos residenciales es preponderante por encima

de las cargas de BEV agregadas independientemente del escenario adoptado. En el caso pesimista, siguiendo el crecimiento del mercado automotor argentino, nunca se llega al 5% de penetración BEV antes del año 2040. Aun así, para el año 2033 se tienen 3 SE (18,75%) por encima del 100% de carga debido al aumento de los consumos residenciales. Se espera que en los siguientes escenarios el resultado sea peor, es decir que se encuentren SE por encima del segundo límite de manera más temprana. Debido a la falta de escenarios de penetración intermedios como por ejemplo 2,5% de penetración BEV no es posible determinar en qué momento ocurrirá. Pero se observa de los resultados que para en el escenario intermedio siguiendo un caso de carga nocturna (caso más optimista) se tienen 6 SE (37,5%) por encima del segundo límite para el año 2038. En el último escenario resultaron 6 SE (37,5%) por encima del 100% de carga para el año 2034 utilizando el caso de carga nocturna.

Del análisis de impacto ambiental, se puede observar a priori la gran ventaja que presentan los BEV sobre la emisión de gases de efecto invernadero, siendo estos 5 veces menos emisores de CO₂ con respecto a un auto convencional a combustión. Además, los gases no son emitidos en el lugar donde se utiliza el automóvil, sino en las centrales eléctricas, las cuales no suelen estar situadas en zonas céntricas, mejorando aún más el resultado.

En cuanto a los objetivos secundarios, se pudo elaborar con éxito scripts que permiten la carga de diversos parámetros dentro del software de simulación de manera fácil y rápida, como lo son la carga de perfiles de carga de los BEV, modificar potencia de los cargadores, activación y desactivación de usuarios con BEV, entre otras variables. Además, el tiempo de simulación fue aprovechado para generar una extensa base de datos, que está a disposición para futuros trabajos de investigación en formato XLSX, y también en el entorno PowerBI (formato .PBIX), el cual permite interactuar y visualizar fácilmente con los resultados obtenidos, pudiendo alternar entre escenarios de simulación y grados de penetración con gran facilidad.

Debido a la gran cantidad de variables y variantes que se fueron presentando a lo largo del camino de elaboración de este proyecto, se tuvieron que tomar diversas hipótesis y simplificaciones para acotar su extensión. Por ese motivo se fueron apuntando diversas variantes que pueden ser adoptadas para futuros trabajos de investigación. A continuación, se dará un breve listado de algunas cuestiones interesantes que podrían ser tomadas en cuenta.

- Estudiar de forma detallada el tiempo, día y forma de recarga de los BEV.
- Realizar el estudio teniendo en cuenta la posibilidad de inyectar la energía almacenada por las baterías a la red de baja tensión con la posibilidad de utilizar la tecnología V2G (Vehicle to Grid).
- Realizar un estudio más detallado sobre el grado de penetración real de BEV que tendrá el parque automotor en la Argentina.
- Obtener datos a partir de medidores de energía inteligentes. Esto da la posibilidad de tener una curva de carga para cada usuario en particular. Esto reduciría la simultaneidad que se encontró en el presente trabajo.

- Estudiar la posibilidad de un escenario que combine hábitos de las personas y recarga nocturna.
- Realizar un estudio teniendo en cuenta la variable de generación solar hogareña en conjunto con los BEV.
- Tener en cuenta en el estudio a los vehículos híbridos enchufables (PHEV).
- Analizar el impacto global (de la cuna a la tumba) de las baterías eléctricas utilizadas para la electromovilidad.
- Considerar el impacto en la cargabilidad y niveles de tensión de la red para otros modos de carga.
- Extender la metodología de análisis a otros distribuidores de la red de baja tensión de Mar del Plata, ya que los resultados actuales indican que la incorporación gradual de BEV tiene un impacto moderado en la cargabilidad y los niveles de tensión del distribuidor analizado. Sin embargo, este impacto podría ser mayor en otras áreas de la ciudad.

7. Bibliografía

- [1] Sandeep Dhameja “Electric vehicle battery systems”, 2002.
- [2] J.L. Strack, G.J. Murcia, G di Mauro, J.M. Vignerte, S.A González, J. Branda “Estimación preliminar de la demanda energética potencial de la movilidad eléctrica en la ciudad de Mar Del Plata, Argentina”, 2022.
- [3] Gustavo Baruj, Federico Dulcich, Fernando Porta, Matías Ubogui “La transición hacia la electromovilidad”, abril 2021.
- [4] Hyundai, “Tipo de cargadores para coches eléctricos”
<https://www.hyundai.com/canarias/es/blog/tipos-cargadores-coches-electricos/>
- [5] Jonathan Acosta Canavese, Alejandro Gigena Fernández, Agustín Mosto Silvestri “Baterías en Vehículos Eléctricos conectados a la Red”, agosto 2019.
- [6] David Arias Pérez “Influencia del vehículo eléctrico sobre la fiabilidad de los sistemas eléctricos”, mayo de 2015.
- [7] David Martínez Vicente “El impacto del vehículo eléctrico en la red de distribución”.
- [8] Vicente Torres Sanz “Mejora del proceso de carga en vehículos eléctricos”, junio 2018.
- [9] Tridens Technology, “What’s is EV Charging Dynamic Load Management?”,
<https://tridens technology.com/what-is-dynamic-ev-charging-load-management/>
- [10] Serna, Martin Nahuel “Generación Distribuida Fotovoltaica Residencial en Redes de Distribución Eléctrica de Mar del Plata: su Impacto en Parámetros Técnicos y Ambientales”, junio 2022.
- [11] Yue Wang, David Infield “Markov Chain Monte Carlo simulation of electric vehicle use for network integration studies”, julio de 2018.
- [12] Datos.gob.ar “Cálculo del Factor de Emisión de CO2 de la Red Argentina de Energía Eléctrica”, <https://datos.gob.ar/el/dataset/energia-calculo-factor-emision-co2-red-argentina-energia-electrica>
- [13] Ministerio de Economía Argentina, Secretaria de Energía “Relevamiento Estadístico de Energía, Sector Eléctrico – Año 2022”, 2023.
- [14] Pedro Chevez, Irene Martini, Carlos Discoli “Análisis territorial y temporal del consumo eléctrico en el sector residencial de Argentina (1995-2014)”, abril 2017.

[15] Secretaria de Gobierno de Energía, Ministerio de Hacienda “Emisiones de CO₂ calculadas a partir de las ventas al público de combustibles líquidos en EESS – año 2018”, año 2018.

8. Anexo 1 (Scripts)

Una herramienta con la que cuenta el software de simulación es la posibilidad de programar scripts. Estos son archivos de programación que, al ejecutarlos, son capaces de realizar una serie de comandos en muy poco tiempo. Si bien la programación de cada script requiere de tiempo, este es despreciable frente al tiempo que requeriría realizar la serie de comandos en forma manual. El lenguaje de programación utilizado es DPL (DIgSILENT Programming Language). Estas líneas de comando pueden ser tomadas como base y editadas de tal manera de modificar otros parámetros y elementos de software de simulación.

En los siguientes apartados se transcriben las líneas de comando de los scripts que se desarrollaron con el objetivo de ahorrar tiempo y facilitar la modelación de la red, junto con una breve descripción de las tareas que realiza. Se recomienda leer el Apéndice D del Manual del usuario de DIgSILENT.

8.1. Carga de curvas de horario de recarga de los EV

A continuación, se presenta el código para la carga de curvas de carga de los VE, siguiendo una dada distribución.

Lo primero, es definir el ancho de cada uno de los intervalos (separados cada 30 minutos), que se realiza dentro del entorno del DIgSILENT, como se muestra a continuación:

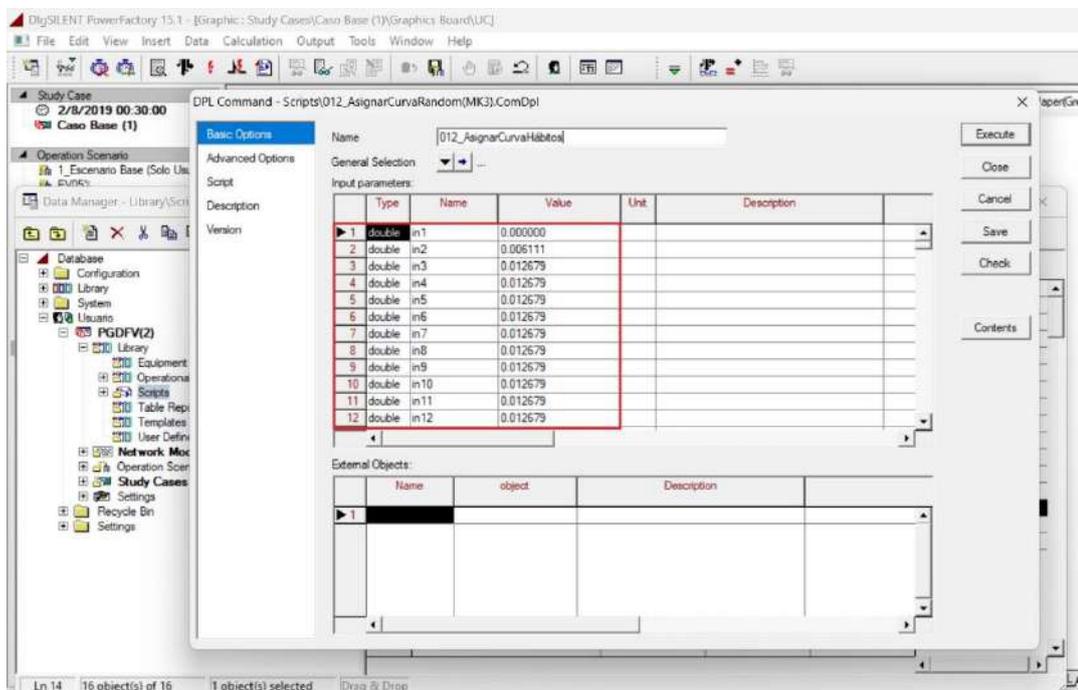


Figura 79 - "Entorno de configuración de script para el caso hábitos"

Una vez establecido el ancho de cada uno de los intervalos, se procede a ejecutar el siguiente código de programación, dentro del entorno de DIgSILENT. El código se

encarga de seleccionar una batería, luego generar un número aleatorio el cual se compara en cada uno de los ciclos condicionales hasta encontrar en que rango se encuentra. Una vez realizado este proceso se reemplaza la característica de tiempo de la batería con la que corresponda a ese rango. Y así sucesivamente con las siguientes baterías.

```
!** Defining Variables
```

```
set
```

```
    BATs_Set,
```

```
    Cont_Set,
```

```
    Cont_Set1;
```

```
object
```

```
    BAT_Object,
```

```
    Cha_Ref,
```

```
    Library_Folder,
```

```
    Equip_Folder,
```

```
    Cha_Folder,
```

```
    Cha_Object;
```

```
double
```

```
    rnd1;
```

```
!** Delete Characteristic References of All BAT system Elements
```

```
BATs_Set=AllRelevant(*.ElmGenstat');
```

```
BAT_Object=BATs_Set.First();
```

```
while(BAT_Object)
```

```
{
```

```
    Cont_Set1=BAT_Object.GetContents('.Charef',1);
```

```
    Cha_Ref=Cont_Set1.First();
```

```

while(Cha_Ref)
{
Delete(Cha_Ref);

Cha_Ref=Cont_Set1.Next();
}

BAT_Object=BATs_Set.Next();
}

! ** Poner todas las características de tiempo de 'oplib' en 'Cont_Set'

Library_Folder=GetProjectFolder('oplib');

Cont_Set=Library_Folder.GetContents('*.*.IntPrjfolder');

Cha_Folder=Cont_Set.FirstFilt('Char*.*.Int*');

Cont_Set=Cha_Folder.GetContents();

! Looping through the All PV Objects

BATs_Set=AllRelevant('*.*.ElmGenstat');

BAT_Object=BATs_Set.First();

while(BAT_Object)
{
! ** Curve random selection

rnd1= Random();

output('rnd1 es=rnd1');

if (in1<rnd1.and.rnd1<in2){

Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300000*.*.Cha*');

Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');

Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
}
}

```

```

    }
if (in2<rnd1.and.rnd1<in3){
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300030*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in3<rnd1.and.rnd1<in4) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300100*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in4<rnd1.and.rnd1<in5) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300130*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in5<rnd1.and.rnd1<in6) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300200*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in6<rnd1.and.rnd1<in7) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300230*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');

```

```

Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in7<rnd1.and.rnd1<in8) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300300*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in8<rnd1.and.rnd1<in9) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300330*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in9<rnd1.and.rnd1<in10) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300400*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in10<rnd1.and.rnd1<in11) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300430*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in11<rnd1.and.rnd1<in12) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300500*.Cha*');

```

```

        Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }

if (in12<rnd1.and.rnd1<in13) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300530*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }

if (in13<rnd1.and.rnd1<in14) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300600*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }

if (in14<rnd1.and.rnd1<in15) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300630*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }

if (in15<rnd1.and.rnd1<in16) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300700*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }

if (in16<rnd1.and.rnd1<in17) {

```

```
Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300730*.Cha*');
Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in17<rnd1.and.rnd1<in18) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300800*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in18<rnd1.and.rnd1<in19) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300830*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in19<rnd1.and.rnd1<in20) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300900*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in20<rnd1.and.rnd1<in21) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('300930*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
```

```

if (in21<rnd1.and.rnd1<in22) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301000*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in22<rnd1.and.rnd1<in23) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301030*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in23<rnd1.and.rnd1<in24) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301100*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in24<rnd1.and.rnd1<in25) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301130*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in25<rnd1.and.rnd1<in26) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301200*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;

```

```

    }

if (in26<rnd1.and.rnd1<in27) {

    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301230*.Cha*');

    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');

Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;

    }

if (in27<rnd1.and.rnd1<in28) {

    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301300*.Cha*');

    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');

Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;

    }

if (in28<rnd1.and.rnd1<in29) {

    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301330*.Cha*');

    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');

Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;

    }

if (in29<rnd1.and.rnd1<in30) {

    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301400*.Cha*');

    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');

Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;

    }

if (in30<rnd1.and.rnd1<in31) {

    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301430*.Cha*');

    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');

```

```
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in31<rnd1.and.rnd1<in32) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301500*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in32<rnd1.and.rnd1<in33) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301530*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in33<rnd1.and.rnd1<in34) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301600*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in34<rnd1.and.rnd1<in35) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301630*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in35<rnd1.and.rnd1<in36) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301700*.Cha*');
```

```

        Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }

if (in36<rnd1.and.rnd1<in37) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301730*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }

if (in37<rnd1.and.rnd1<in38) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301800*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }

if (in38<rnd1.and.rnd1<in39) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301830*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }

if (in39<rnd1.and.rnd1<in40) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301900*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }

if (in40<rnd1.and.rnd1<in41) {

```

```
Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('301930*.Cha*');
Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in41<rnd1.and.rnd1<in42) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('302000*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in42<rnd1.and.rnd1<in43) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('302030*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in43<rnd1.and.rnd1<in44) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('302100*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in44<rnd1.and.rnd1<in45) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('302130*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
```

```

if (in45<rnd1.and.rnd1<in46) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('302200*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in46<rnd1.and.rnd1<in47) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('302230*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in47<rnd1.and.rnd1<in48) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('302300*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    }
if (in48<rnd1.and.rnd1<in49) {
    Cha_Object=Cont_Set.FirstFilt('302330*.Cha*');
    Cha_Ref=BAT_Object.CreateObject('ChaRef','pgini');
Cha_Ref:typ_id=Cha_Object;
    };
BAT_Object=BATs_Set.Next();
}
!* END *

```

8.2. Modificación de parámetros de las baterías

Debido a la necesidad de cambiar masivamente los parámetros de las baterías dentro del programa de simulación, fue necesario la implementación de un script que automatizara esta tarea. El programa selecciona una batería y reemplaza cada parámetro con los asignados en la siguiente interfaz y luego repite la misma tarea con la siguiente batería.

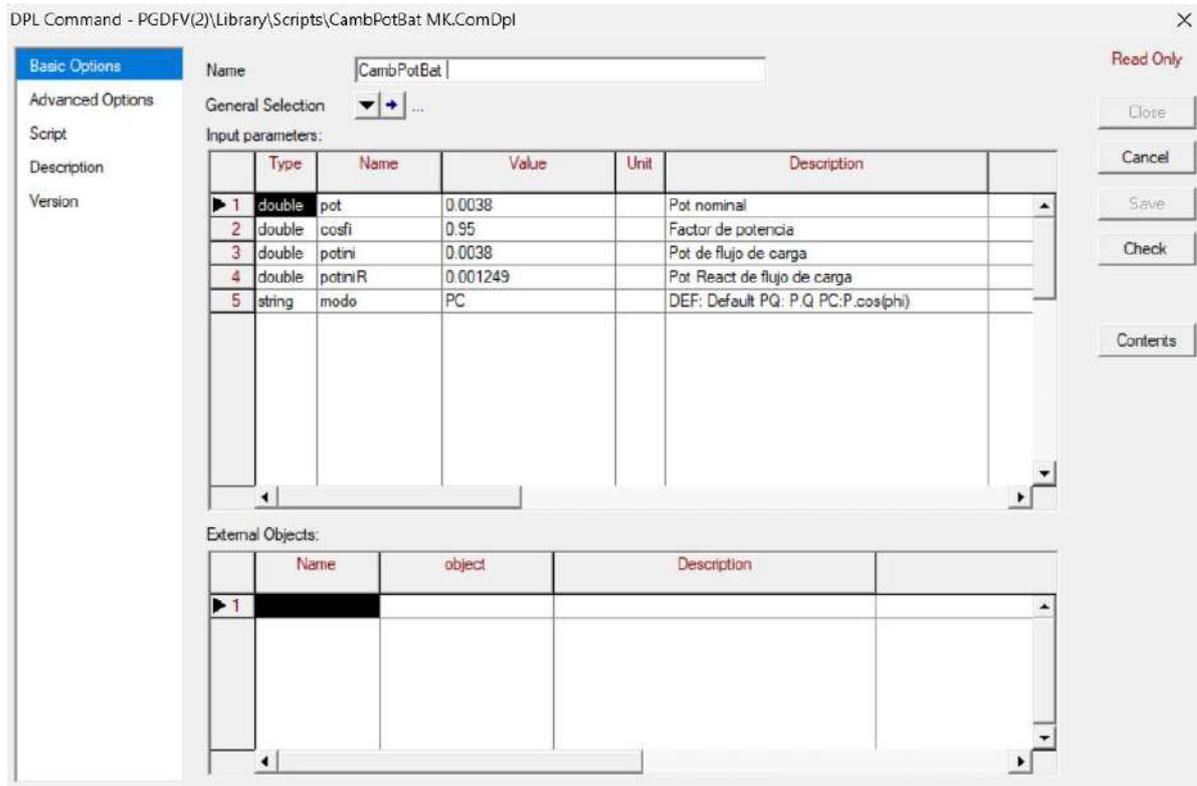


Figura 80 - "Entorno de configuración de script para modificar parámetros de baterías."

!** Delete Characteristic References of All BAT system Elements

```
object BAT_Object;
```

```
set BATs_Set;
```

```
BATs_Set=AllRelevant('* .ElmGenstat');
```

```
BAT_Object=BATs_Set.First();
```

```
while(BAT_Object)
```

```
{
```

```
  BAT_Object:outserv=0;
```

```
BAT_Object:sgn=pot;  
BAT_Object:mode_inp=modo;  
BAT_Object:cosgini=cosfi;  
BAT_Object:pgini=potini;  
BAT_Object:qgini=potiniR;  
BAT_Object=BATs_Set.Next();  
}
```