

JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)

Collection:

APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)

Collection:

APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied electrical engineering / Organizadores
João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta
Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-858-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.585222801>

1. Electrical engineering. I. Dallamuta, João
(Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III.
Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

Neste livro temos uma diversidade de temas, níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A MODEL BASED DESIGN APPROACH FOR KNOCK CONTROL IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES USING MACHINE LEARNING

Eduardo Vieira Falcão

Vinicius Mafra Melo

Péricles Rezende Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228011>

CAPÍTULO 2..... 15

DEVELOPMENT OF A COMPUTATIONAL TOOL FOR DIMENSIONING AND ANALYZING THE ECONOMIC FEASIBILITY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

David Coverdale Rangel Velasco

Elivandro Tavares Lôbo

Welder Azevedo Santos

Wagner Vianna Bretas

Rodrigo Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228012>

CAPÍTULO 3..... 21

OTIMIZAÇÃO DE OPERAÇÕES MODULARES ATRAVÉS DO USO DE PSEUDO-MÓDULOS

Augusto Cezar Boldori Vassoler

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228013>

CAPÍTULO 4..... 33

OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA USANDO SIMULAÇÃO MATEMÁTICA E TESTES EXPERIMENTAIS

Eduardo G. Silva

Alexandre S. Caporali

Cesar da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228014>

CAPÍTULO 5..... 49

MAPAS COGNITIVOS FUZZY DINÂMICOS ADAPTATIVOS APLICADOS EM PROCESSO INDUSTRIAL

Márcio Mendonça

Francisco de Assis Scannavino Junior

Wagner Fontes Godoy

Lucas Botoni de Souza

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Fábio Rodrigo Milanez

Carlos Alberto Paschoalino

Michele Eliza Casagrande Rocha

Vicente de Lima Gongora

Ricardo Breganon

Marcio Aurélio Furtado Montezuma

Emanuel Ignacio García

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228015>

CAPÍTULO 6..... 61

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DIDÁTICO SOBRE FILTROS PROBABILÍSTICOS EMPREGADOS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO EM ROBÓTICA MÓVEL

José Lucas Araújo dos Santos

Luciano Buonocore

Luiz Eugênio Santos Araújo Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228016>

CAPÍTULO 7..... 74

EFFECTO DE LA IMPLANTACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA ESPAÑOLA

Paula Romo Santos

Begoña Lapeña Barrio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228017>

CAPÍTULO 8..... 90

INSTALAÇÃO DE MEDIÇÃO NOS ALIMENTADORES DAS SUBESTAÇÕES

Adalberto Leandro da Silva

Fabio Coelho de Santana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228018>

CAPÍTULO 9..... 106

PROJETO DE OUVIDORIA DA DISTRIBUIÇÃO DA EDP SÃO PAULO – ANÁLISE DE DEMANDA DE MAIOR IMPACTO

Márcia Lúcia Lopes de Souza Jesus

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228019>

CAPÍTULO 10..... 114

DIAGNÓSTICO, CRESCIMENTO E ATENUAÇÃO DE RISCOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM FAVELAS

Márcio Mendonça

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Fábio Rodrigo Milanez

Wagner Fontes Godoy

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Carlos Alberto Paschoalino

Francisco de Assis Scannavino Junior

Vicente de Lima Gongora

Lucas Botoni de Souza

Michele Eliza Casagrande Rocha

José Augusto Fabri

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280110>

CAPÍTULO 11..... 127

ANÁLISE COMPARATIVA DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UMA EDIFICAÇÃO DA CIDADE DE PORTO VELHO - RO

Angelina Lidiane Moura Cunha
Felipe Alexandre Souza da Silva
Antonio Carlos Duarte Ricciotti
Viviane Barrozo da Silva
Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280111>

CAPÍTULO 12..... 140

O DESEMPENHO E EFICIÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM PALMAS - TO: ANÁLISE EM FUNÇÃO DO PONTO CARDEAL E VARIAÇÃO ANGULAR DAS PLACAS

Aline Silva Magalhães
Jabson da Cunha Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280112>

CAPÍTULO 13..... 153

SIMULADOR DE CARGA UTILIZANDO MECANISMO DE FRENAGEM ELETROMAGNÉTICA PARA ENSAIOS DE COMPORTAMENTO DE MÁQUINAS ASSÍNCRONAS

Murilo Meneghetti Caramori
Alexandre Dalla Rosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280113>

CAPÍTULO 14..... 184

PROPOSTA DE GEOMETRIAS DE NÚCLEOS USADOS EM ACOPLAMENTOS DE SISTEMAS ATRAVÉS DO FLUXO MAGNÉTICO

Lucas Lapolli Brighenti
Walbermark Marques Dos Santos
Denizar Cruz Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280114>

CAPÍTULO 15..... 198

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE LIGAÇÕES CRUZADAS EM BORRACHA DE ESTIRENO-BUTADIENO (SBR) PARA DIFERENTES SISTEMAS DE VULCANIZAÇÃO

Harison Franca do Santos
Arthur Pimentel de Carvalho
Carlos Toshiyuki Hiranobe
Eduardo Roque Budenberg
Gabriel Deltrejo Ribeiro
Giovanni Barrera Torres
Jose Francisco Resende
Leonardo Lataro Paim
Leandra Oliveira Salmazo
Miguel Ángel Rodríguez Pérez

Renivaldo José dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280115>

SOBRE OS ORGANIZADORES	210
ÍNDICE REMISSIVO.....	211

EFFECTO DE LA IMPLANTACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA ESPAÑOLA

Data de aceite: 10/01/2022

Paula Romo Santos

IES Río Duero

Begoña Lapeña Barrio

IES Río Duero

RESUMEN: Hoy en día, el vehículo eléctrico se presenta como una de las grandes soluciones a los problemas medioambientales actuales. Sin embargo, su implantación a nivel masivo podría conllevar consecuencias negativas como lo es el aumento en la demanda energética a nivel nacional. En este trabajo se analiza el impacto que supondría en la red de distribución eléctrica, la implantación del vehículo eléctrico de forma homogénea en el territorio español. Con este fin se han estudiado las principales características de la red de distribución española, así como las particularidades de los distintos tipos de vehículos eléctricos y los diferentes tipos de recarga. Con todos estos datos se ha desarrollado un simulador en Excel que predice cómo variaría la curva de demanda energética en función de la penetración del vehículo eléctrico, la capacidad de sus baterías, el consumo de cada tipo de vehículo y el porcentaje de cargas lentas o rápidas. Utilizando dicho simulador, se ha comprobado que aun en el peor de los escenarios, en el que hay un 100% de vehículos eléctricos y un 100% de cargas rápidas, la demanda energética máxima es muy inferior a la máxima potencia instalada en la red. Consecuentemente, se puede afirmar que el sistema de distribución eléctrico es totalmente

capaz de hacer frente a la implantación masiva del vehículo eléctrico. No obstante, con el fin de reducir las variaciones en la demanda energética a lo largo del día y lograr así un funcionamiento más eficiente, cobran especial importancia algunas propuestas de interacción entre el vehículo y la red como lo son los *Smart Grids*.

PALABRAS CLAVE: Vehículo eléctrico, red de distribución eléctrica, Smart Grid.

EFFECT OF THE IMPLEMENTATION OF THE ELECTRIC VEHICLE ON THE SPANISH ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORK

ABSTRACT: Nowadays, the electric vehicle is presented as one of the main solutions to the current environmental problems. However, its massive implementation could lead to negative consequences, such as an increase in the national energy demand. In this paper we analyse how the homogenous implementation of the electric vehicle on the Spanish territory would affect the electrical distribution network. To this end, the main characteristics of the Spanish distribution network have been studied, as well as the features of the different types of electric vehicles and recharging systems. All this data has been used to develop an Excel simulator that can predict how the energy demand curve would vary depending on the penetration of the electric vehicle, the capacity of their batteries, the consumption of each type of vehicle and the percentage of slow or fast charges. Using this simulator, it has been found that even in the worst-case scenario, in which there is a 100% of electric vehicles and a 100% of fast charging,

the maximum energy demand is much lower than the maximum power installed in the grid. Consequently, it can be affirmed that the electric distribution network is able to cope with the massive deployment of electric vehicles. However, in order to reduce variations in energy demand over the course of the day and achieve a more efficient performance, some proposals for interaction between the vehicle and the network, such as *Smart Grids*, become particularly important.

KEYWORDS: Electric vehicle, Electric Grid, Smart Grid.

1 | ANÁLISIS DE VARIABLES

1.1 Sistema eléctrico español y demanda energética

Toda la red de transporte de energía de alta tensión de España es gestionada por la empresa Red Eléctrica de España, cuya misión es garantizar el correcto funcionamiento del sistema de suministro, así como la continuidad y abastecimiento de energía eléctrica en todo momento.

Desde su creación en 1985, la red se ha enfrentado a diferentes adaptaciones para hacer frente a incrementos de la demanda eléctrica motivados por agentes externos como la aparición del AVE (Alta Velocidad Española), en el año 92. Otro factor que podría acentuar las necesidades energéticas podría ser la implantación del vehículo eléctrico, por lo que es importante estimar cómo influirá en la demanda energética. No obstante, es necesario conocer también cuáles son las características y limitaciones de la red de distribución, así como los hábitos de consumo eléctrico a nivel nacional.

La potencia instalada en el conjunto del territorio nacional registró 104.122 MW al finalizar el año 2017[1]. Esta sería la máxima cantidad de potencia que podría suministrar el sistema utilizando al 100% sus plantas de producción. Sin embargo, se trata de un dato poco realista ya que sería imposible alcanzar un rendimiento tan alto.

En cuanto a la demanda energética, a partir de datos de Red Eléctrica de España [2], se ha recogido el consumo energético en cuatro días distintos: dos días laborales, uno de invierno y otro de verano y dos sábados, también uno de invierno y otro de verano. Estos representarán la tendencia de los demás días del año.

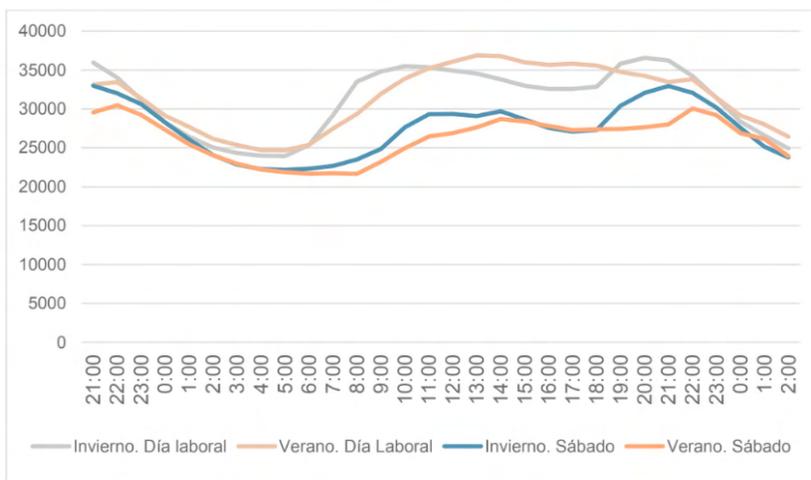


Figura 1. Gráfica de la demanda de consumo de energía eléctrica a lo largo de un día. (MW)

Como podemos ver en el gráfico, durante todo el año, a partir de las nueve de la noche comienza a disminuir la demanda energética, dando así lugar a un periodo de valle que dura toda la madrugada y en el que la demanda se aproxima a los 25.000 MW. Los días laborales la demanda vuelve a ascender entre las seis y las siete de la mañana, cuando comienza la actividad de la mayoría de comercios y empresas. Los sábados en cambio, la demanda no asciende hasta las nueve y media de la mañana, pero sin alcanzar los valores de los días laborales. En torno al medio día se alcanza el primer pico: en torno a los 35.000 MW los días laborales y 30.000 MW los festivos. Este pico se produce un poco antes los días laborales de invierno. Posteriormente, la demanda disminuye ligeramente y se mantiene más o menos estable, aunque en los días de invierno hay un pequeño valle alrededor de las cuatro. A partir de las seis la demanda comienza a aumentar hasta las ocho y media, horario en el que se produce el segundo pico, todavía un poco más acentuado que el anterior. No obstante, los días de diario de verano no se manifiesta este pico debido a que muchos negocios tienen horarios reducidos por las tardes.

1.2 Características del vehículo eléctrico y tipos de carga

Una vez analizadas las características de la red de distribución y los hábitos de consumo, falta estudiar otras variables relacionadas con el vehículo eléctrico como la cantidad de vehículos, la capacidad de sus baterías o su consumo. También se deben valorar otros aspectos referentes a la recarga del vehículo y que afectan directamente a la demanda energética, como lo son en tipo y el horario de recarga.

Cantidad y distribución de vehículos

La cantidad de vehículos eléctricos en circulación es uno de los factores que claramente determinará la cantidad de energía demandada. Además, debemos conocer también la proporción de cada tipo de vehículo, dado que las capacidades de sus baterías son muy diferentes.

Según datos de AEDIVE (Asociación Empresarial para el Desarrollo e Impulso del Vehículo Eléctrico) [3] [4], en 2018 se vendieron un total de 15495, lo que representa un 1,01% de las ventas de vehículos totales. La distribución de las matriculaciones en función del tipo de vehículo se describe en la Figura 2.

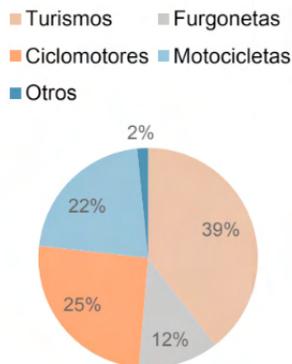


Figura 2. Matriculaciones de vehículos eléctricos según el tipo.

Capacidad de las baterías y consumo

La capacidad de las baterías depende principalmente del tipo de vehículo.

- **Turismos**

Los turismos representaron casi el 40% de las matriculaciones de vehículos eléctricos en 2018. Según datos de Europa Press [5], el número de vehículos eléctricos en circulación se ha triplicado entre 2013 y 2017, de 10.356 unidades en 2013 a 27.598 al cierre de 2017, según recoge el Informe Anual 2017 de la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (Anfac).

Modelo	Capacidad de la batería (kWh)	Matriculaciones en 2018 según Aniacam	Consumo (Wh/km)[6]
Renault ZOE	41	1.418	133
Nissan Leaf	30 – 40	1.264	150
Smart EQ forfour	17.6	761	129 -131
Smart EQ fortwo	17.6	698	129
BMW i3	42.2	682	129
Volkswagen e-GOLF	24,2 – 35,8	436	127
Hyundai Kona	39 – 64	220	139
Hyundai Ioniq	38,3	202	94 – 115
Tesla Model S	60 – 100	166	170-188
Tesla Model X	60 -100	160	

Tabla 1. Coches eléctricos más vendidos en España en 2018. Modelo, capacidad de la batería, número de matriculaciones y consumo.

Para establecer la capacidad de la batería de los turismos se ha tomado como referencia los diez modelos de turismos más vendidos en 2018 y se ha calculado la media ponderada entre la capacidad de sus baterías y las unidades matriculadas, obteniendo un valor medio de **35,75 kWh**. De la misma manera se ha calculado el valor medio del consumo de **131,82 Wh/km**.

• Furgonetas

Las matriculaciones de furgonetas representaron en 2018 casi el 12% de las ventas totales de vehículos eléctricos. Atendiendo a los datos de Red Eléctrica de España, los modelos de furgonetas más vendidos son:

Modelo	Capacidad de la batería (kWh)	Consumo (Wh/km)
Renault Kangoo ZE	33	155
Nissan e-NV200	40	165
Peugeot Partner EV	22,5	177 – 259
Citroen Berlingo EV	22,5	177
Goupil G4	7,2 – 15,4	72 - 154

Tabla 2. Furgonetas más vendidas. Modelo, capacidad de sus baterías y consumo.

Para calcular la media de la capacidad de sus baterías se ha hallado la media aritmética de los valores recogidos en la tabla, obteniendo **25,86 kWh**. Igualmente se ha calculado el valor medio del consumo: **165,5 Wh/km**.

- **Autobuses**

Los autobuses son el tipo de vehículo eléctrico más escaso en número; sin embargo, por su alto consumo y su creciente implantación prevista para los próximos años juegan un papel considerable en la demanda energética.

Ciudad	Modelo	Capacidad de la batería (kWh)	Consumo (Wh/km)	Unidades
Madrid [8]	Rampini Wolta Bus-car.net	100		18 [9]
	Irizar i2e	376	1790	15
	Castrosua Teempus			5 (De un total de 13 autobuses, 8 son híbridos y 5 han sido modificados para ser eléctricos) [10]
Badajoz [11]	Byd2912-TZA	348	1300	15
Barcelona [12]	Irizar i2e	376kWh	1790	6
	Solaris Urbino 18e	120kWh	1460	5
Bilbao [13]	Irizar i2e	376	1790	6
Pamplona [14]	Vectia CAF Veris 12	44	1400	6
Valencia [15] [16]	Irizar i2e	376	1790	1
	BydK9UB	324	1290	1
Sevilla	Yutong E12 /CC9/IC12	342		1
San Sebastián	Irizar ietram	150	1900	1

Tabla 4. Autobuses eléctricos por ciudades españolas. Modelo, capacidad de la batería, consumo y unidades.

A partir de los datos de capacidad de la batería y consumo de cada autobús junto con la cantidad de unidades de los mismos, se ha calculado la media ponderada obteniendo: **244,23 kWh** para las baterías y **158,54 Wh/km** para el consumo.

- **Ciclomotores y motocicletas**

Las matriculaciones de ciclomotores y motocicletas representaron en 2018 el 25,4% y 21,6% respectivamente. Según datos de Red Eléctrica de España [7], los modelos de ciclomotores y motocicletas más vendidos fueron los siguientes:

	Modelo	Capacidad de la batería (kWh)	Consumo (Wh/km)
Ciclomotores	Scutum SO2 Electric	2 – 6	45
	NIU NSPORT	4,2	26
	Lifan E3	1,44	28
	NIU MPRO	4	33
	Askoll ES1	1,045	40
Motocicletas	TorrotMuvi Electric	2,4	28
	Scutum SO2 Electric	2 – 6	45
	BMW C Evolution Electric	8 – 12,5	78
	Going Green The Core Electric	2,82	40
	Askoll ES Pro 70 Electric	2,82	29

Tabla 3. Ciclomotores y motocicletas más vendidas. Modelo, capacidad de la batería y consumo.

Para calcular el valor medio de la capacidad de la batería de los ciclomotores y las motocicletas se ha hallado primero la media aritmética con los datos de los modelos más vendidos de cada tipo, obteniendo un valor medio de 2,137 kWh para las baterías de los ciclomotores y de 4,458 kWh para las motocicletas. A continuación, se ha hallado la media ponderada de dichos datos con la proporción en matriculaciones de cada grupo (54% de ciclomotores y 46% de motocicletas), obteniendo un valor de **2,58 kWh**.

Se ha empleado el mismo procedimiento para calcular el valor medio del consumo. Este ha sido de 34,4 Wh/km para los ciclomotores y de 44 Wh/km para las motocicletas, de tal manera que el valor medio ponderado es **38,82 Wh/km**.

Tipo de recarga

Existen tres tipos de recarga eléctrica en función de la rapidez de la misma. Cuanto más rápida sea, mayor intensidad y potencia demandará al sistema eléctrico [17].

Recarga convencional. Tiene una duración aproximada de 8 horas, por lo que tan solo necesita 16 amperios y 3,7 kW. Es la que menos energía requiere por lo tanto jugará un papel imprescindible para hacer posible la continuidad de suministro en la red de distribución.

Recarga semi-rápida. El vehículo tarda unas 4 horas en recargarse por completo, para ello requiere 32 amperios de intensidad y una potencia de 7,3 kW.

Recarga rápida. En tan solo 30 minutos se recarga el 80% de la batería, por lo que necesita una potencia mucho superior: 50 kW. Pese a ser la opción más equiparable a un repostaje normal y por tanto la más cómoda para el usuario, supone un gran impacto para la red de distribución.

Tipo de recarga	Duración (h)	Intensidad (A)	Potencia (kW)
Convencional	8	16	3,7
Semi-rápida	4	32	7,3
Rápida	0,5	63	50

Tabla 5. Comparación de la duración, intensidad y potencia de cada tipo de recarga.

No obstante, a modo de simplificación, a la hora de elaborar los modelos solo se han tenido en cuenta dos tipos de recarga: una rápida y otra lenta.

Horario de recarga

La distribución del horario de recarga, junto al tipo de la misma, será un factor clave para alcanzar o no la mayor eficiencia del sistema de distribución. En un caso ideal, combinando ambas variables, se lograría rellenar los valles existentes en la curva de demanda eléctrica. En el caso contrario, si se realizase un gran número de recargas rápidas, muy demandantes, en las horas donde la demanda energética es mayor, podría llegar a saturarse la red eléctrica.

Para realizar las simulaciones se han establecido dos curvas de Gauss que representan la distribución de las recargas en función de su tipo, de tal manera que la mayoría de las recargas lentas se concentran durante la noche y las rápidas durante el día.

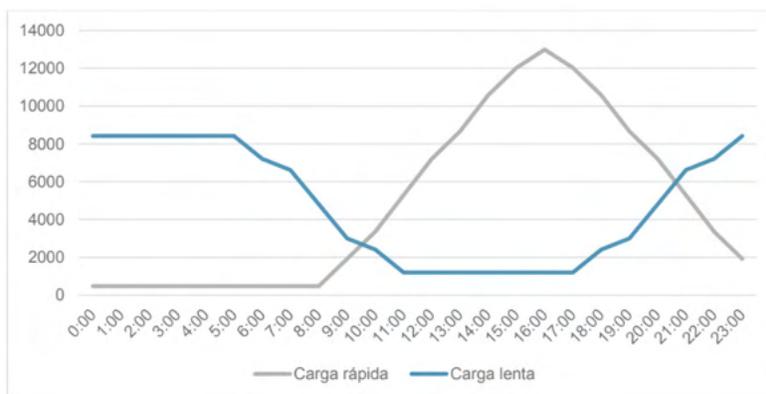


Figura 3. Gráfica de distribución de la demanda de energía eléctrica de las recargas a lo largo del día según el tipo de carga en (MW)

2 | ANÁLISIS DE DATOS

2.1 Simulación de posibles escenarios

Para medir el impacto del vehículo eléctrico se ha elaborado un simulador interactivo en Excel que permite modificar distintas variables como la penetración del vehículo eléctrico

según el tipo, capacidad de las baterías, km diarios recorridos, consumo y porcentaje y distribución de recargas rápidas o lentas; y ver cómo estas alteraciones afectan a la curva de demanda energética. Utilizando esta herramienta se han estudiado distintos escenarios.

Impacto en función de la penetración con un 25% de recargas rápidas

Utilizando los datos que se han ido exponiendo a lo largo del estudio y las curvas anteriores se ha elaborado un modelo de cómo podría afectar a la curva de la demanda la implantación del vehículo eléctrico con un 25% de recargas rápidas. Se ha considerado que la distancia recorrida media diaria es de 50km para los turismos, ciclomotores y motocicletas; 100km para las furgonetas y 150km para los autobuses.

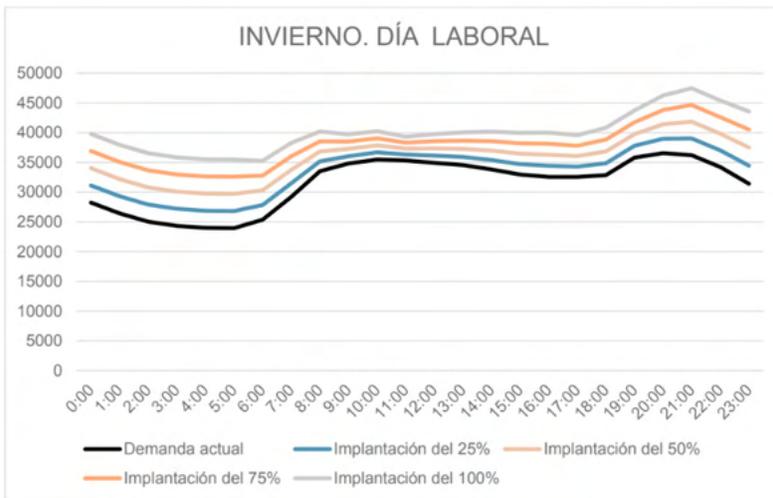


Figura 4. Gráfica del impacto del vehículo eléctrico, con un 25% de recargas rápidas, en la demanda de energía eléctrica de un día laboral de invierno en función de la penetración. (MW)

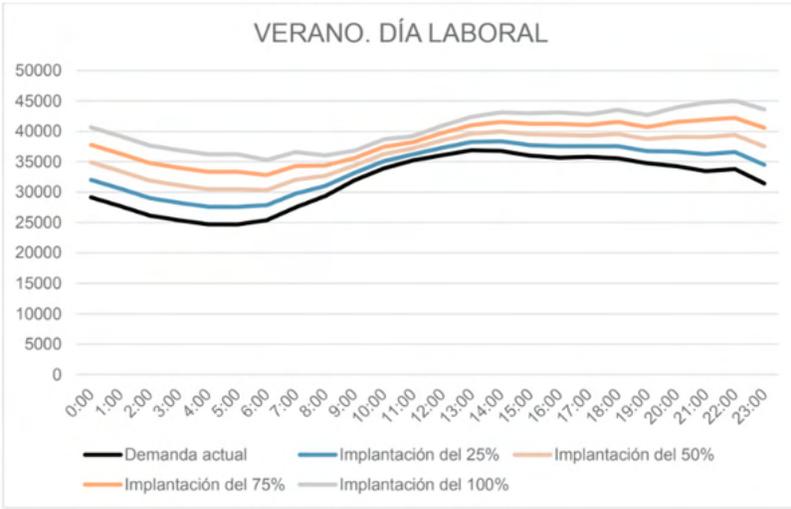


Figura 5. Gráfica del impacto del vehículo eléctrico, con un 25% de recargas rápidas, en la demanda de energía eléctrica de un día laboral de verano en función de la penetración. (MW).

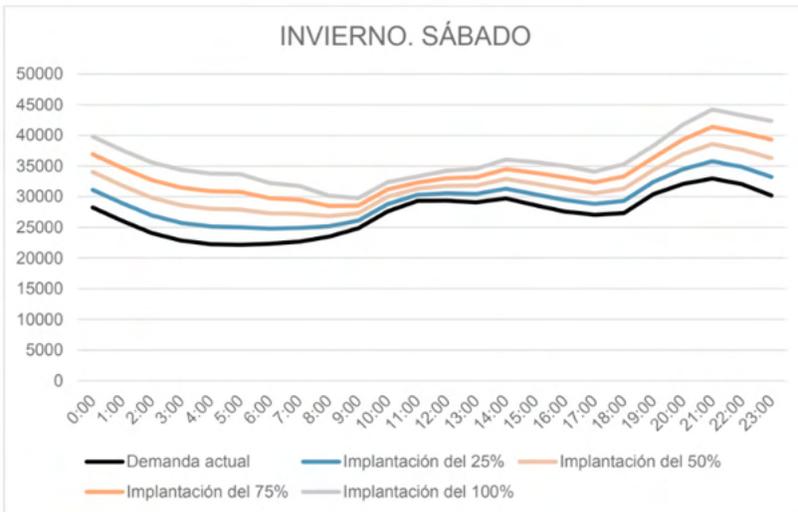


Figura 6. Gráfica del Impacto del vehículo eléctrico, con un 25% de recargas rápidas, en la demanda de energía eléctrica de un sábado de invierno en función de la penetración. (MW)

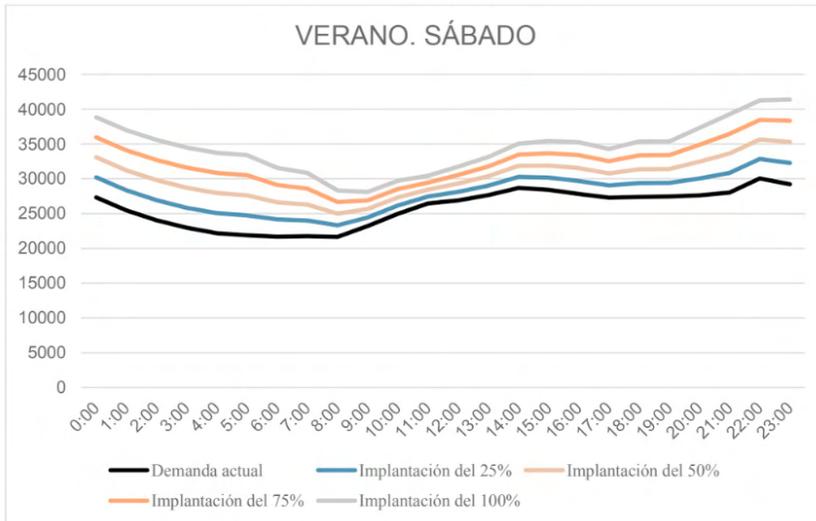


Figura 7. Gráfica del impacto del vehículo eléctrico, con un 25% de recargas rápidas, en la demanda de energía eléctrica de un sábado de verano en función de la penetración. (MW)

Impacto en función del porcentaje de recargas rápidas en un día laboral de invierno con un 100% de implantación

De nuevo se han utilizado los datos y las distancias recorridas citadas anteriormente; y se ha jugado con la proporción del tipo de recargas. Se puede comprobar que a medida que aumenta el porcentaje de recargas rápidas el pico energético es mayor y por tanto disminuye la eficiencia del sistema. Sin embargo, también es cierto que, si este modelo fuese real, a medida que aumentase la cantidad de recargas rápidas se modificaría la curva anteriormente establecida, de tal manera que un mayor porcentaje de las mismas se realizaría durante la noche. De esta manera el pico energético no sería tan acentuado.

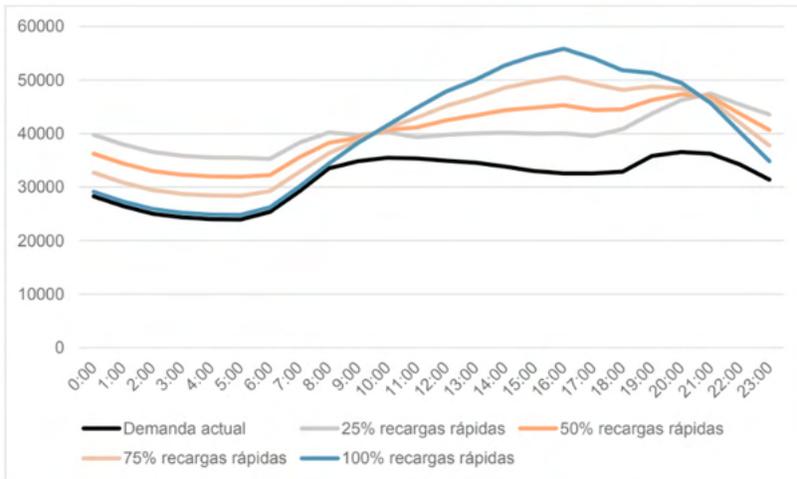


Figura 8. Gráfica del impacto de la implantación de vehículo eléctrico, con un 100% de penetración, en la demanda de energía eléctrica, en función del porcentaje de recargas rápidas. (MW).

En este modelo se observa claramente cómo el reparto de las recargas a lo largo del día, mejoraría la eficiencia del sistema eléctrico.

Modelo óptimo con una implantación del 100% en un día laboral de invierno

En este modelo ideal se refleja cómo sería la demanda energética con una implantación del vehículo eléctrico del 100%. En este caso, para lograr la máxima eficiencia del sistema eléctrico no se han considerado las curvas del reparto de recargas, empleadas en los otros modelos, sino que estas se han redistribuido a lo largo de todo el día reduciendo por completo las horas de valle y pico. En este caso no importaría el tipo de recarga empleado.

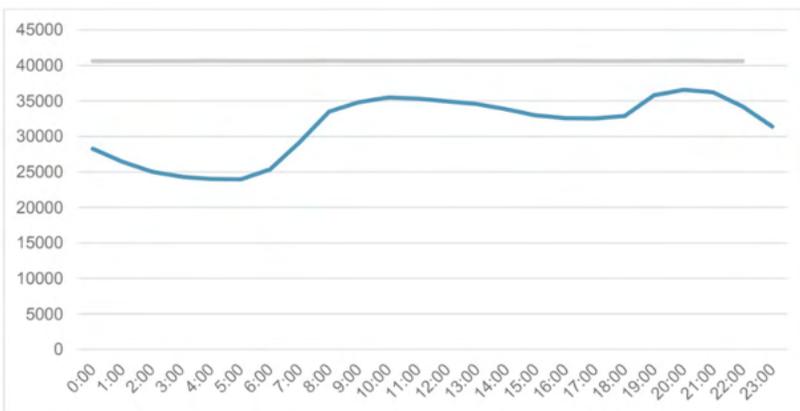


Figura 9. Modelo óptimo de la curva de demanda de energía eléctrica con una penetración del 100% del vehículo eléctrico. (MW).

Debido a su eficiencia, este sería el modelo ideal. Pese a ser prácticamente inalcanzable sí que se debe tomar como referencia. Para aproximarse el máximo posible, es indispensable el uso de sistemas inteligentes que gestionen la energía demandada y redistribuyan el suministro.

3 I PROPUESTAS DE MEJORA

En un hipotético escenario de máxima eficiencia del sistema de distribución eléctrico, como el que se ha analizado en el apartado anterior, la curva de la demanda sería completamente recta, sin valles ni picos. Para intentar acercarse a este escenario ideal se están desarrollando distintos sistemas de inteligencia, que tienen como objetivo utilizar los datos de consumo de los usuarios para redistribuir la demanda y por tanto el suministro de energía. Estos sistemas se denominan *Smart Grids*.

En el caso de los vehículos eléctricos, los *Smart Grids* podrían recoger la capacidad de las baterías, tiempo de carga o número de vehículos conectados a la red, así como el uso que el usuario va a hacer de su vehículo. Supongamos que un usuario conecta su vehículo a la red para que cargue a las 19:00, hora del pico energético. En este momento el *Smart Grid*, preguntaría al usuario cuándo va a necesitar que su coche esté cargado, imaginemos que a las 6:00 del día siguiente. Entonces el *Smart Grid* retrasaría la recarga del vehículo a una hora en la que la demanda energética sea menor, asegurándose de que estará cargado a la hora que lo va a necesitar el usuario. En este caso una solución inteligente sería que el vehículo no comenzase a cargarse hasta las 10 de la noche, cuando comienza el valle energético. Este sistema trabajaría de forma conjunta con los datos de todos los usuarios distribuyendo las cargas en función de la demanda conjunta.

Para mejorar aún más la eficiencia del *Smart Grid* se podría utilizar la energía contenida en las baterías de los vehículos para hacer frente a los picos de energía. Volviendo al ejemplo anterior, cuando el usuario llega a casa y enchufa su vehículo, el *Smart Grid* sumaría la energía que queda en la batería, a la red de distribución para hacer frente a la demanda energética durante el pico y luego recargar el vehículo en horario de valle. Además, el usuario podría ser recompensado económicamente por dejar hacer uso de la energía de su vehículo en un momento de alta demanda. Este sistema se denomina *Vehicle-to-Grid (V2G)*.

Sin embargo, podría haber ocasiones en las que no interesase tener una curva de demanda energética plana sino una curva inversa a la natural. Igual que los usuarios pueden ofrecer la energía de sus vehículos a cambio de una remuneración; una región también puede vender energía a otras regiones para suplir sus necesidades energéticas cuando la demanda sea mayor. Esta ha sido precisamente la medida adoptada por el estado de California en Estados Unidos. Allí, el pico de energía se produce durante la noche, cuando hay exceso de producción y por tanto la energía es más barata. En cambio, se produce

un valle en la demanda durante las horas centrales del día. De esta manera el estado de California puede vender el exceso de energía producida durante las horas centrales del día a un precio elevado, ya que es cuando hay déficit energético en otras regiones. Además, este modelo permite un mejor aprovechamiento de las energías renovables.

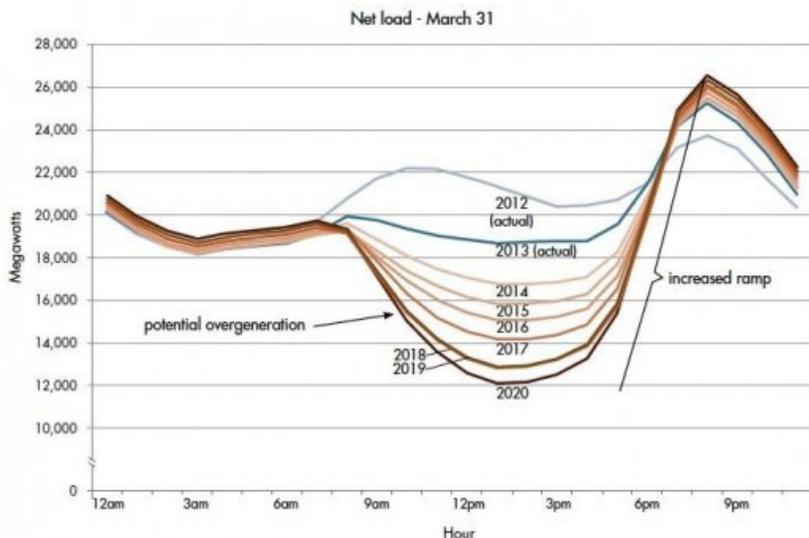


Figura 10. Curva de demanda diaria de consumo de energía eléctrica California (USA):<https://elperiodicodelaenergia.com>.

4 | CONCLUSIONES

En base a los posibles escenarios y la potencia instalada en la red de distribución cabe decir que la implantación del vehículo eléctrico, aun con un gran nivel de penetración, es totalmente asequible para el sistema. Ni siquiera con la máxima penetración y el reparto de recargas menos eficiente, el pico de demanda energética se aproxima a la máxima potencia instalada (104.122 MW en 2017).

No obstante, a medida que aumenta la penetración cobra mayor importancia el desarrollo de sistemas inteligentes que gestionen y distribuyan la demanda energética.

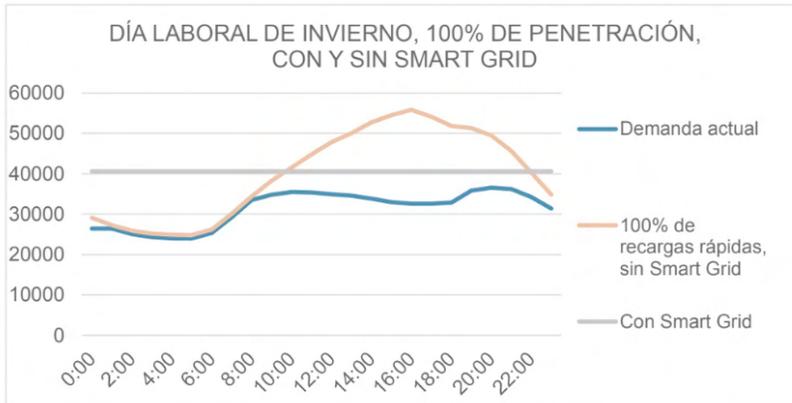


Figura 11. Gráfica de la demanda de energía de un día laboral de invierno con un 100% de penetración utilizando Smart Grid. (MW)

En el gráfico anterior, se compara la variación de la demanda energética en un día laboral de invierno, con una penetración total del vehículo eléctrico, en función de si se utiliza o no un sistema *Smart Grid*. En el primer caso, sin *Smart Grid*, en la hora de pico, la demanda energética supera los 55000 MW, mientras que con la implantación del *Smart Grid*, la demanda apenas alcanza los 4000 MW. Por lo tanto, estos sistemas podrían llegar a reducir la demanda energética hasta en un 27%, siendo así un factor clave a la hora de lograr una mayor eficiencia energética.

Por último, una curva de energía menos acentuada no solo supone una mayor eficiencia del sistema energético, sino también un mayor aprovechamiento de las energías renovables. Hoy en día, debido al valle energético, se producen excesos de energía por las noches, por lo que en muchas ocasiones se paraliza el funcionamiento de los parques eólicos y posteriormente, durante los picos diurnos, hay que suplir toda la demanda energética mediante energías no renovables. Es por ello, que si se lograra redistribuir la demanda energética mediante los *Smart Grids* se produciría también un mejor aprovechamiento de las energías renovables.

Con la vista puesta en el futuro, el *Vehicle-to-Grid* (V2G) que suministra electricidad a la red a través de las baterías de los vehículos cuando estos no se usan, hará que la implantación e integración del coche eléctrico en la red eléctrica, no sea solo posible, sino también necesaria.

REFERENCIAS

[1] EL sistema eléctrico español 2017. **Red Eléctrica de España**, [s/], p. 9, 18 de junio. 2018.

[2] DEMANDA de energía eléctrica en tiempo real, estructura de generación y emisiones de CO2. *In: Red Eléctrica de España*. [S. l.], 31 dic. 2018. Disponible en: <https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/demanda/total>.

- [3] HOME. In: **Asociación AEDIVE**. [S. l.], 31 dic. 2018. Disponible en: <https://aedive.es/>.
- [4] LAS ventas de coches eléctricos se disparan en 2018, pero aún hay mucho por hacer. In: **Diario Motor**. [S. l.], 3 ene. 2019. Disponible en: <https://www.diariomotor.com/noticia/ventas-coches-electricos-2018/>.
- [5] EL número de vehículos eléctricos en circulación se ha triplicado en cinco años, hasta 27.689 unidades. In: **Europa Press**. [S. l.], 27 ago. 2018. Disponible en: <https://www.europapress.es/motor/coches-00640/noticia-numero-vehiculos-electricos-circulacion-triplicado-cinco-anos-27689-unidades-20180827114619.html>.
- [6] GRUNDITZ, Emma Arfa. Electric Drive Systems and their Energy Consumption in Electric Vehicles. **Chalmers University of Technology**, [s. l.], 15 mayo 2017.
- [7] GUÍA de movilidad eléctrica para entidades locales. **Red Eléctrica de España**, [s. l.], 20 feb. 2019.
- [8] NUESTRA flota. **EMT Madrid. Empresa Municipal de Transportes de Madrid, S.A.**, [s. l.], 31 dic. 2017. Disponible en: <https://www.emtmadrid.es/Empresa/Somos/NuestraFlota>.
- [9] LA EMT de Madrid presenta los nuevos minibuses Rampini Wolta. In: **Madrid Mobilite**. [S. l.], 11 feb. 2019. Disponible en: <https://madridmobilite.com/2019/02/11/la-emt-de-madrid-presenta-los-nuevos-minibuses-rampini-wolta/>.
- [10] LA línea 76 de la EMT será desde finales de enero la primera 100% eléctrica con carga por inducción. In: **TeleMadrid**. [S. l.], 29 dic. 2017. Disponible en: <https://www.telemadrid.es/noticias/madrid/EMT-finales-primera-electrica-induccion-0-1971402853--20171229100419.html>.
- [11] ESPAÑA: Badajoz estrena 15 autobuses eléctricos BYD. In: **EcoInventos**. [S. l.], 14 mayo 2019. Disponible en: <https://ecoinventos.com/badajoz-estrena-15-autobuses-electricos-byd/>.
- [12] BARCELONA compra 7 autobuses eléctricos articulados por 5,7 millones de euros. **La Vanguardia**, [S. l.], 18 jul. 2017. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/vida/20170718/424203084120/barcelona-compra-7-autobuses-electricos-articulados-por-57-millones-de-euros.html>.
- [13] EL ayuntamiento de Bilbao suma dos nuevos autobuses eléctricos a la flota de Bilbobus. **Bilbao.eus**, [S. l.], 22 feb. 2019. Disponible en: https://www.bilbao.eus/cs/Satellite?language=en&c=BIO_Noticia_FA&cid=1279187056670&pageid=3000005580&pagename=Bilbaonet/BIO_Noticia_FA/BIO_Noticia.
- [14] LA línea 9, la primera 100% eléctrica. **Noticias de Navarra**, [S. l.], 21 mar. 2019. Disponible en: <https://www.noticiasdenavarra.com/navarra/pamplona/2019/03/21/linea-9-primera-100-electrica/816805.html>.
- [15] LA EMT de València se pasa al autobús eléctrico. **Levante**, [S. l.], 15 fev. 2018. Disponible en: <https://www.levante-emv.com/valencia/2018/02/15/emt-valencia-pasa-autobus-electrico-12063784.html>.
- [16] EMPRESA Municipal de Transportes de Valencia. **Wikipedia**, [S. l.], 17 maio 2019. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Empresa_Municipal_de_Transportes_de_Valencia.
- [17] TIPOS de recarga en coches eléctricos. **Endesax**, [S. l.], 15 jul. 2018. Disponible en: <https://www.endesax.com/es/recursos/historias/tipos-carga-coche-electrico>.

ÍNDICE REMISSIVO

A

ADMI 106, 108

Alimentadores 90, 91, 92, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105

Angulação 140, 141, 142, 143, 144, 147, 150, 151

Aprendizagem baseada em projetos 115, 118

Atenuação de riscos 114, 115

B

Balanco energético 20, 90, 91, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Barramento magnético 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192

Bomba centrífuga 33, 35, 41, 46

Borracha sintética 199

C

Circuitos digitais 21

Cliente 106, 108, 110, 112, 113

Controle adaptativo 50

Conversor CA/CC 153, 158

Conversor MAB 184, 187, 188

Correntes de Foucault 153, 155, 162

D

Densidade de ligações cruzadas 198, 199, 200, 201, 202, 204, 205, 206, 209

Descargas atmosféricas 119, 127, 128, 129, 130, 133, 134, 137, 138, 139

Direcionamento 140, 141, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151

E

Economic feasibility 15

Eficiência energética 33, 35, 40, 41, 140, 151

Electronic spreadsheet 15

Energia solar 20, 113, 140, 141, 143, 145, 150, 151, 152

Engenharia elétrica 49, 61, 62, 114, 115, 138, 152, 182, 184, 210

Engine knock 1, 2, 3, 13, 14

F

Filtros probabilísticos 61, 62, 63, 72

Flory-Rehner 199, 201, 202, 204, 205

Freio eletromagnético 153, 154, 156, 158, 159, 161, 165, 166, 181, 182

Fuzzy cognitive maps 50, 51, 58, 59, 60

I

Inversor de frequência 33, 34, 35, 39, 40, 43

L

Localização 61, 62, 63, 64, 68, 69, 70, 71, 72, 132, 143, 144

Logistic regression 1, 2, 3, 4, 14

M

Machine learning 1, 4

Medição de alimentadores 90

Misturador industrial 50

Model based design 1

Mooney-Rivlin 199, 202, 204, 205, 207

N

Núcleos magnéticos 184

O

Operações modulares 21

Ouvidoria 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113

P

Perda de energia 90

Photovoltaic energy 15, 16, 20

Prazos serviços comerciais 106

Processamento digital de sinais 21

Q

Qualidade de energia 90, 91, 92, 167

R

Red de distribución eléctrica 74

Responsabilidade social 115, 116, 118

Robótica 61, 62, 63, 64, 67, 68, 72, 73, 162

S

Satisfação 106, 108, 109, 111, 112, 113

SBR 198, 199, 200, 201, 206, 207, 208

Sistema de distribuição de água 33, 34, 35, 40, 41, 42, 43, 46

Sistemas de proteções contra descargas atmosféricas 128

Smart grid 74, 75, 86, 88

T

Transformador de estado sólido 184

V

Vehículo eléctrico 74, 75, 76, 77, 79, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88

Videoaulas 61, 62, 72

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING


Ano 2022

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING


Ano 2022