

Seminario Nacional CIGRE Colombia

Máquinas Eléctricas Rotativas 2022

Monitoreo de la calidad de potencia generada por los variadores de velocidad en motores de inducción (MI): Estudio de Caso - Vehículos eléctricos

Nombre del ponente : ALEJANDRO PAZ PARRA - FELIPE SANTACRUZ BENAVIDES

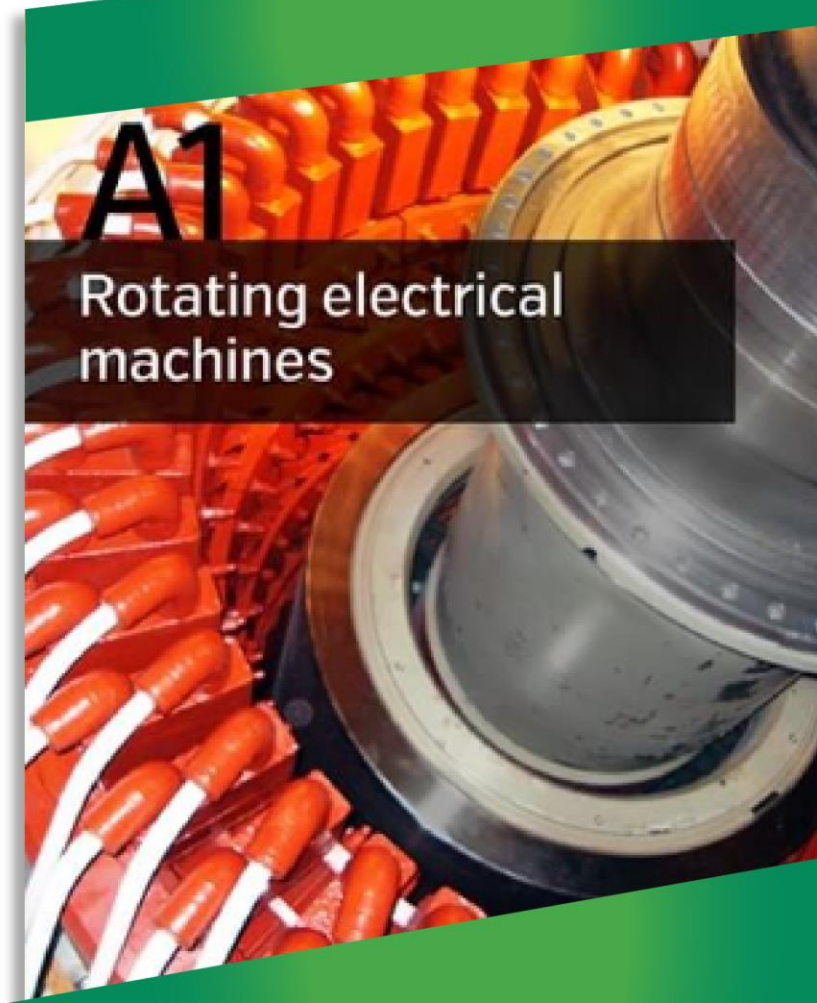
Organización : Universidad Santiago de Cali – Universidad del Valle

Grupo de Trabajo CIGRE : A1.3

Organizan:



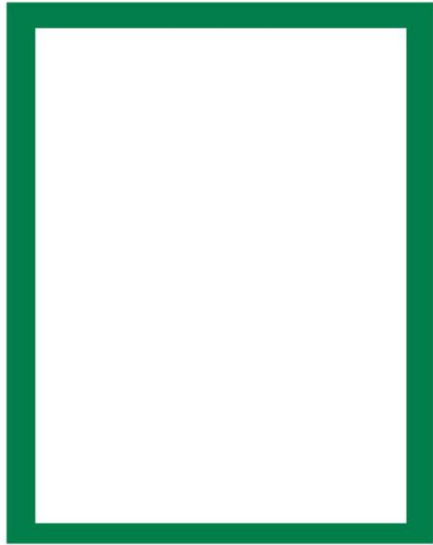
Apoya:



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. TIPOS DE MOTORES USADOS EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
3. TECNOLOGÍAS DE VARIADORES DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE INDUCCIÓN EN VE Y HEV
4. MONITOREO DE CALIDAD DE POTENCIA EN VE Y HEV
5. CONCLUSIONES
6. REFERENCIAS



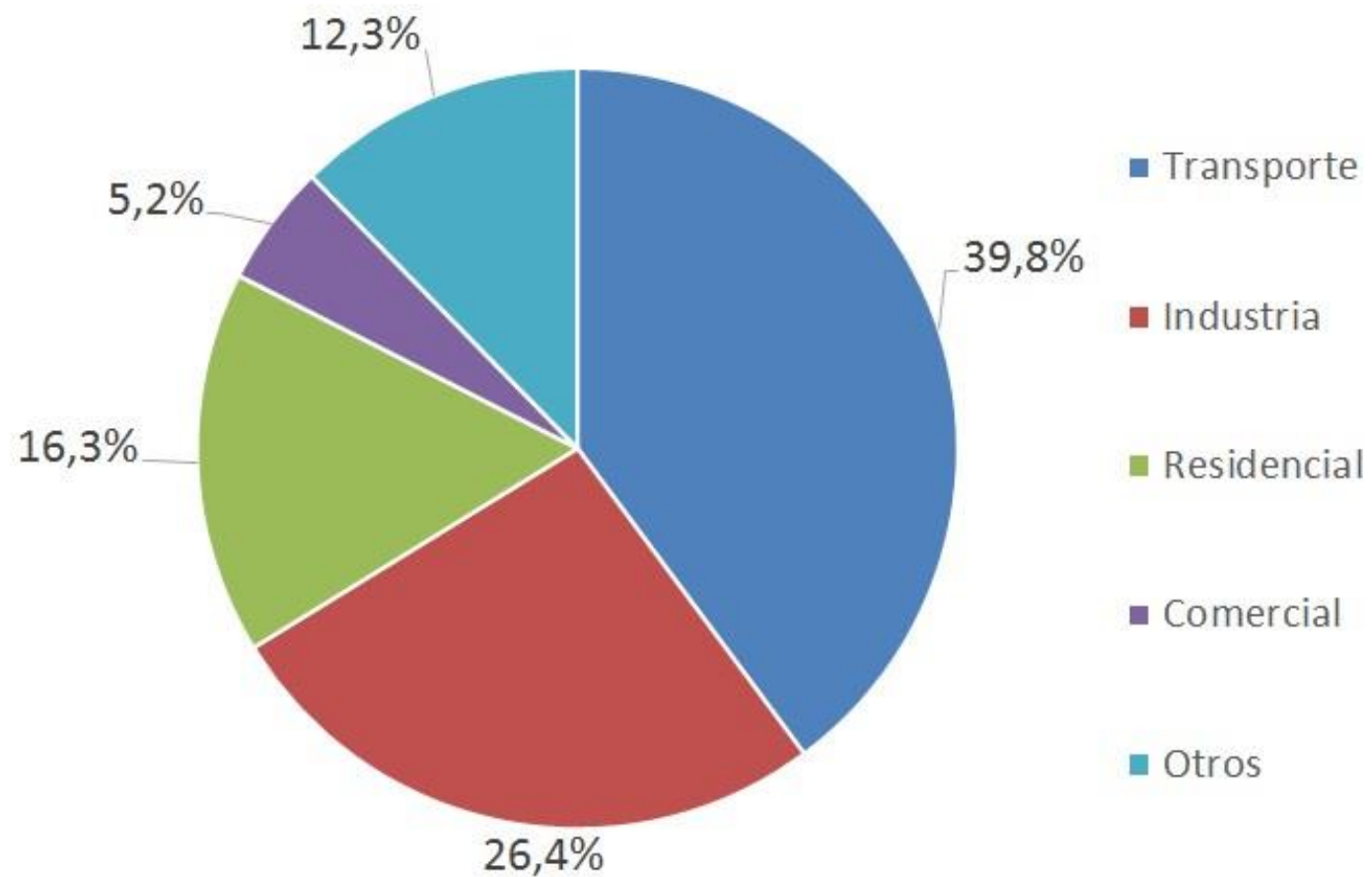


INTRODUCCIÓN



¿Por qué son tan relevantes los motores de inducción?





Fuente: Situación de la demanda de energía en Colombia. DNP 2015

World primary energy consumption by sources - 2019

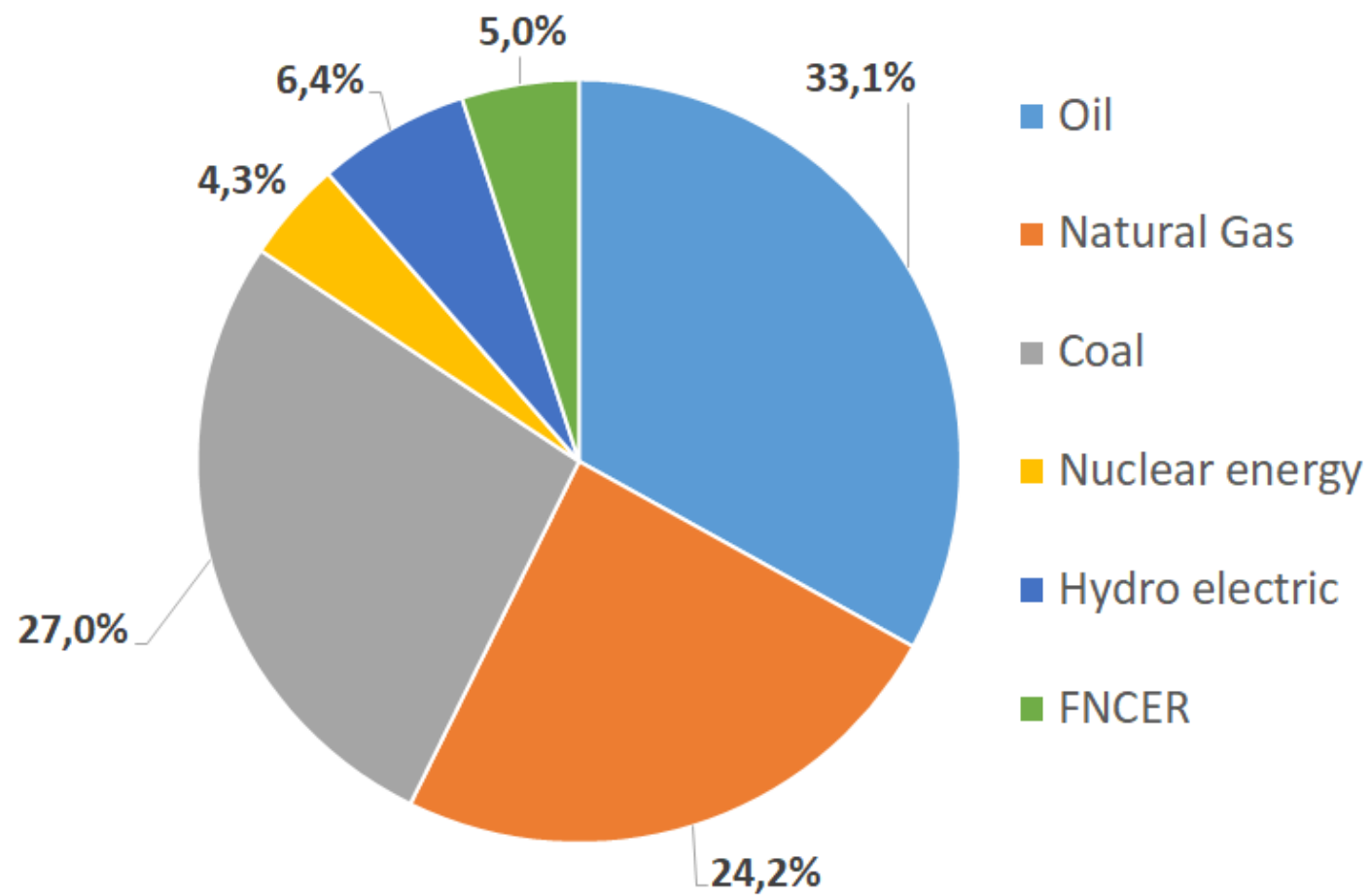
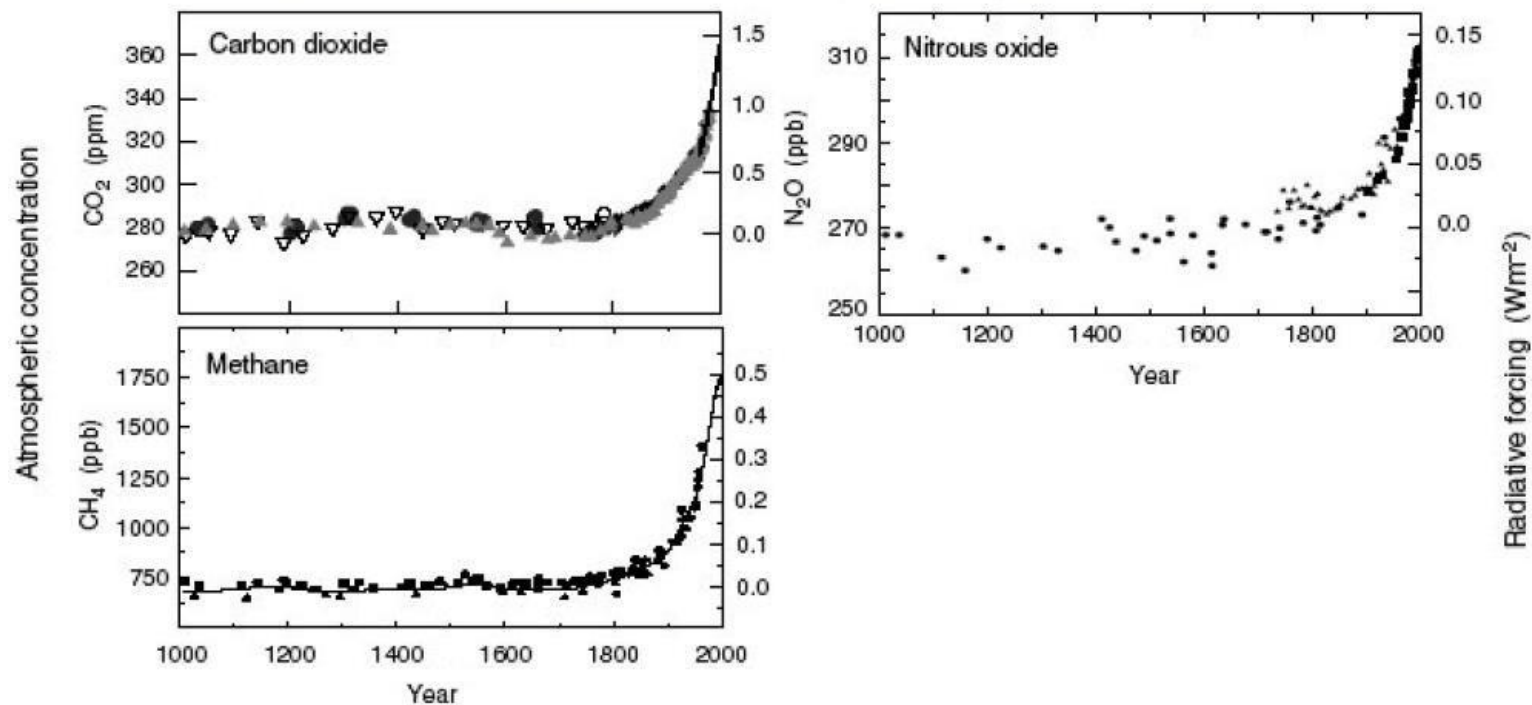


Figura III.1

Concentración y forzamiento radiativo de monóxido de carbono, metano y óxido de nitrógeno

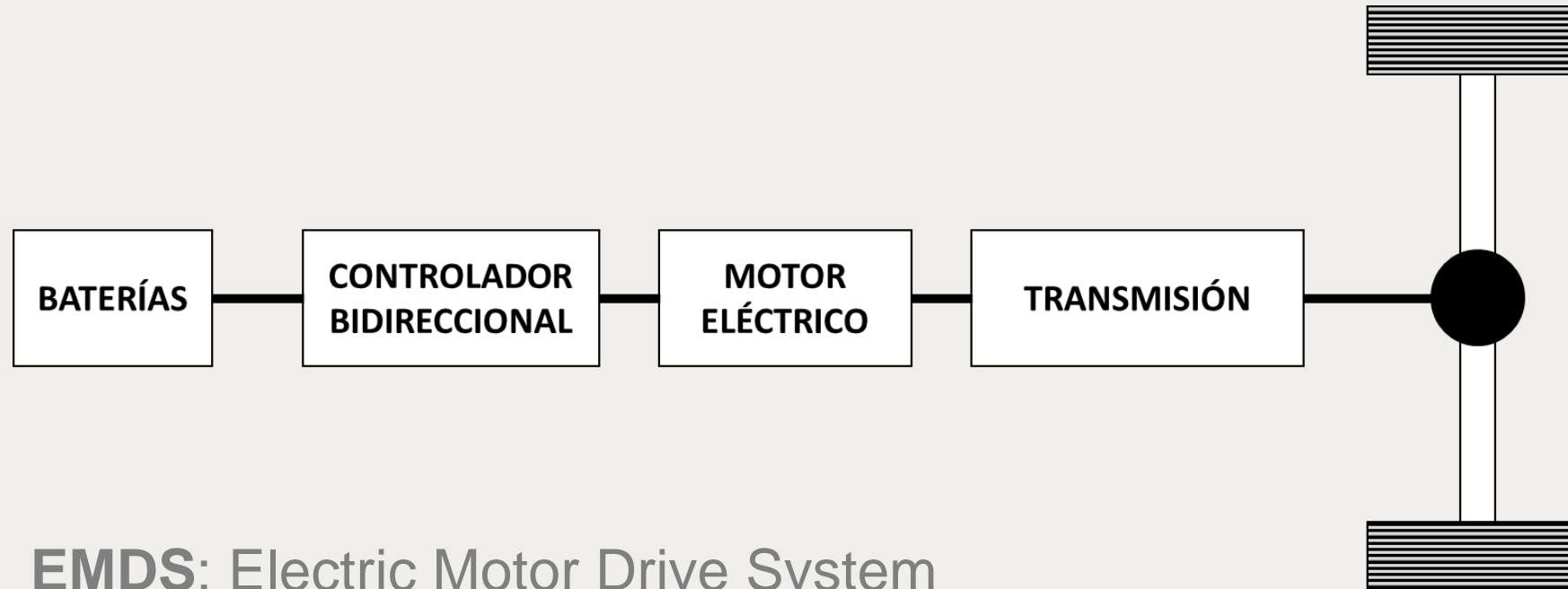


Fuente: «Climate Change 2001: The Scientific Basis». Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Published for IPCC. Cambridge University Press. 2001.

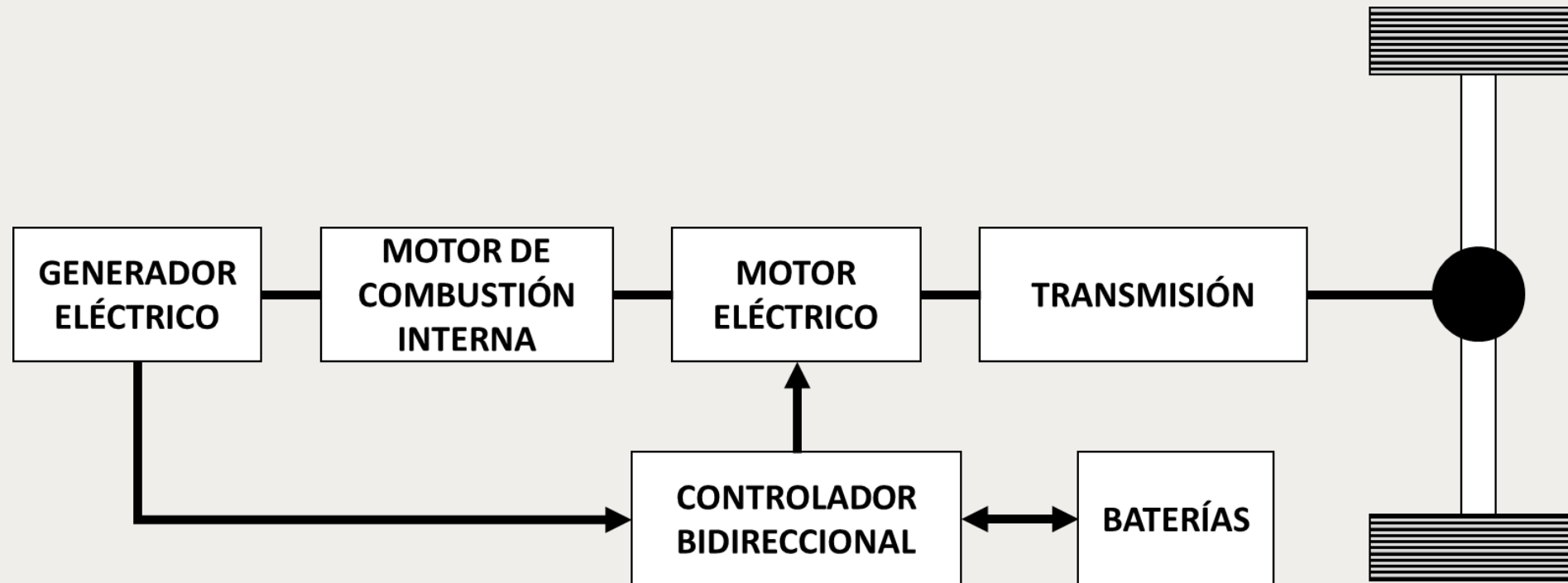
Forzamiento radiativo (Radiative Forcing): Indica el cambio en el balance entre la radiación que llega a la atmósfera y la radiación que sale de ella. Tomado de: Energía: presente y futuro de las diversas tecnologías. Disponible en:

http://www.academia-europea.org/pdf/energia_presente_y_futuro_de_las_diversas_tecnologias.pdf

SISTEMAS EMDS – VEHÍCULO ELÉCTRICO

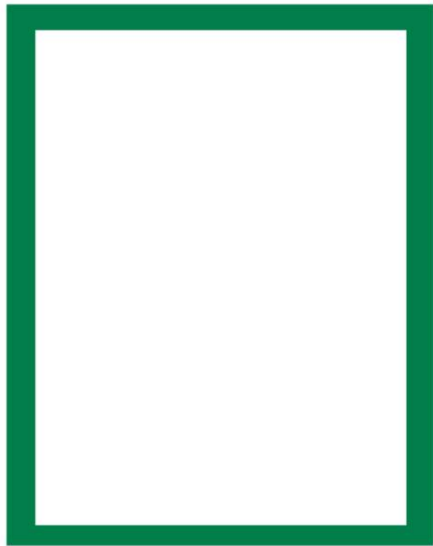


SISTEMAS EMDS – VEHÍCULO HÍBRIDO

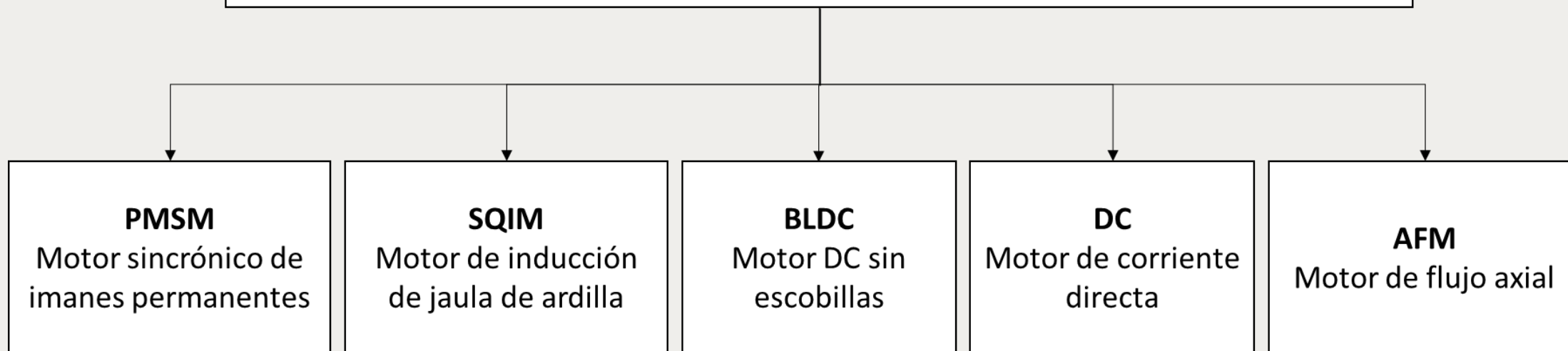


EMDS: Electric Motor Drive System

TIPOS DE MOTORES USADOS EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS



MOTORES PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EV y HEV



C. Suarez y W. Perez, «Revisión bibliográfica y caracterización de motores para vehículos eléctricos - Trabajo de grado UTP,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira - Colombia, 2017.

Tipo de Motor	Fabricante	Modelo
PMSM	BYD	E6
	FORD	FOCUS ELECTRIC
	HYUNDAI	IONIC
	KIA	SOUL EV
	CITROEN	C-ZERO
		E-MEHARI
	CHEVROLET	BOLT
VOLT		
SQIM	CITROEN	BERLINGO ELECTRIC
	MAHINDRA	REVAI
		EBOX 2
	LITTLE	LITTLE 4
PANTER 4		
BLDC	LITTLE	EBOX6
	EVE	M1 ILE
	FARADAY FUTURE	FF91
DC	MERCEDES BENZ	CLASE B ED
	AIXAM	AIXAM MEGA E-CITY
FLUJO AXIAL	AUDI	E-TRON QUATRO
	MERCEDES BENZ	SLS AMG ED
Diseño propio	BMW	I-3

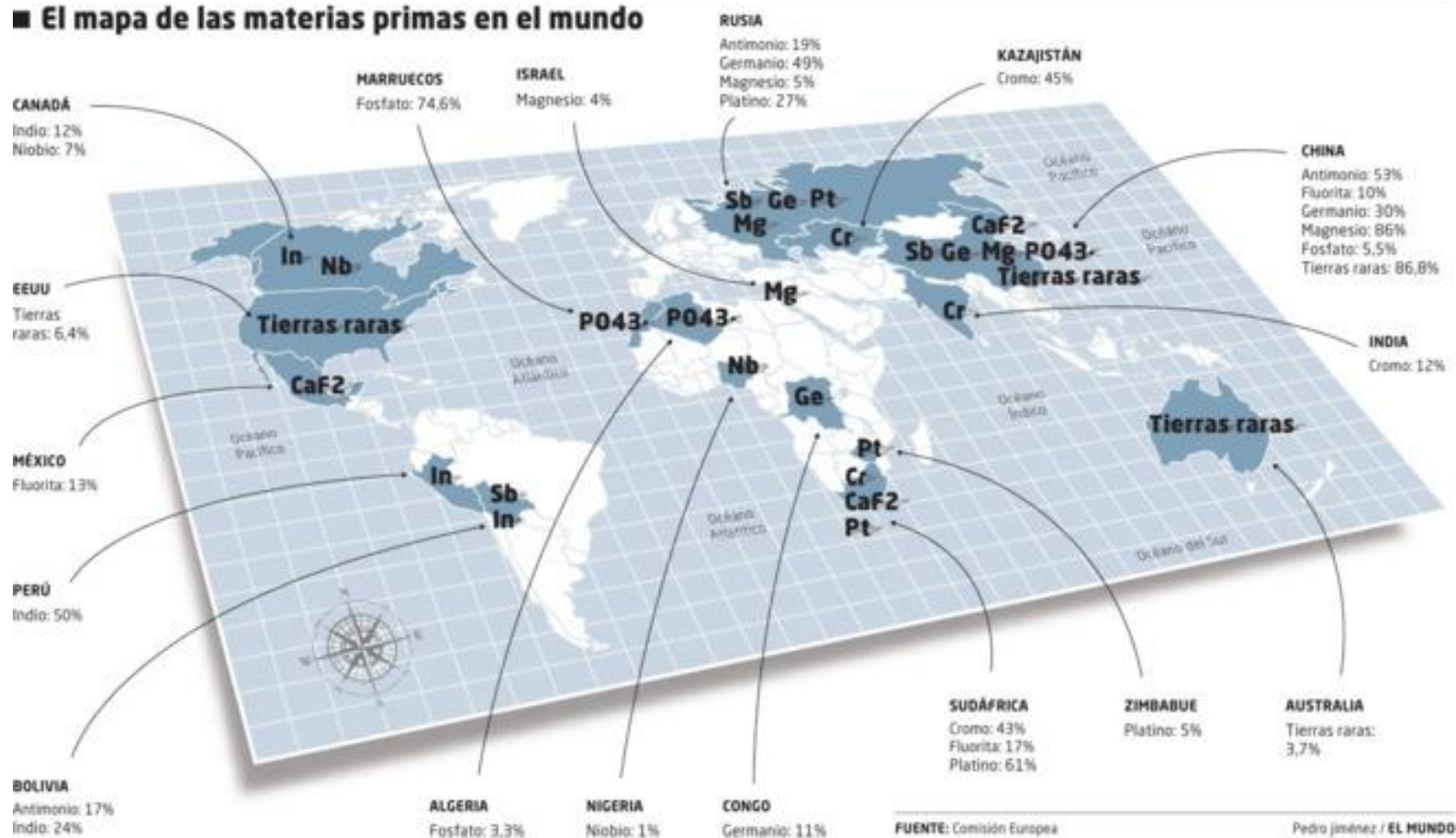
C. Suarez y W. Perez, «Revisión bibliográfica y caracterización de motores para vehículos eléctricos - Trabajo de grado UTP,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira - Colombia, 2017.

Motor	Eficiencia en la zona de par constante	Densidad de potencia
PMSM	91.3% - 95.8%	79.0%-86.0%
IM	3.3kW/L – 10.2kW/L	2.5kW/L

I. López, E. Ibarra, A. Matallana, J. Andreu, I. Kortabarria, “ Next generation electric drives for HEV/EV propulsion systems: Technology, trends and challenges”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 114, 2019.

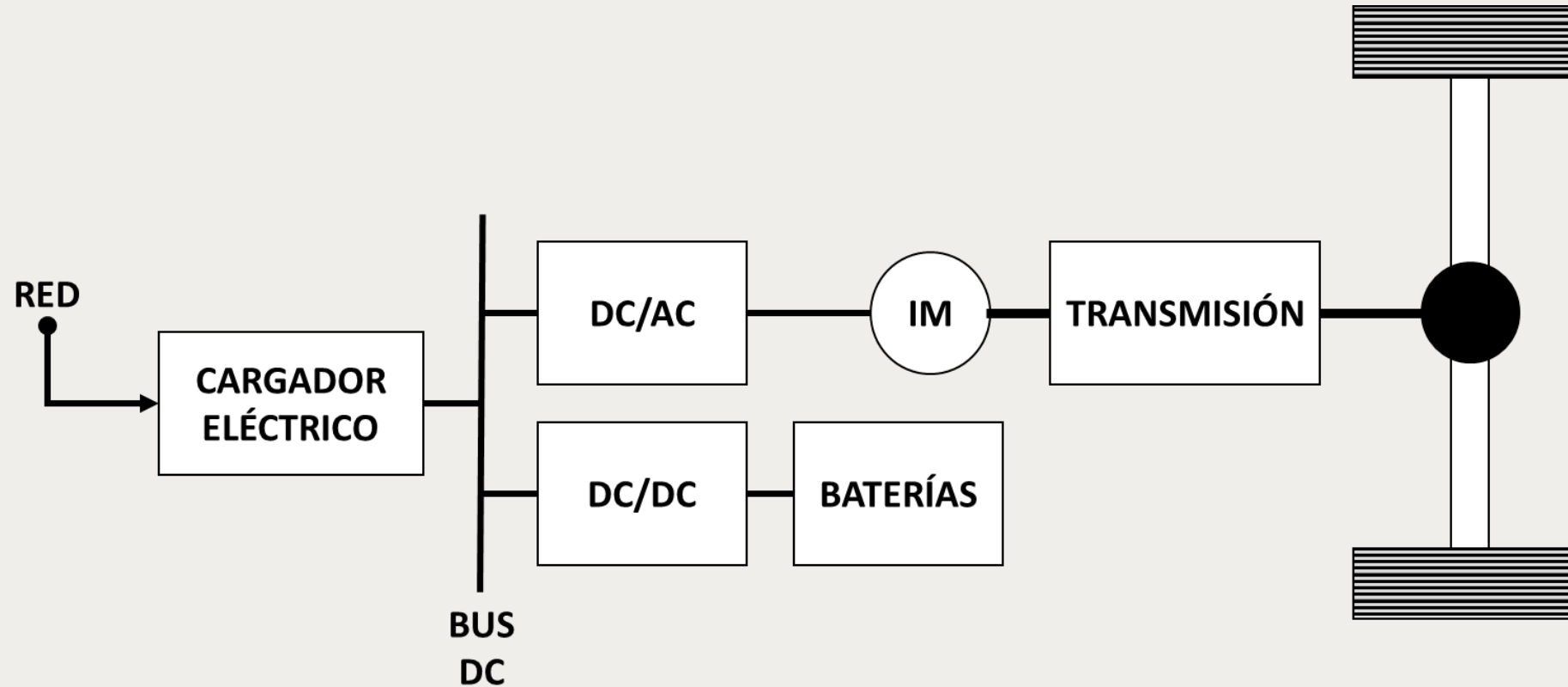
COSTOS Y DISPONIBILIDAD DE MATERIALES

■ El mapa de las materias primas en el mundo

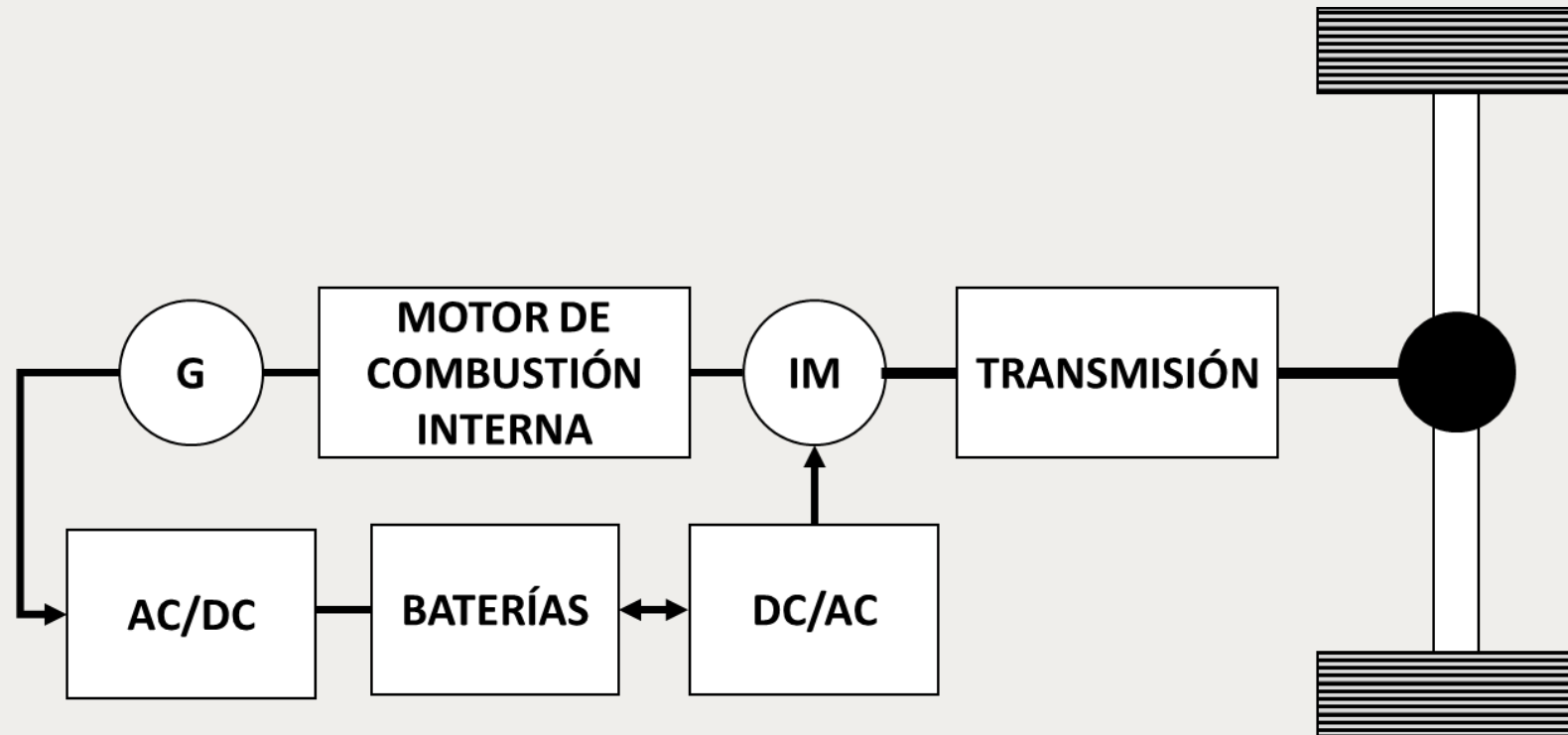


Tomado de: “Del petróleo al coltán, las materias primas que pueden hacer tambalear a la geopolítica mundial”.
Artículo disponible en: <https://www.elmundo.es/economia/2014/06/06/5390b98222601da77a8b4594.html>

MOTORES DE INDUCCIÓN EN EV



MOTORES DE INDUCCIÓN EN HEV



EFICIENCIA

- ALMACENAMIENTO
- CONVERTIDORES DE POTENCIA
- GENERADOR ELÉCTRICO (HEV)
- CARGADOR (EV)
- TRANSMISIÓN Y ACOUPLE

EFICIENCIA

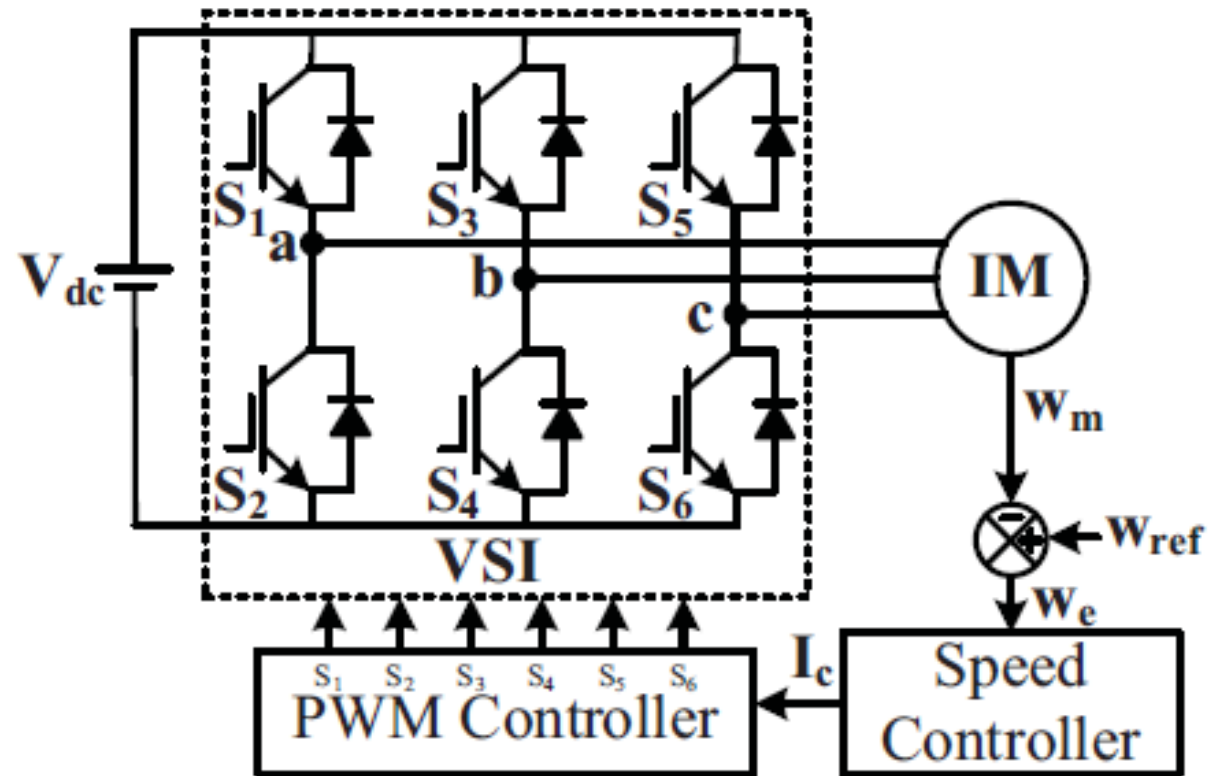
$$\eta_{vehículo} \ll \eta_{motor}$$



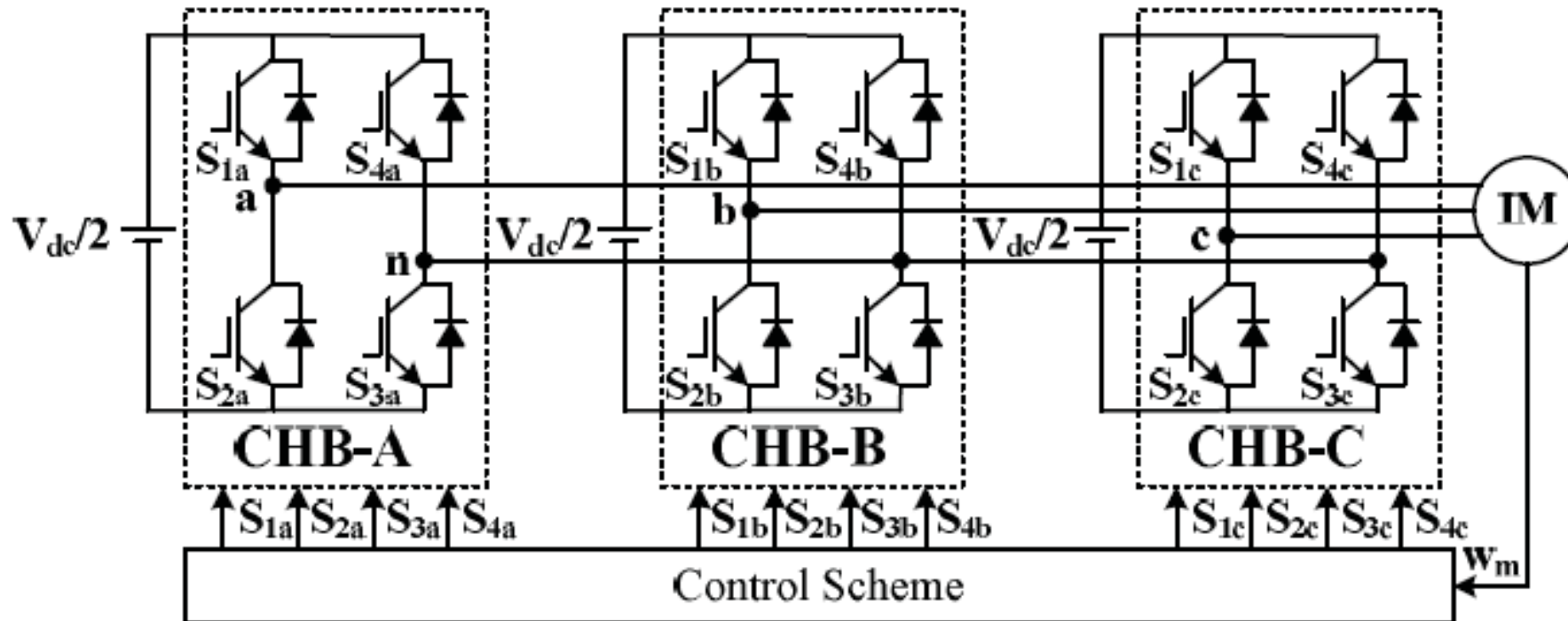
TECNOLOGÍAS DE VARIADORES DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE INDUCCIÓN EN VE Y HEV



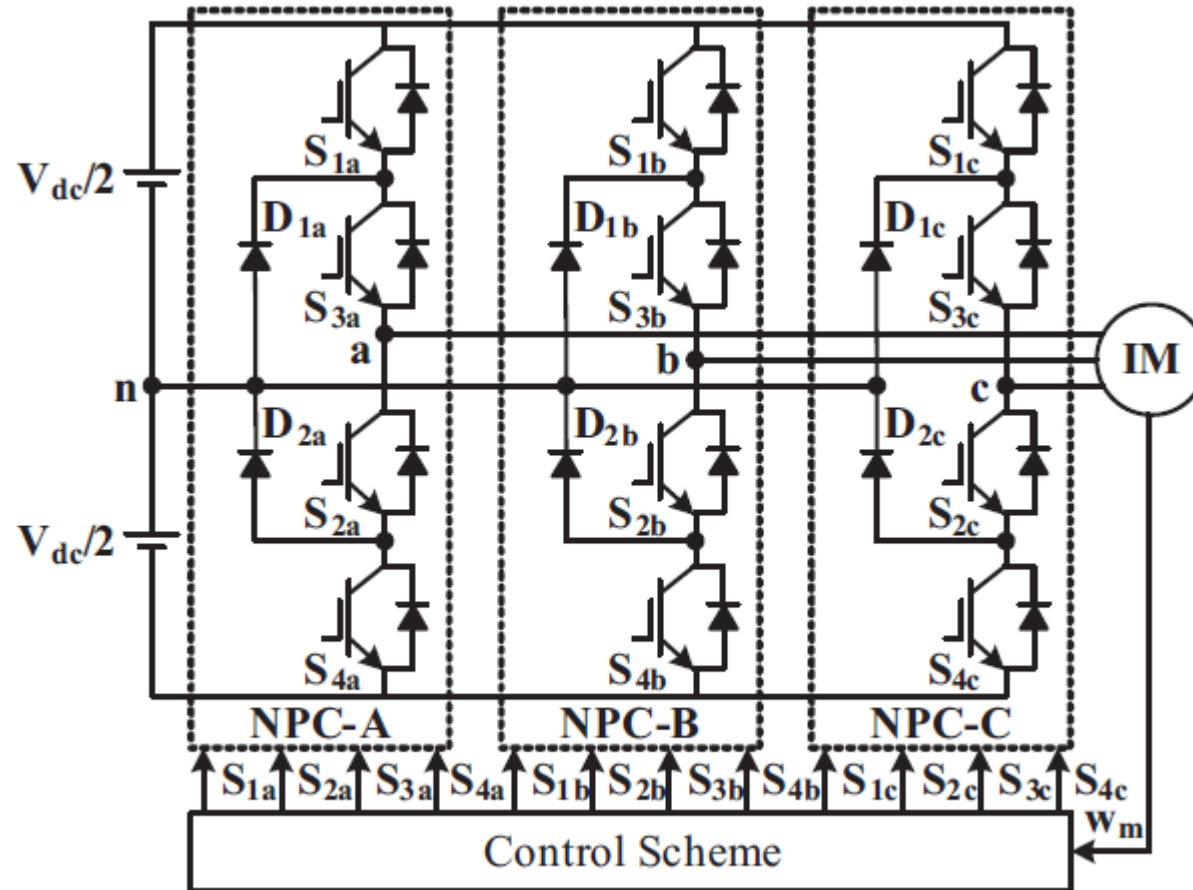
INVERSOR CLÁSICO DE 2 NIVELES SPWM



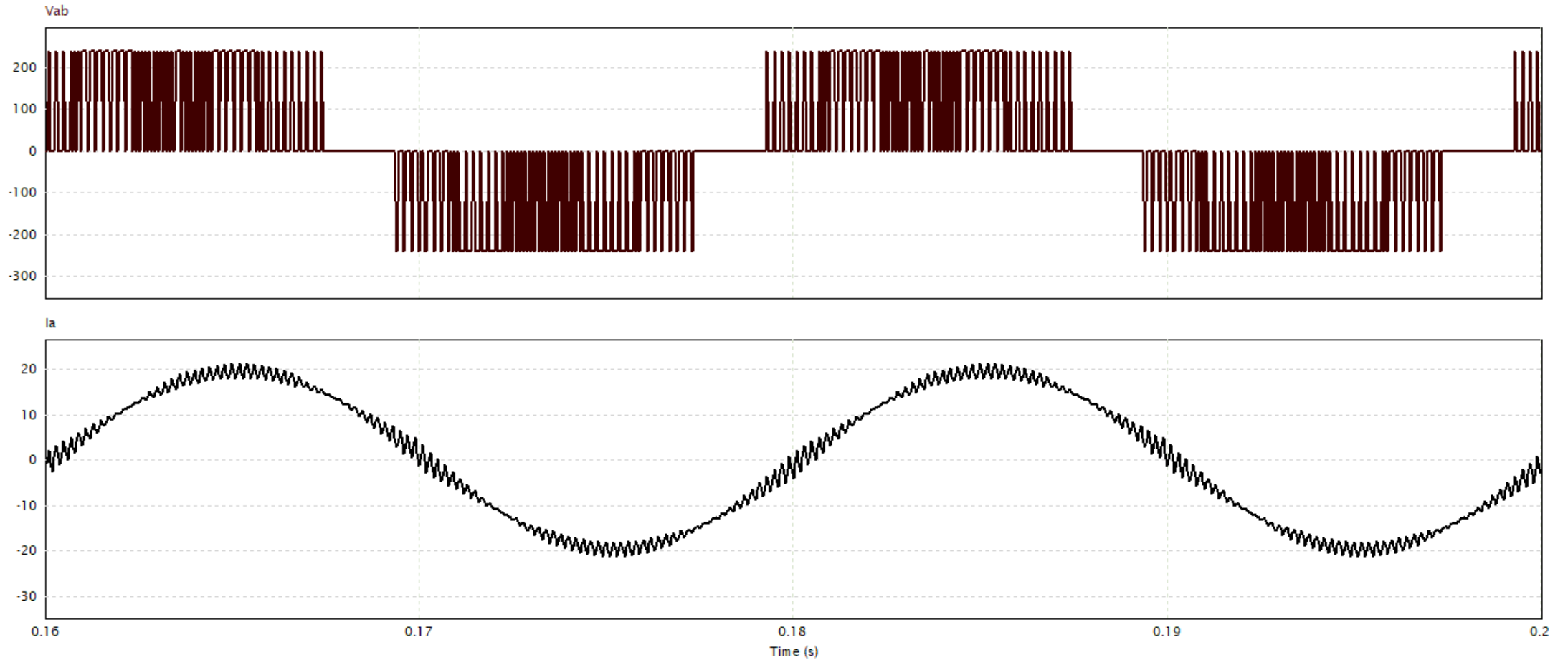
INVERSOR EN CASCADA DE 3 NIVELES SPWM



INVERSOR MULTINIVEL (3 NIVELES) SPWM

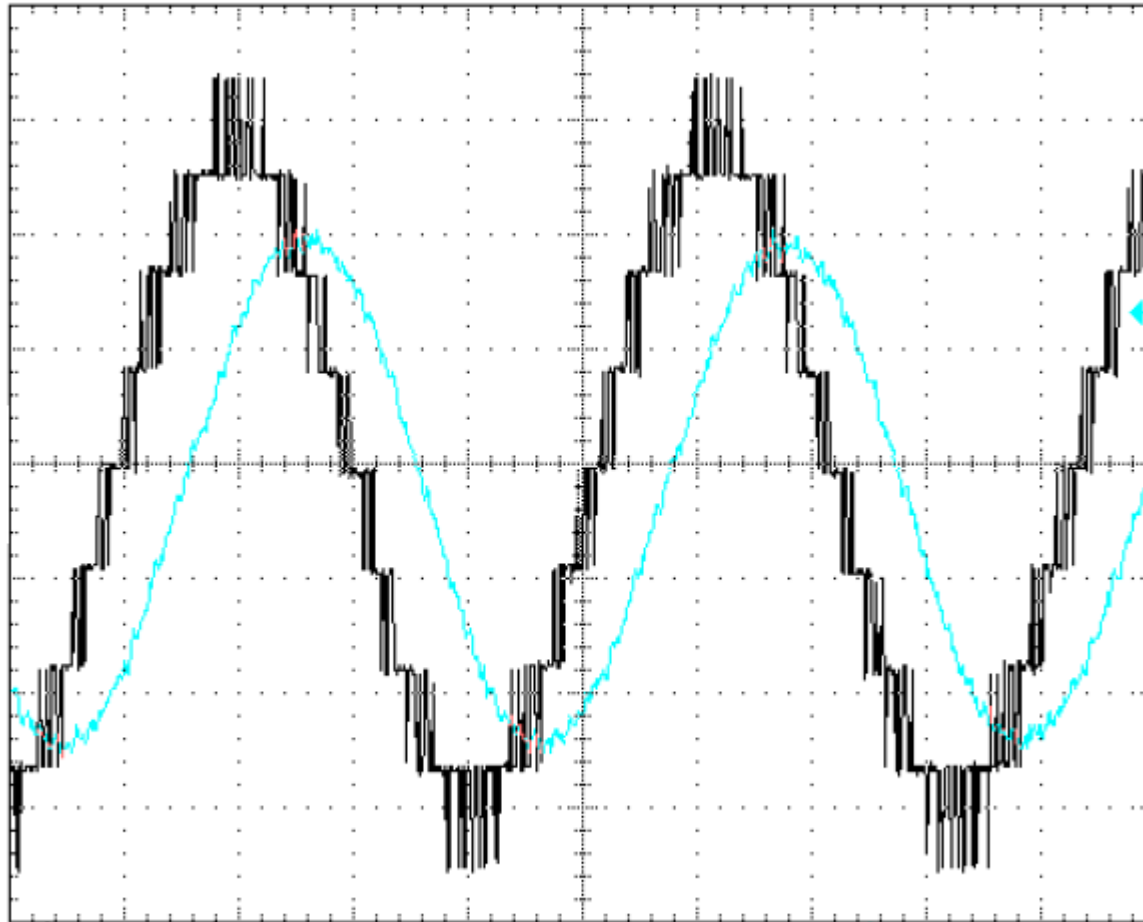


FORMAS DE ONDA



Formas de onda de la tensión de línea y la corriente de fase de un inversor de seis pulsos SPWM

FORMAS DE ONDA



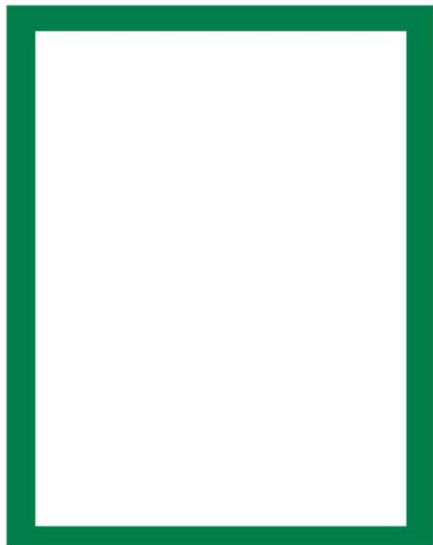
Output Voltage and Current Waveforms

Formas de onda de la tensión de línea y la corriente de fase de un inversor multinivel (4 niveles)

TENDENCIAS

- Nuevos dispositivos de conmutación (IGBTs) para minimizar las pérdidas de conmutación.
- Modificaciones en el devanado de los motores para reducir el impacto de los armónicos.
- Diseño a la medida (IMMDS)
- Mejoramiento en los sistemas de enfriamiento

MONITOREO DE CALIDAD DE POTENCIA EN VE Y HEV



ESTÁNDARES APLICABLES



- "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," in IEEE STD 1159-2019 (Revision of IEEE STD 1159-2009) , vol., no., pp.1-98, 13 Aug. 2019. DOI: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486.
- "IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions - Redline," in IEEE STD 1459-2010 (Revision of IEEE STD 1459-2000) - Redline , vol., no., pp.1-52, 19 March 2010, DOI: 10.1109/IEEESTD.2010.5953405.
- IEC 61000-4-30:2015, Testing and measurement techniques—Power quality measurement methods.

CALIDAD DE POTENCIA

- Armónicos o interarmónicos
- Desbalances de tensión
- Componentes de DC en tensión - corriente

ARMÓNICOS

$$V_H = V_0 + \sqrt{2} \sum_{n \neq 1} V_n \text{Sen}(n\omega_0 t - \alpha_n)$$

$$I_H = I_0 + \sqrt{2} \sum_{n \neq 1} I_n \text{Sen}(n\omega_0 t - \beta_n)$$

$$I^2 = I_1^2 + I_H^2$$

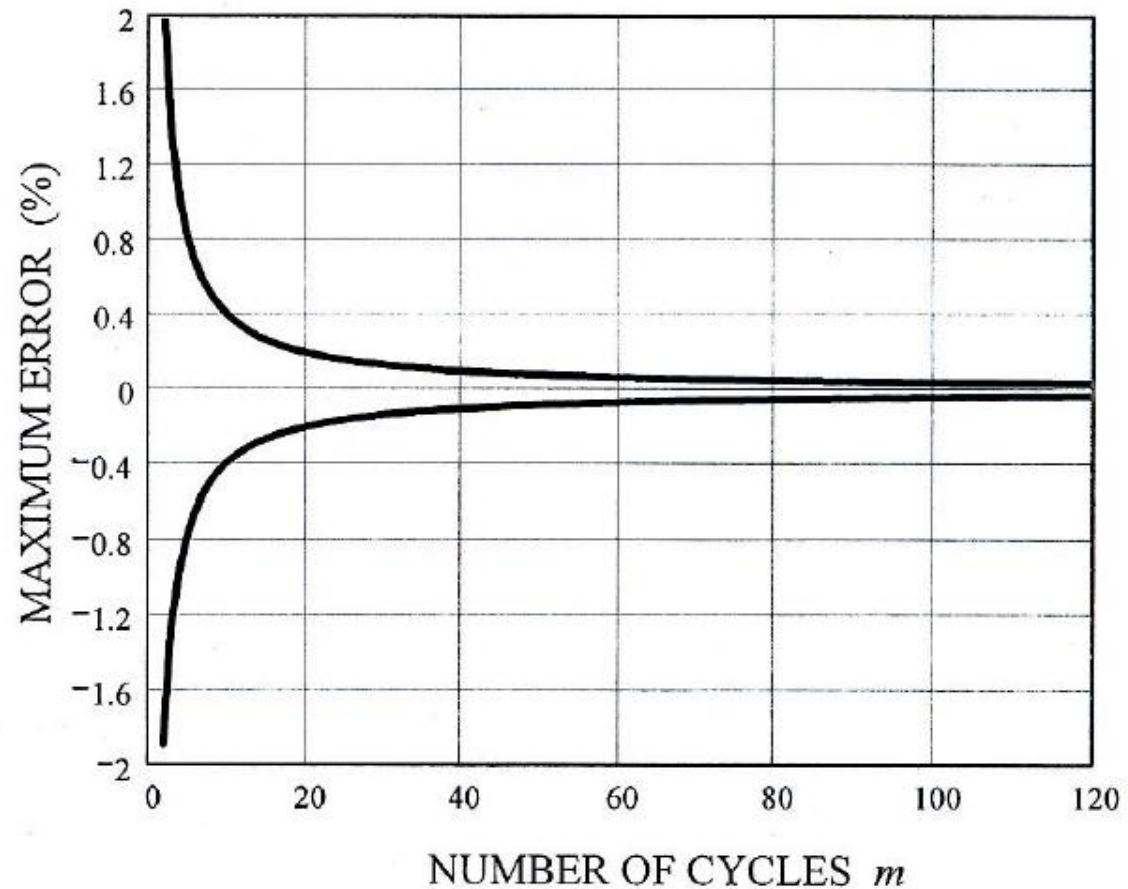
$$V^2 = V_1^2 + V_H^2$$

La pinza de corriente se debe seleccionar con un ancho de banda igual o superior a 20kHz
(STD 1159 – 2019 IEEE)

ARMÓNICOS

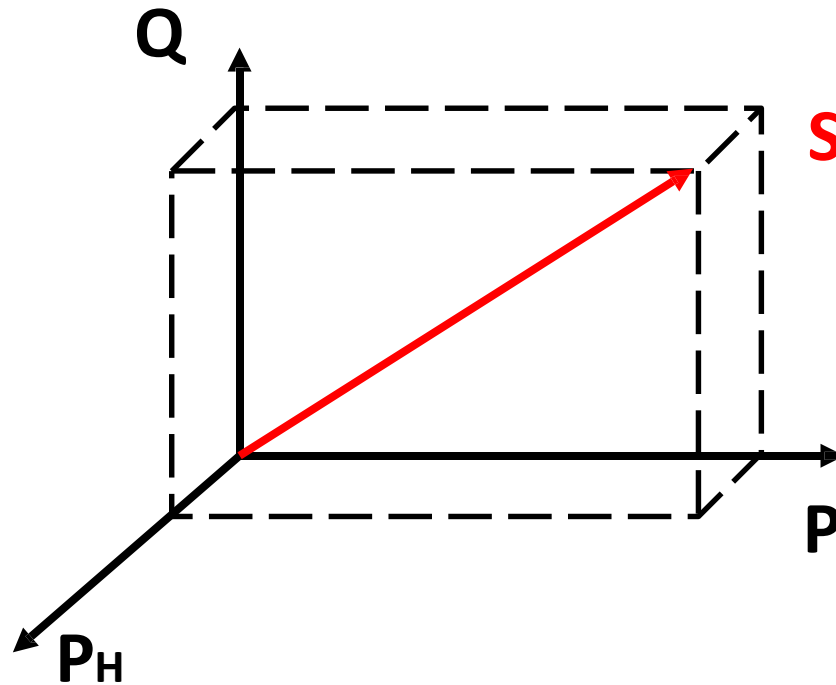
$$THD_V = \frac{V_H}{V_1} \times 100\%$$

$$THD_I = \frac{I_H}{I_1} \times 100\%$$



Se deben usar al menos 20 ciclos para el cálculo de la DFT para minimizar el error en el cálculo de armónicos subsíncronos (STD 1459 – 2010 IEEE)

ARMÓNICOS



$$PF_1 = \cos(\varphi_1)$$

$$PF_r = \frac{PF_1}{\sqrt{1 + THD_I^2}}$$

FACTOR DE POTENCIA REAL (STD 1459 – 2010 IEEE)

DESBALANCES DE TENSIÓN

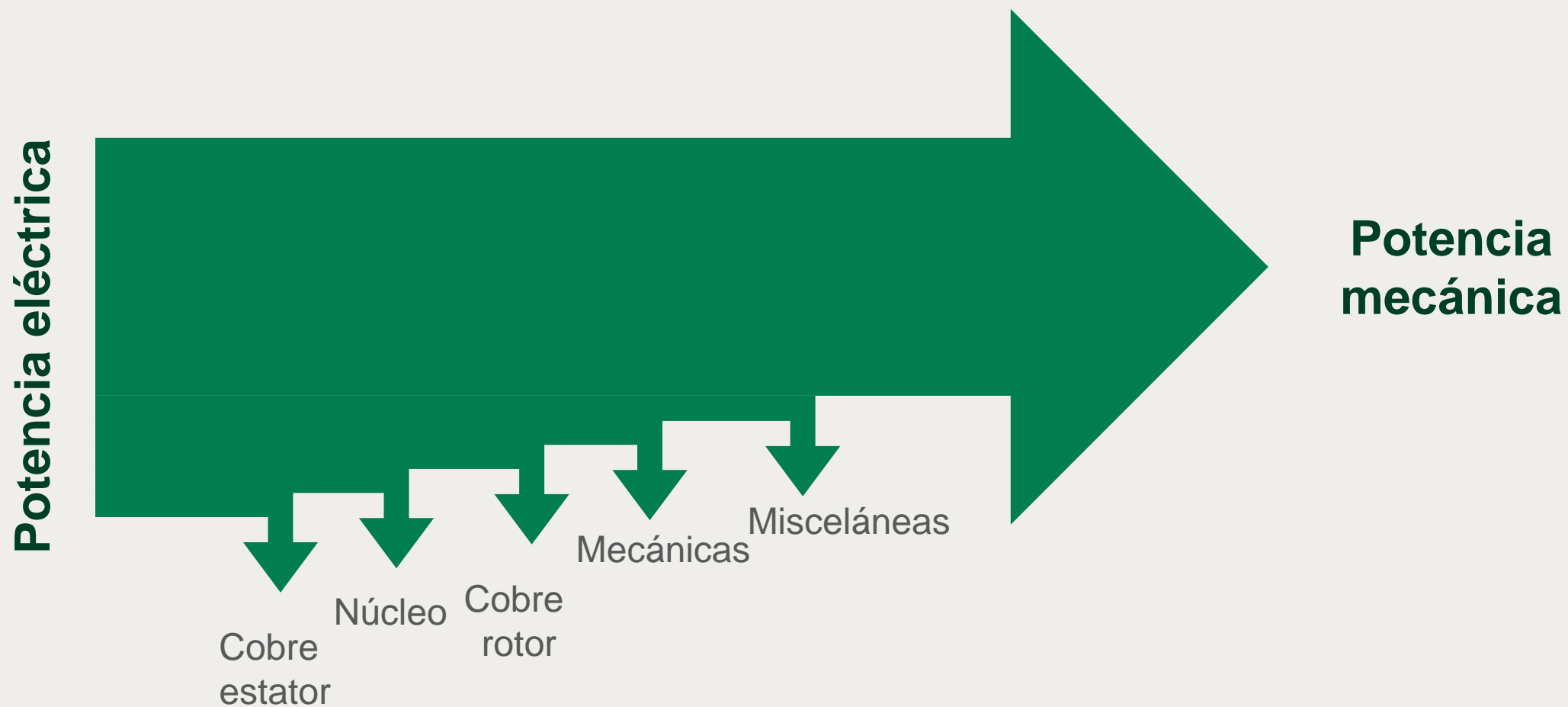
$$\%D = \frac{|U_n|}{|U_p|} \times 100\% \qquad \%D = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \times 100\%$$

$$\beta = \frac{|V_{AB}|^4 + |V_{BC}|^4 + |V_{CA}|^4}{(|V_{AB}|^2 + |V_{BC}|^2 + |V_{CA}|^2)^2}$$

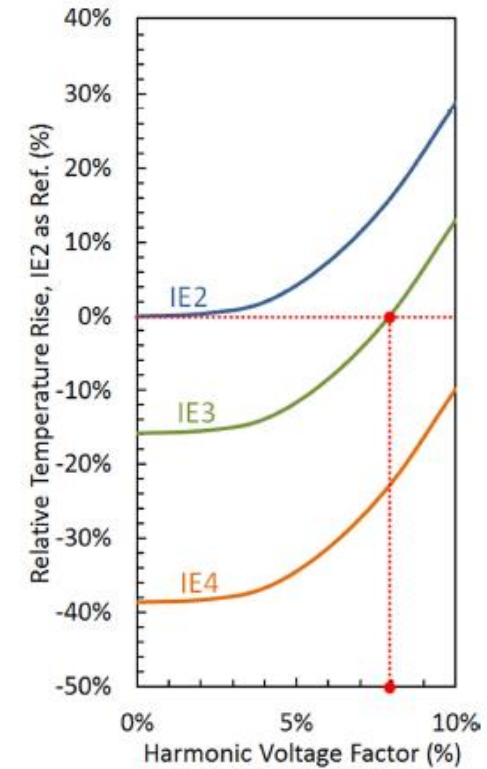
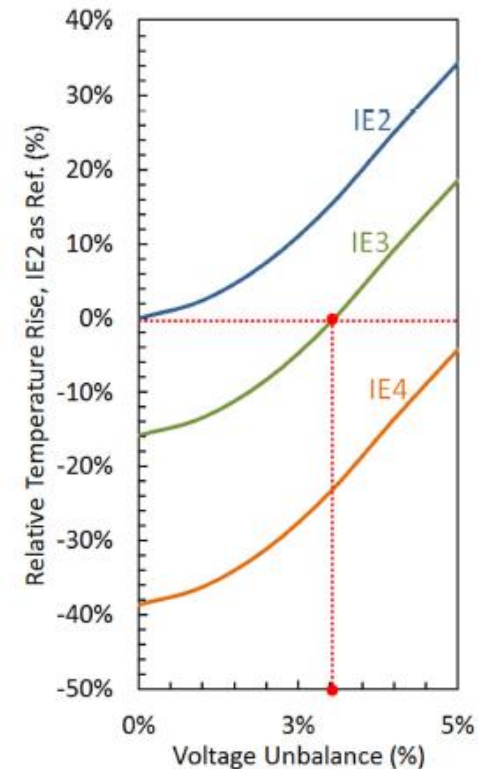
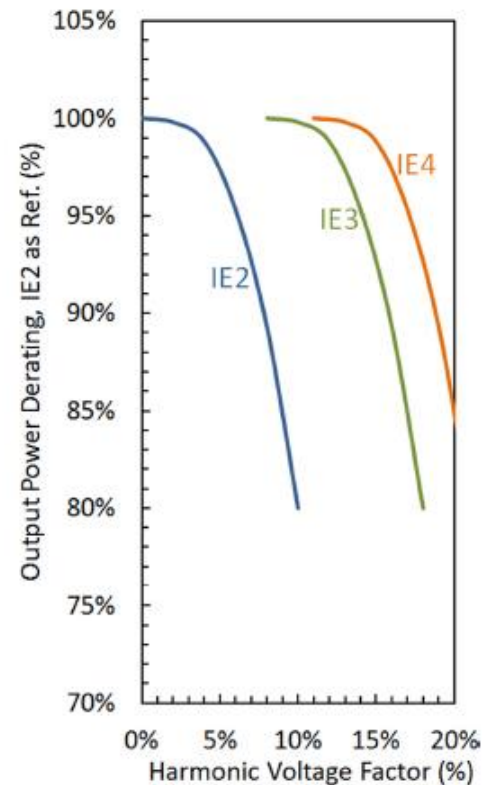
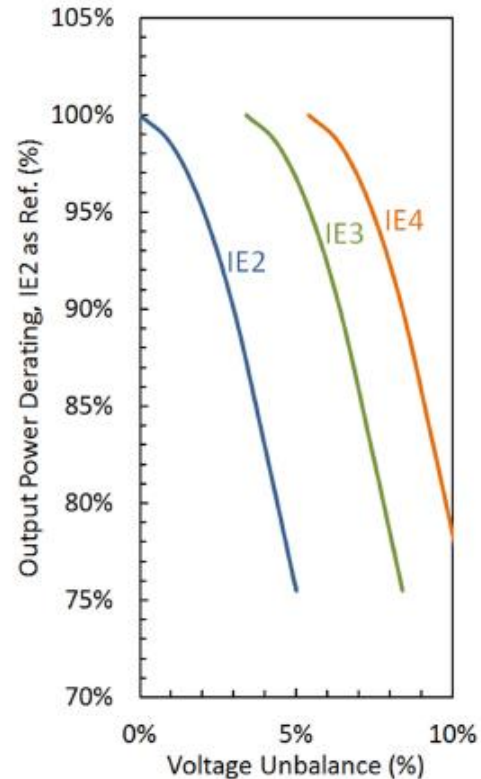
Máximo recomendado 5%

(STD 1159 – 2019 IEEE)

PÉRDIDAS



EFECTOS SOBRE EL DESEMPEÑO



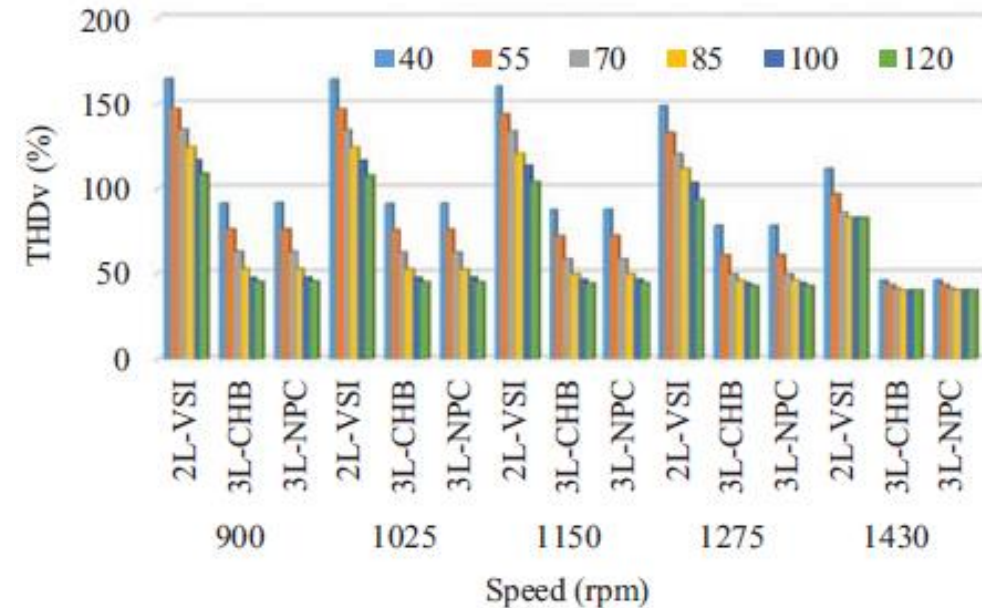
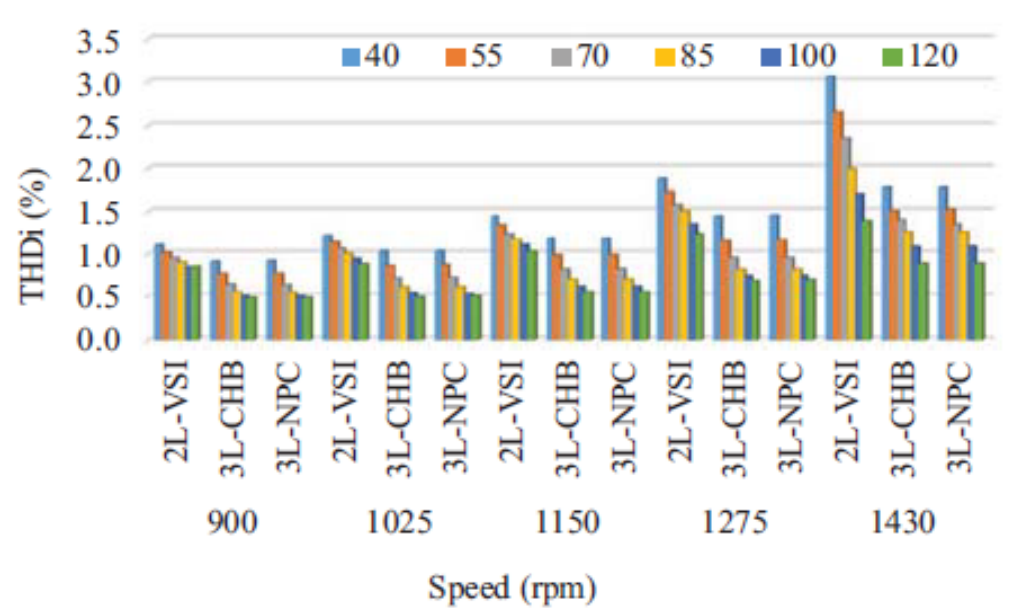
F. J. T. E. Ferreira, G. Baoming and A. T. de Almeida, "Reliability and Operation of High-Efficiency Induction Motors". in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 52, no. 6, pp. 4628-4637, Nov.-Dec. 2016, DOI: 10.1109/TIA.2016.2600677.

EFECTOS SOBRE EL DESEMPEÑO

Características del motor	
Potencia	4kW
Velocidad	1430RPM
Frecuencia	50Hz
VAC	400RMS
VDC	566V

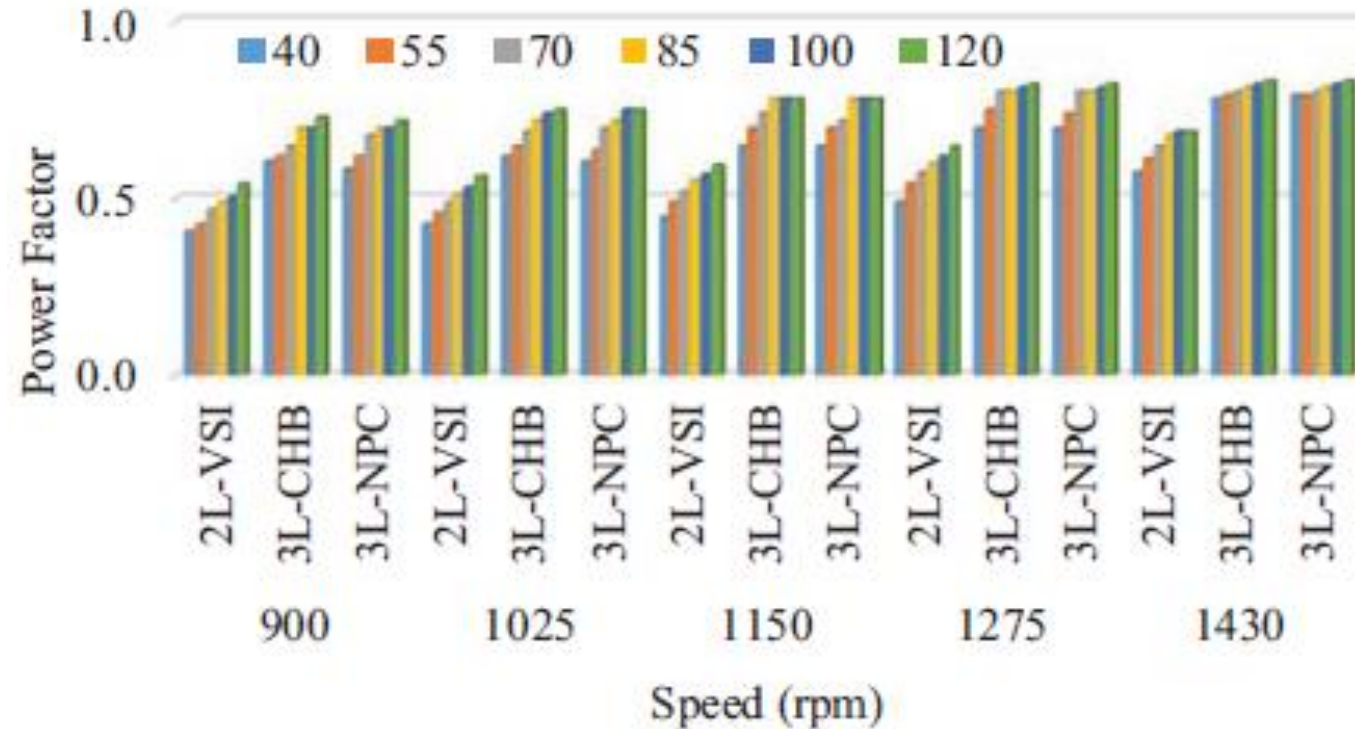
P. S. Jamwal, S. Singh and S. Jain, "Three-Level Inverters for Induction Motor Driven Electric Vehicles," 2020 3rd International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Clean Energy Technologies, 2021, pp. 1-6.
DOI: 10.1109/ICEPE50861.2021.9404444.

EFECTOS SOBRE EL DESEMPEÑO



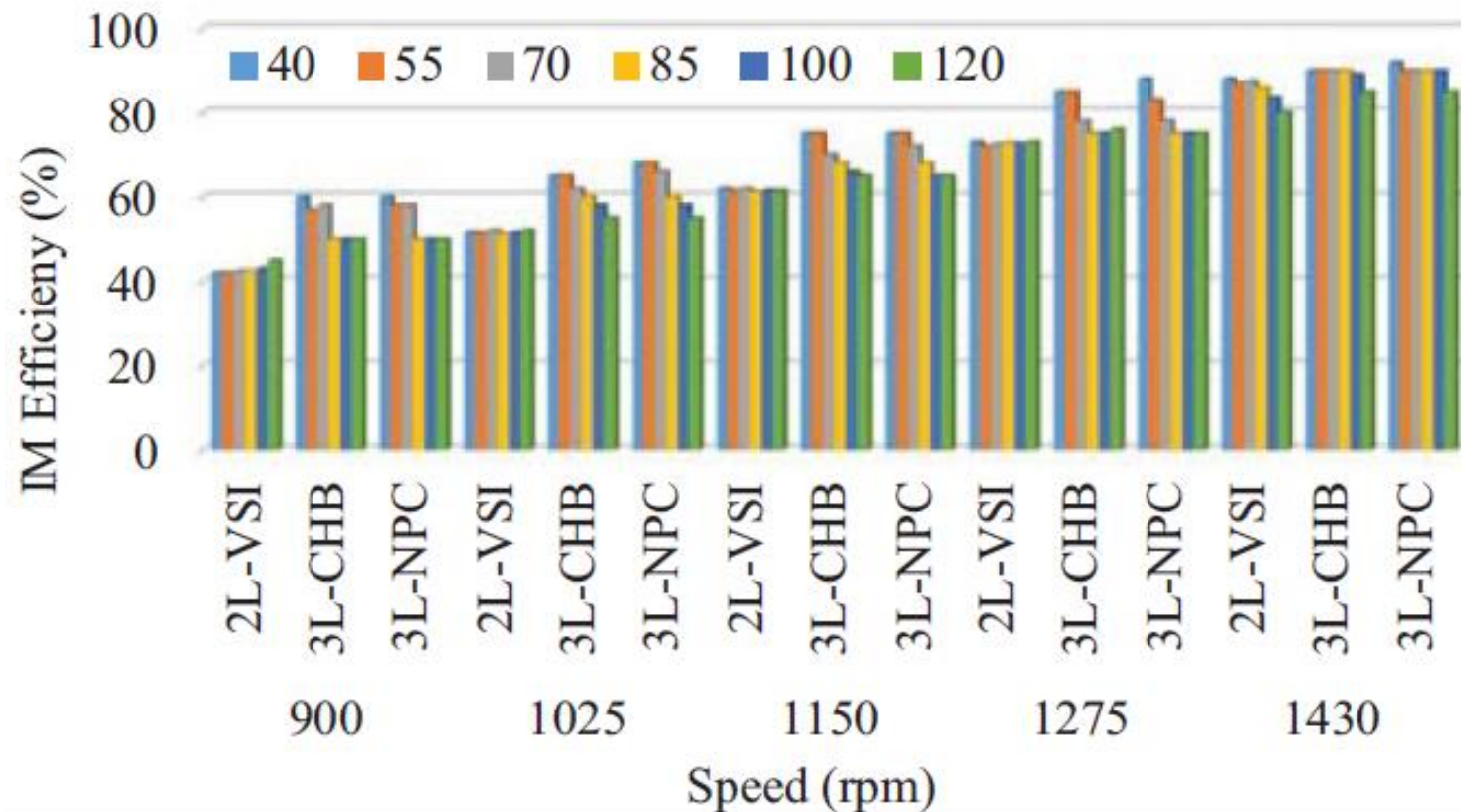
P. S. Jamwal, S. Singh and S. Jain, "Three-Level Inverters for Induction Motor Driven Electric Vehicles," 2020 3rd International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Clean Energy Technologies, 2021, pp. 1-6.
DOI: 10.1109/ICEPE50861.2021.9404444.

EFECTOS SOBRE EL DESEMPEÑO



P. S. Jamwal, S. Singh and S. Jain, "Three-Level Inverters for Induction Motor Driven Electric Vehicles," 2020 3rd International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Clean Energy Technologies, 2021, pp. 1-6.
DOI: 10.1109/ICEPE50861.2021.9404444.

EFECTOS SOBRE EL DESEMPEÑO



P. S. Jamwal, S. Singh and S. Jain, "Three-Level Inverters for Induction Motor Driven Electric Vehicles," 2020 3rd International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Clean Energy Technologies, 2021, pp. 1-6.
 DOI: 10.1109/ICEPE50861.2021.9404444.

CONCLUSIONES

- La calidad de potencia entregada por el variador de velocidad puede afectar de forma significativa el desempeño del motor del EV – HEV
- El monitoreo de calidad de potencia debe hacerse de acuerdo con los estándares internacionales recomendados
- La mayoría de los analizadores de red comerciales integran el STD 1459 – 2010 de la IEE pero es importante verificar.
- El grado de afectación cambia de un motor a otro dependiendo del tipo de eficiencia y de la clase de motor, por lo que se recomienda hacer un análisis detallado en cada caso.
- Los motores de inducción representan una buena alternativa para los sistemas de movilidad eléctrica o híbrida ante la posibilidad de fallas en la cadena de suministro o disponibilidad de materias primas para los imanes de los PMSM.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Collazos Ortiz, C. L. Esquivel García y A. Paz Parra, «De los hidrocarburos a las energías renovables en Colombia,» *Cultura Latinoamericana*, vol. 29, nº 1, pp. 139-162, 2019.
- V. Sousa Santos, J. J. Cabello Eras, A. Sagastume Gutierrez y M. J. Cabello Ulloa, «Assessment of the energy efficiency estimation methods on induction motors considering real-time monitoring,» *Measurement*, vol. 136, nº 1, pp. 237-247, 2019.
- A. Paz Parra, M. V. Valencia y C. A. Lozano Espinoza, «Comparative Study on Standardized Tests to Determine Energy Efficiency in Three-Phase Induction Motors Operating at Partial Load,» de *Proceedings of the Future Technologies Conference*, Vancouver, CAN, Springer, Cham, 2018, pp. 896-903.
- A. M. Lulhe y T. N. Oate, «A Technology Review Paper for Drives used in Electrical Vehicle (EV) & Hybrid Electrical Vehicles (HEV),» de *2015 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, Noorul, IN, 2015.
- P. Gnacinski y T. Tarasiuk, «Energy-efficient operation of induction motors and power quality standards,» *Electric Power Systems Research*, vol. 135, nº 1, pp. 10-17, 2016.
- C. Suarez y W. Perez, «Revisión bibliográfica y caracterización de motores para vehículos eléctricos - Trabajo de grado UTP,» *Universidad Tecnológica de Pereira*, Pereira - Colombia, 2017.
- M. Eberhard, «How Electric Vehicles Must Change the Way the Auto Industry Thinks,» de *Plenary Session Presentation - IEEE ECCE conference*, San José - Costa Rica, 2009.

BIBLIOGRAFÍA

- D. G. Dorrell, M. Popescu, L. Evans, D. A. Staton y A. M. Knight, «Comparison of permanent magnet drive motor with a cage induction motor design for a hybrid electric vehicle,» de 2010 International Power Electronics Conference - ECCE Asia, 2010.
- G. Pellegrino, . A. Vagati, B. Boazzo y P. Guglielmi, «Comparison of induction and PM synchronous motor drives for EV application including design examples,» IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 48, nº 6, pp. 2322 - 2332, 2012.
- P. S. Jamwal, S. Singh and S. Jain, "Three-Level Inverters for Induction Motor Driven Electric Vehicles," 2020 3rd International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Clean Energy Technologies, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICEPE50861.2021.9404444.
- J. Liu, W. Su, X. Tai, W. Sun, L. Gu and X. Wen, "Development of an inverter using hybrid SIC power module for EV/HEV applications," 2016 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2016, pp. 1-5.
- N. Jin, H. Gao, X. Wang and J. Liu, "Design of switching power converter of PMSM power driver for Hybrid Electric Vehicle," 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2010, pp. 1-4, doi: 10.1109/VPPC.2010.5729121.
- B. Şarlioğlu, "Automotive Power Electronics: Current Status and Future Trends," 2019 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP) & 2019 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2019, pp. 1-2, doi: 10.1109/ACEMP-OPTIM44294.2019.9007120

Información personal

- ALEJANDRO PAZ PARRA
- E-mail: alejandro.paz00@usc.edu.co
- Teléfono: 3166414208 (WhatsApp)
- Empresa: Universidad Santiago de Cali
- FELIPE SANTACRUZ BENAVIDES
- E-mail: felipe.santacruz@correounivalle.edu.co
- Teléfono: 3137889527 (WhatsApp)
- Empresa: Universidad del Valle

Organizan:



Apoya:

