

Seminario Nacional CIGRE Colombia

Máquinas Eléctricas Rotativas 2022

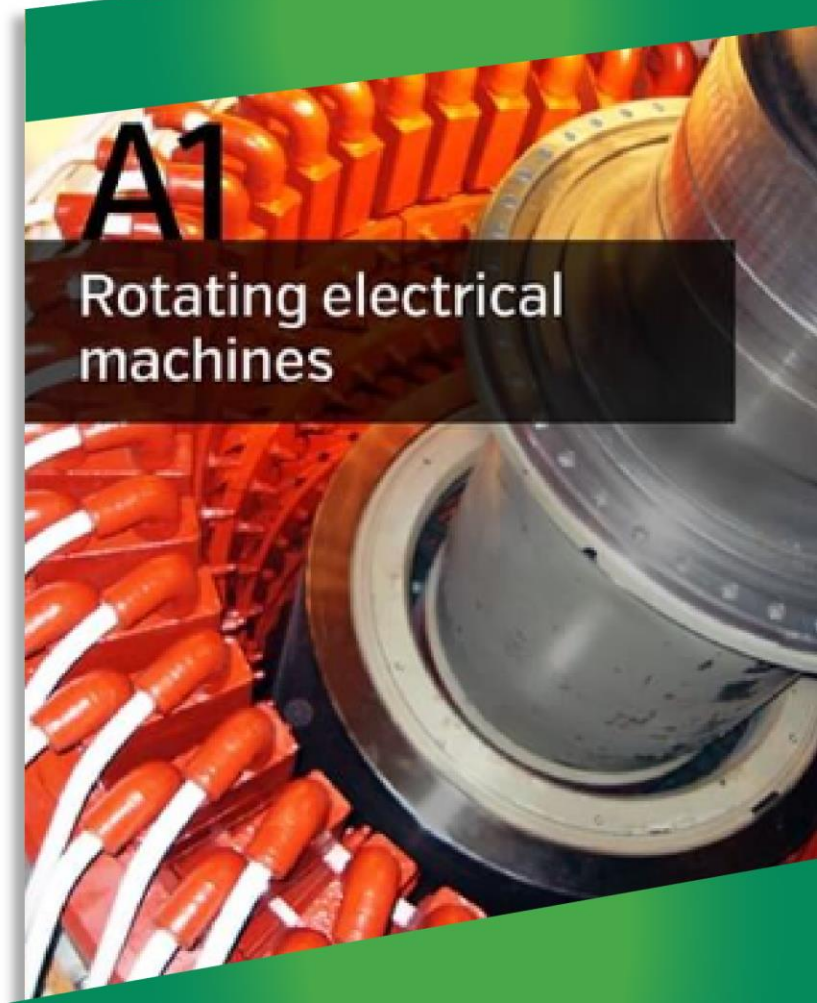
Impacto de la Calidad de la Energía en Motores Eléctricos de Alta Eficiencia

Dr. Vladimir Sousa Santos
Universidad de la Costa
Grupo de Trabajo WGA1.1
CIGRE- SC A1

Organizan:



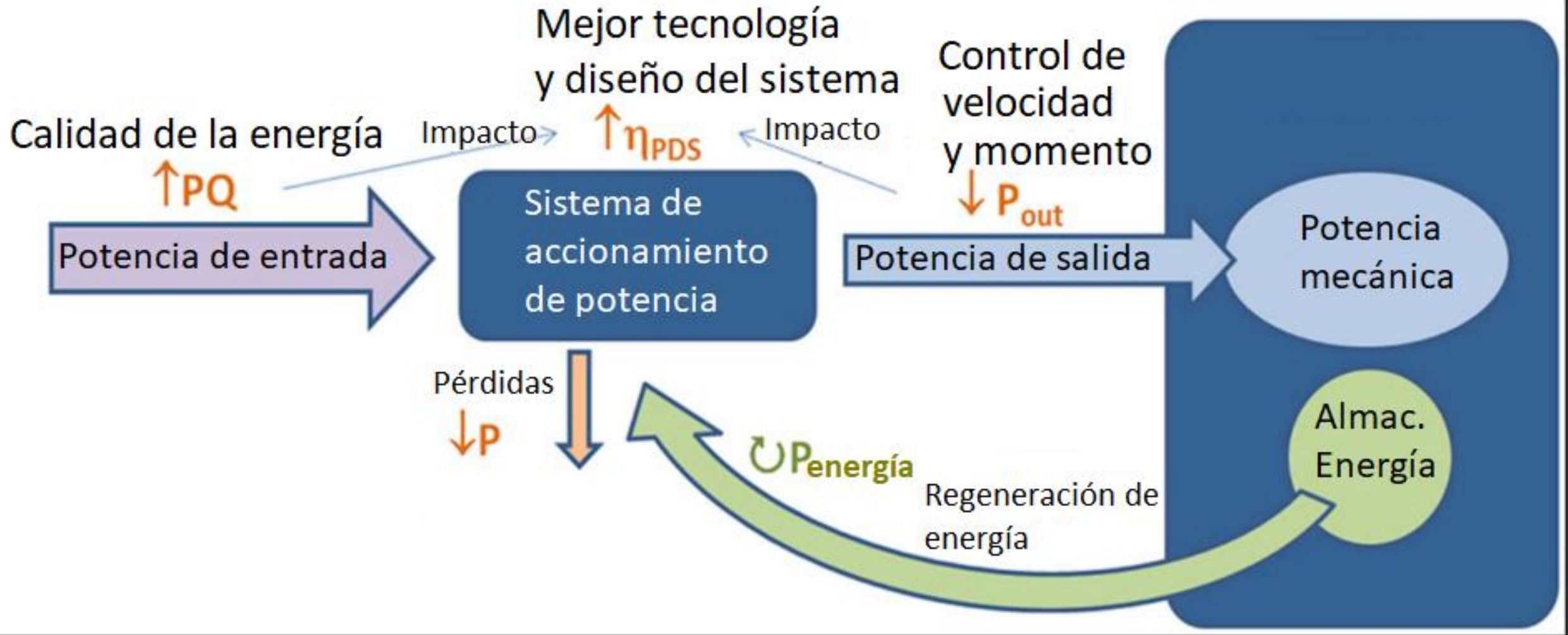
Apoya:



Componentes de un sistema de motor eléctrico



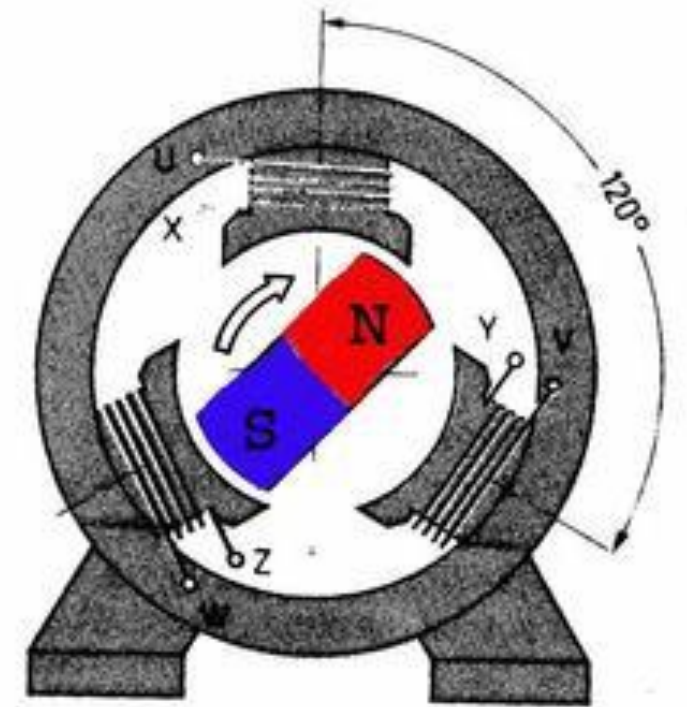
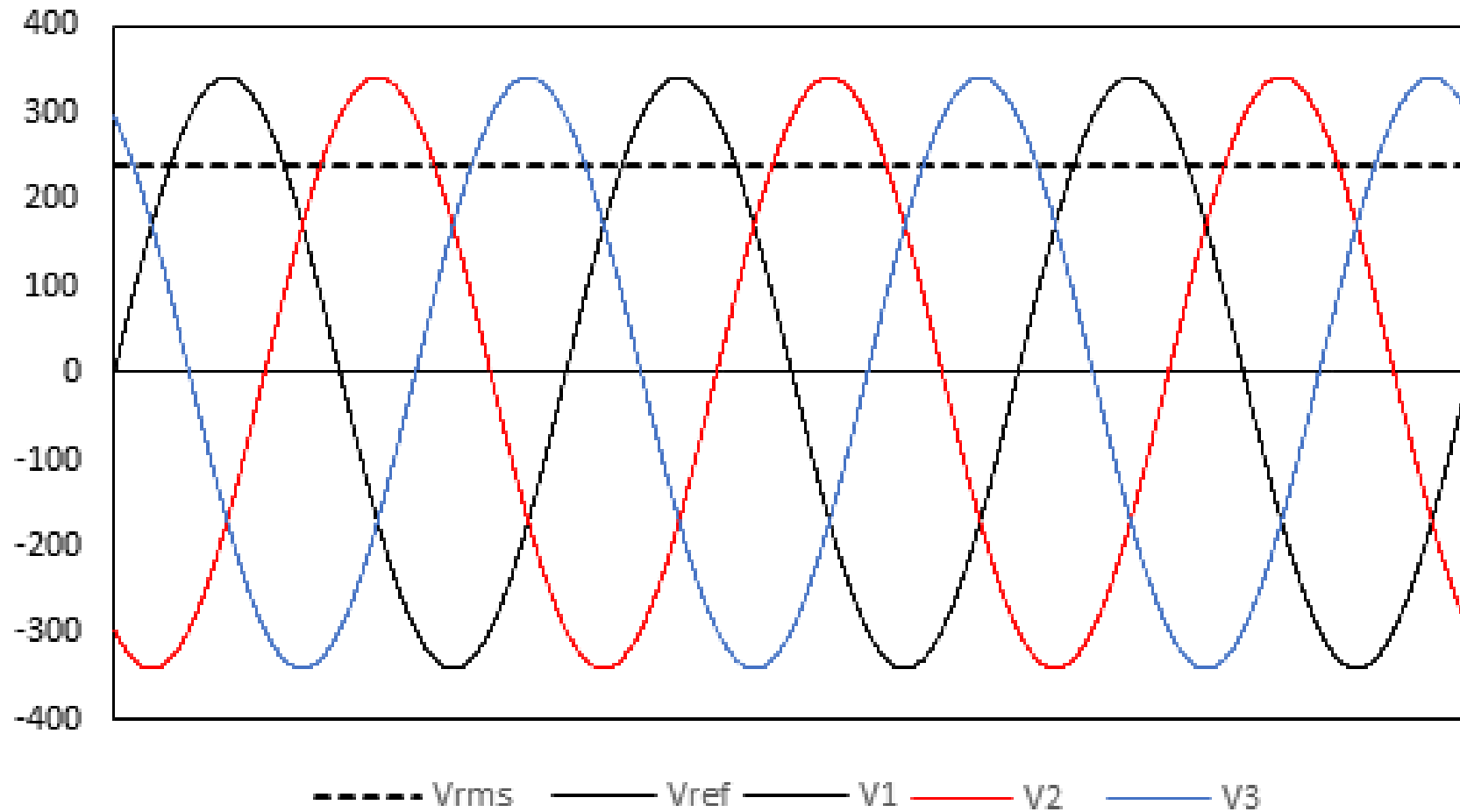
Medidas de ahorro en sistemas accionados por motores eléctricos



**Potencial para mejorar la eficiencia energética de los sistemas de motores: (20% a un 30%).
Reduciría la demanda global total de electricidad en aproximadamente un 10%.**

F. J. T. E. Ferreira and A. T. de Almeida, "Reducing Energy Costs in Electric-Motor-Driven Systems: Savings Through Output Power Reduction and Energy Regeneration," *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 24, no. 1, pp. 84–97, 201

Los motores trifásicos de corriente alterna desde su invención en 1888 por Nikola Tesla.



Cambios en los sistemas eléctricos de potencia



Cambios en la generación

- Cambio desde grandes unidades de generación bajo el control de un operador de red a unidades pequeñas conectadas a la red de distribución y/o a fuentes renovables cuya disponibilidad y producción está controlado por el clima.

Cambios en el consumo

- Autos eléctricos.
- Transición del calentamiento de gas a la calefacción eléctrica (bombas de calor).
- Motores alimentados con variadores de velocidad.
- Reemplazo de lámparas incandescentes por lámparas LED.
- Dispositivos pequeños con cargadores.

Cambios en la red

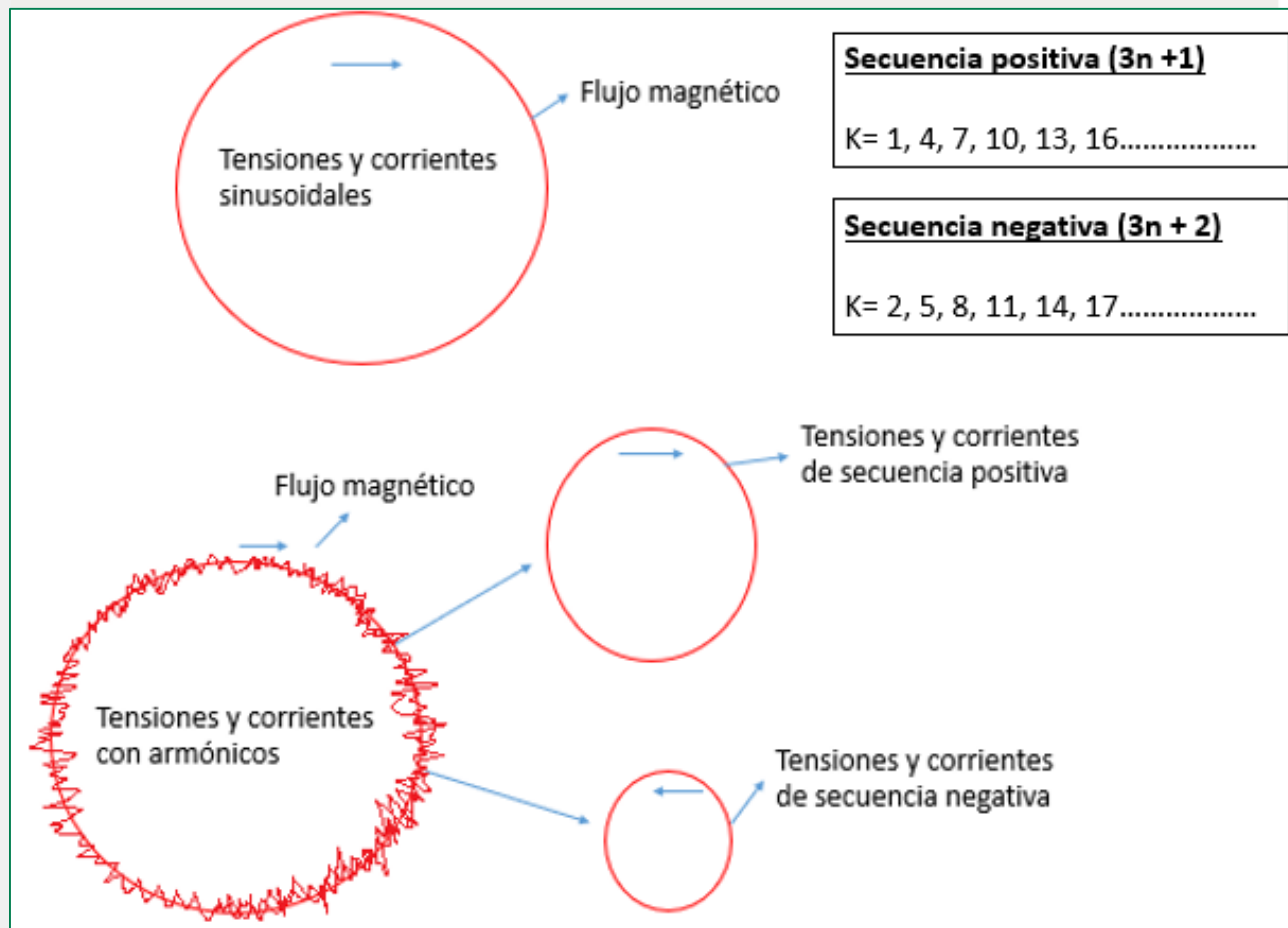
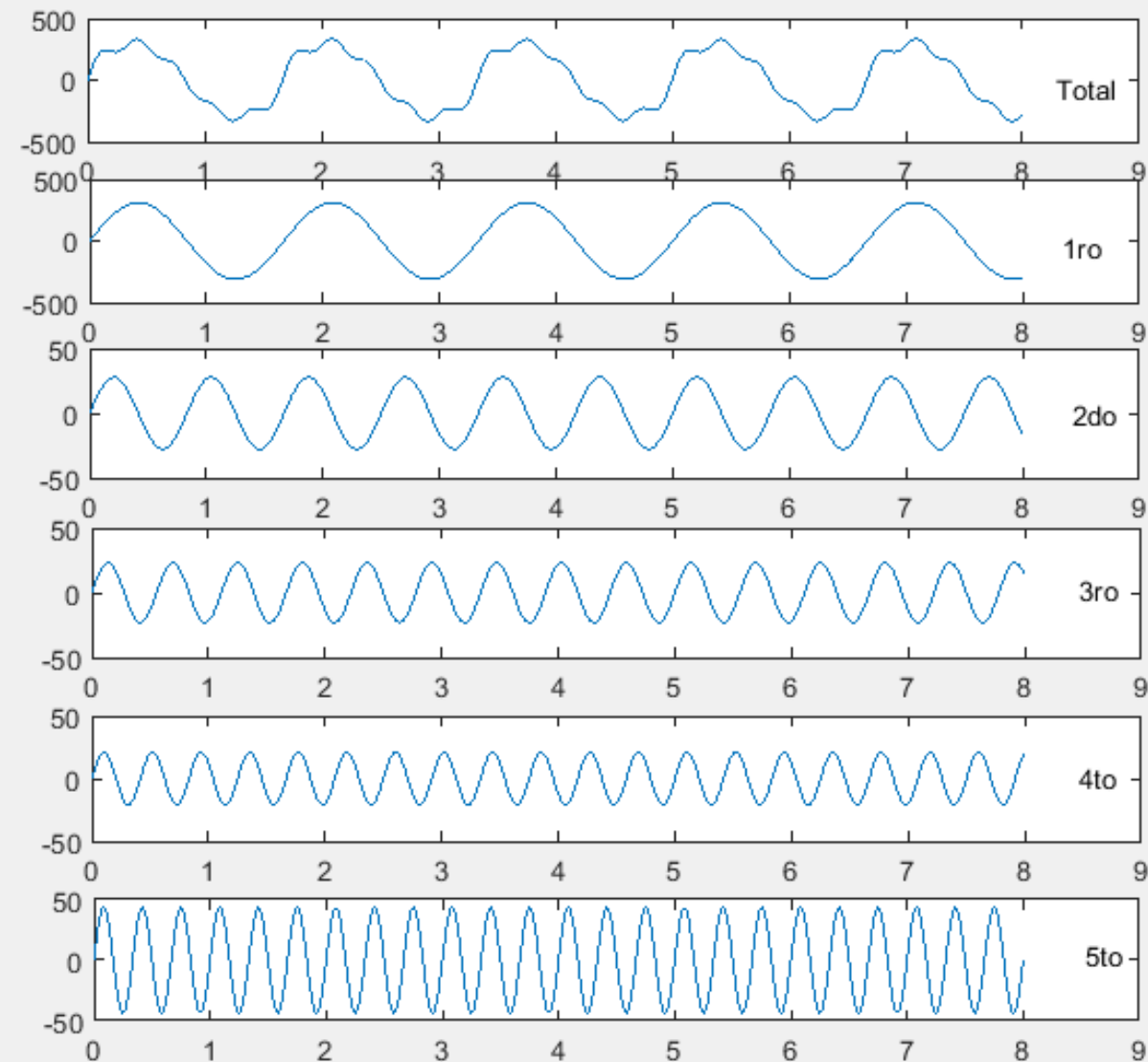
- Reemplazo de líneas aéreas por cables soterrados.
- Aumento en el número de enlaces HVDC que se conectan al sistema de transmisión.
- Comunicación con los medidores de energía en las líneas de alimentación.
- Redes inteligentes.

Fenómenos electromagnéticos del sistemas de potencia



Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5 ns rise	< 50 ns	
1.1.2 Microsecond	1 μ s rise	50 ns – 1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1 ms rise	> 1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu ^a
1.2.2 Medium frequency	5–500 kHz	20 μ s	0–8 pu
1.2.3 High frequency	0.5–5 MHz	5 μ s	0–4 pu
2.0 Short-duration root-mean-square (rms) variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5–30 cycles	0.1–0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5–30 cycles	1.1–1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5 cycles – 3 s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 cycles – 3 s	0.1–0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles – 3 s	1.1–1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		>3 s – 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		>3 s – 1 min	0.1–0.9 pu
2.3.3 Swell		>3 s – 1 min	1.1–1.2 pu
3.0 Long duration rms variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		> 1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages		> 1 min	1.1–1.2 pu
3.4 Current overload		> 1 min	
4.0 Imbalance			
4.1 Voltage		steady state	0.5–2%
4.2 Current		steady state	1.0–30%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0–0.1%
5.2 Harmonics	0–9 kHz	steady state	0–20%
5.3 Interharmonics	0–9 kHz	steady state	0–2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broadband	steady state	0–1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25 Hz	intermittent	0.1–7% 0.2–2 P _{st} ^b
7.0 Power frequency variations		< 10 s	\pm 0.10 Hz

Armónicos



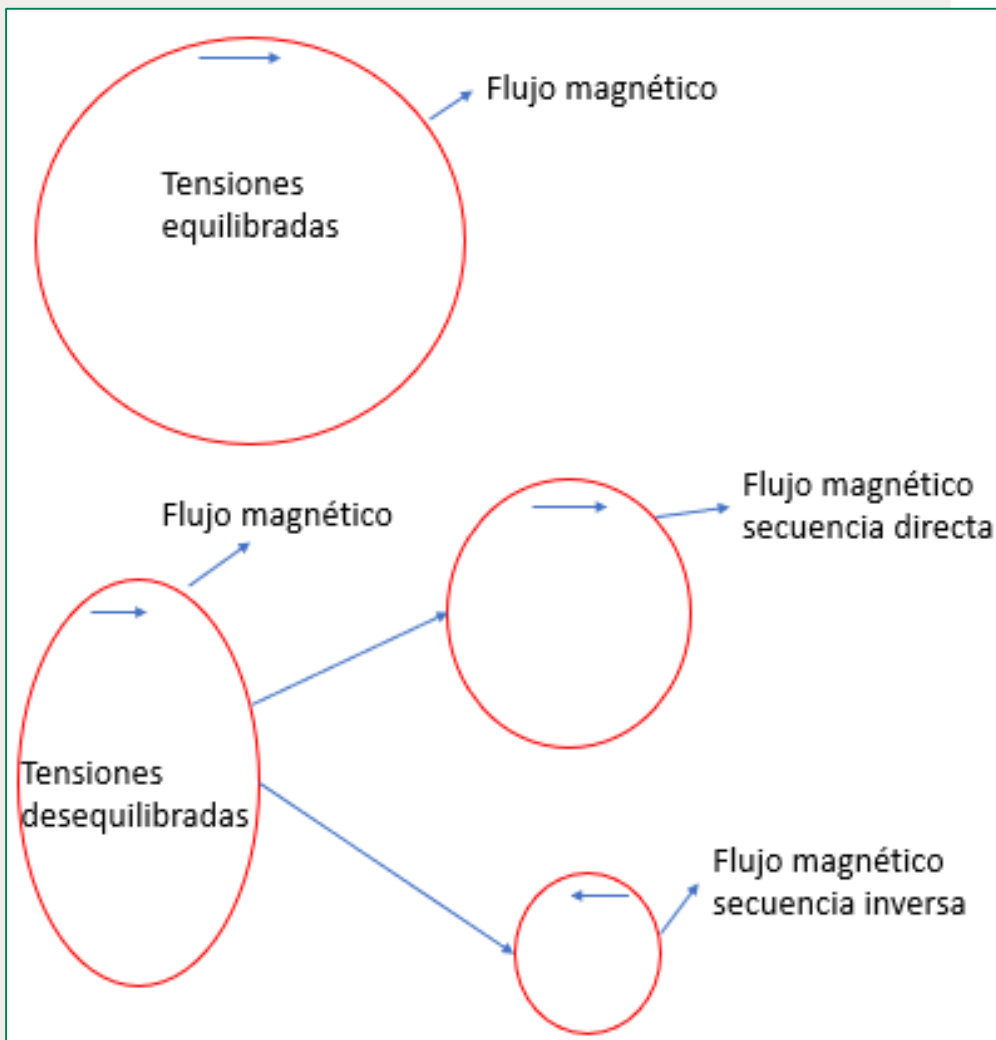
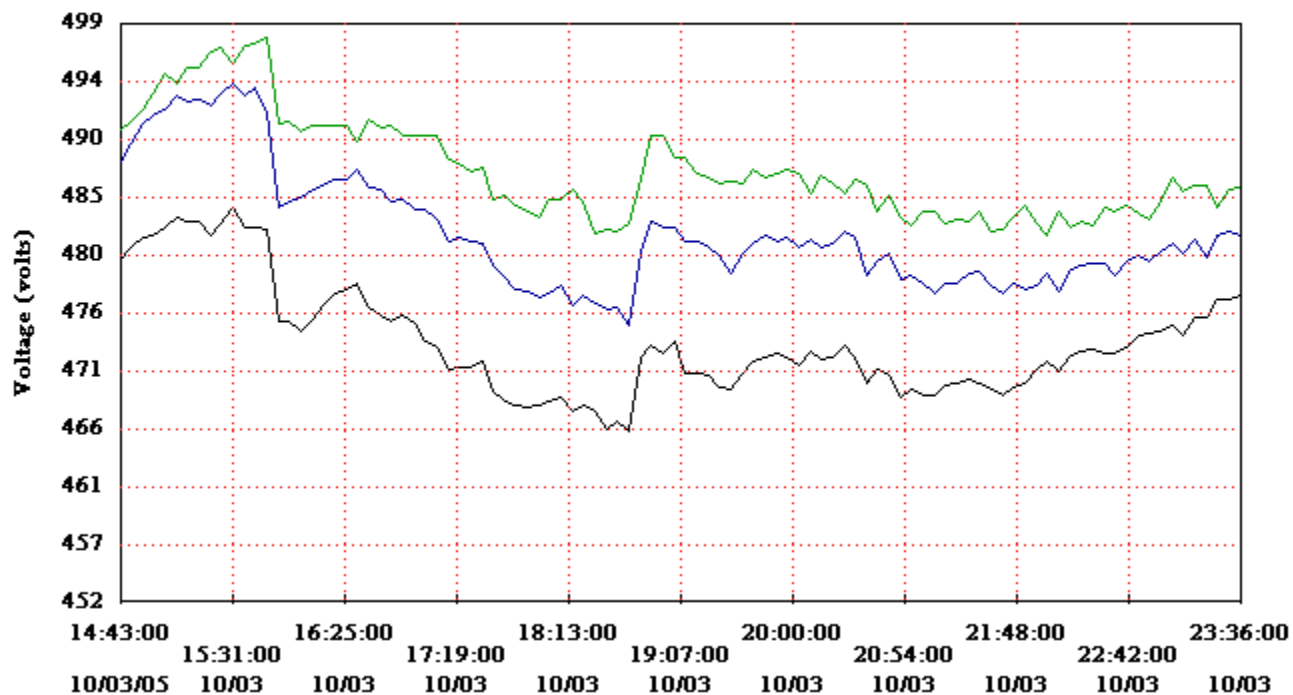
Desequilibrio de tensión

File: X:\Trabajadores\CEEMA\vladimir\maestría\trabajo\gydema\GLUCOSA1\Glucosal.log

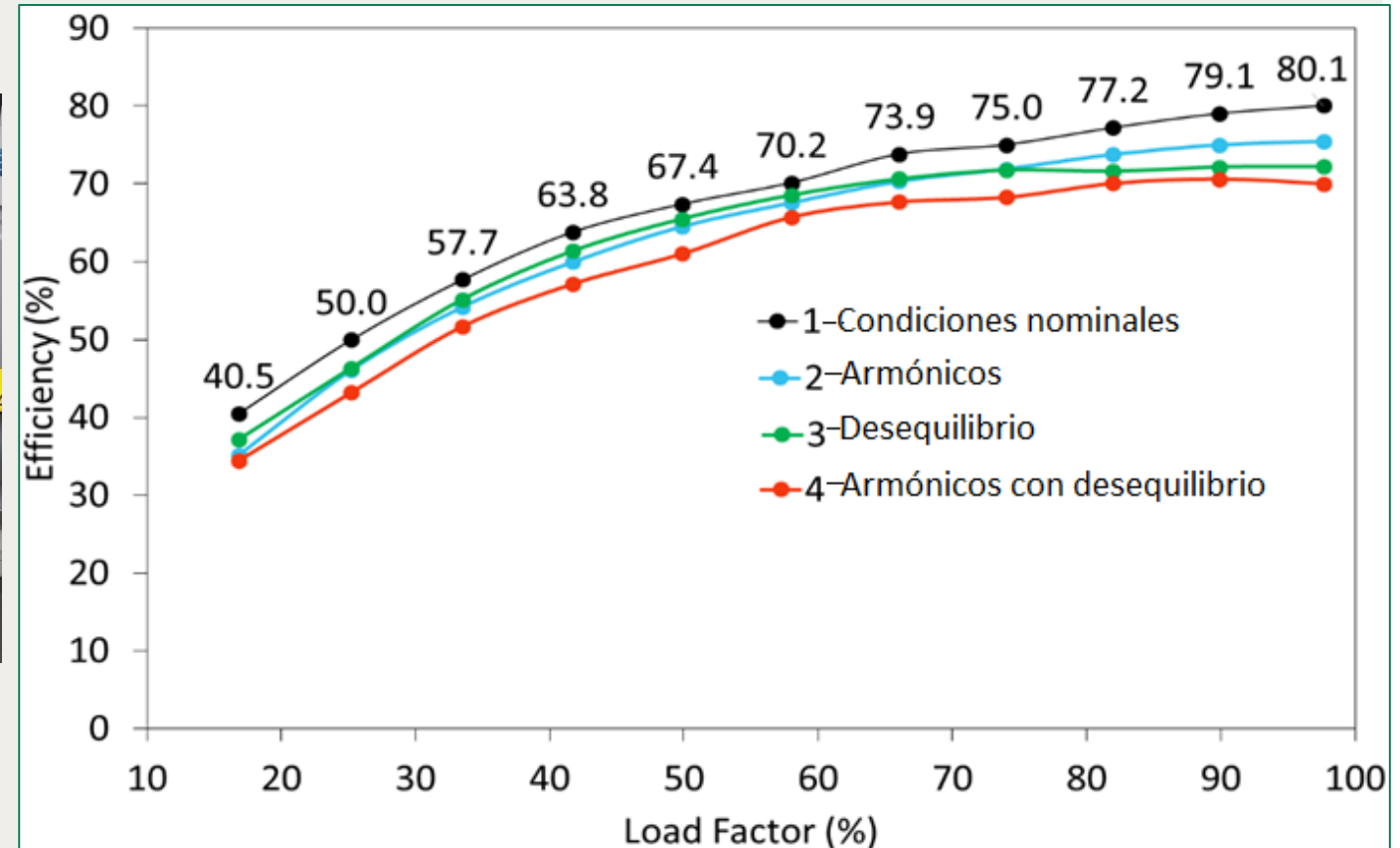
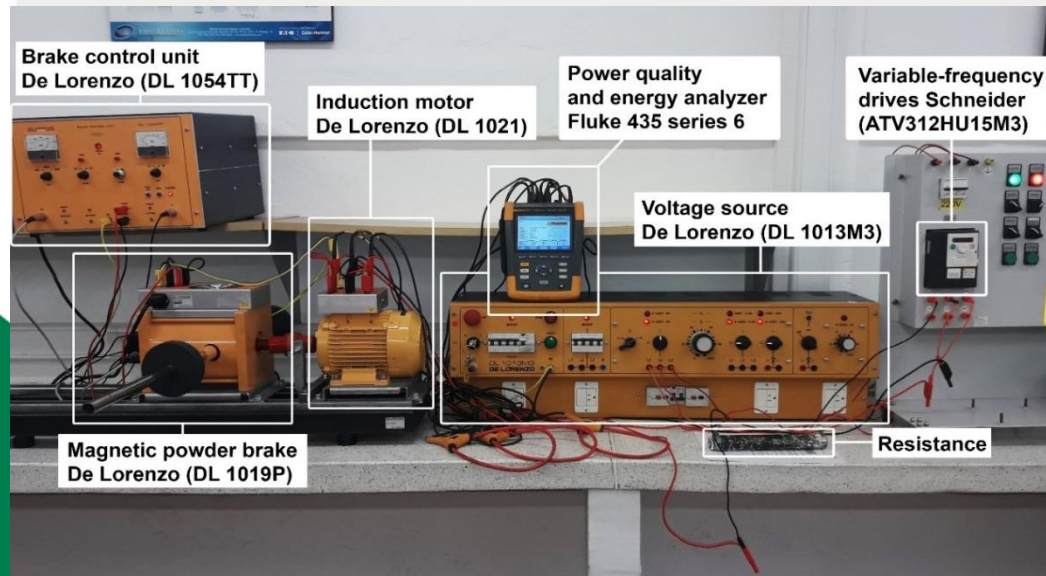
□ Vab Ave = 473.20

□ Vbc Ave = 482.09

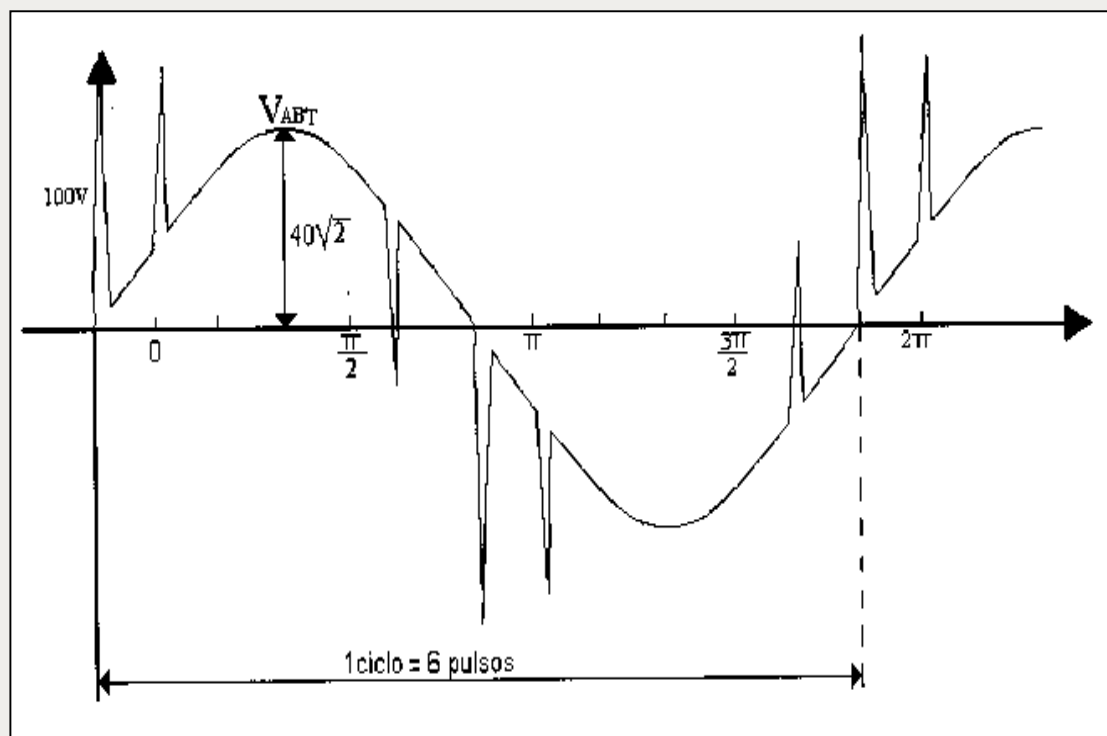
□ Vca Ave = 487.16



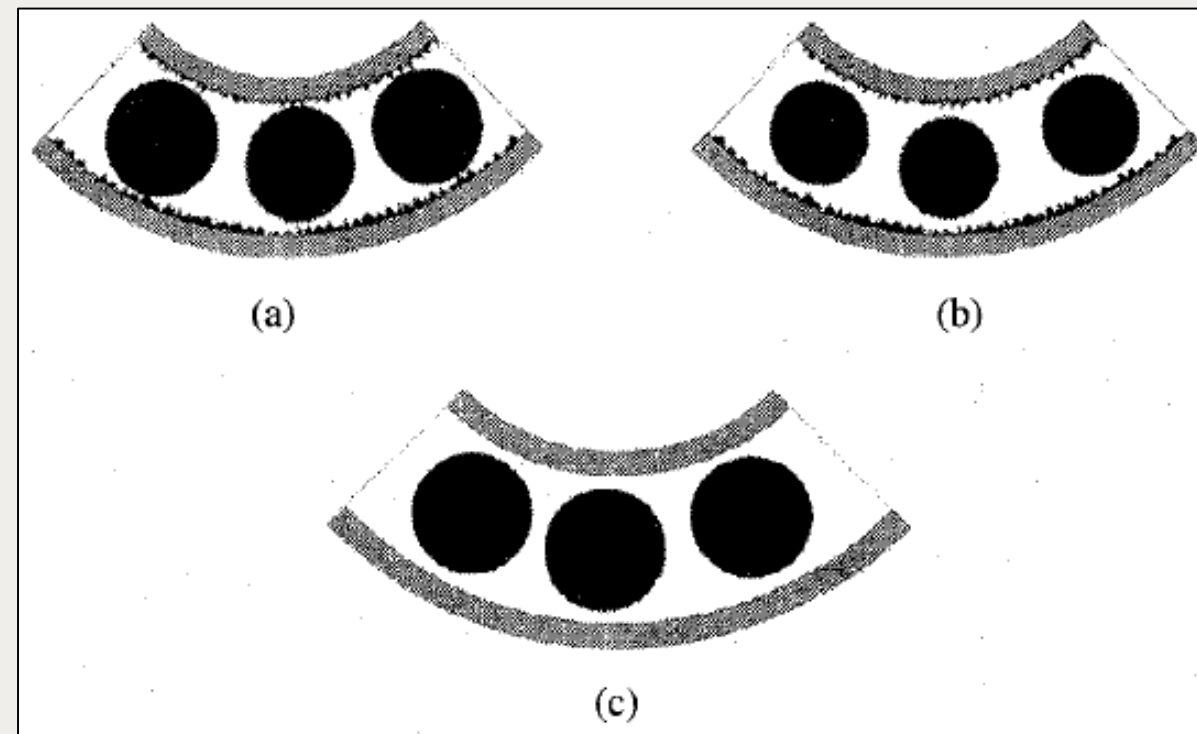
Evaluación de motores alimentados con armónicos y desequilibrio de tensión



Hendiduras



Discharging bearing current

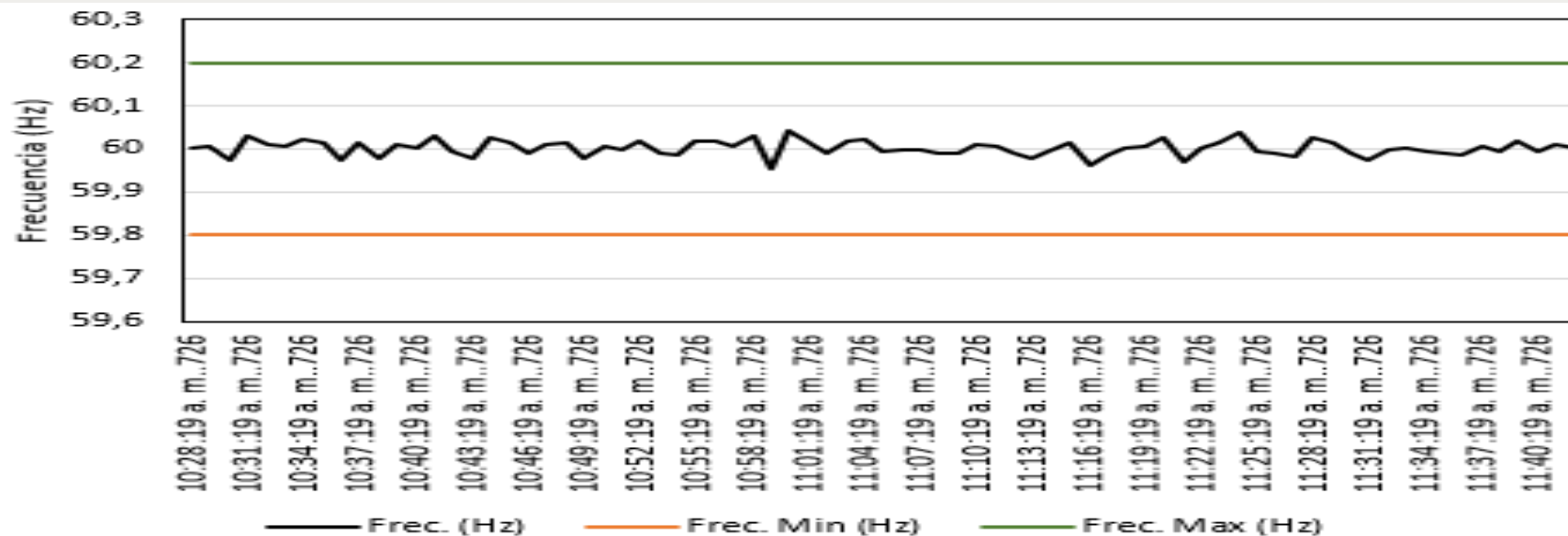
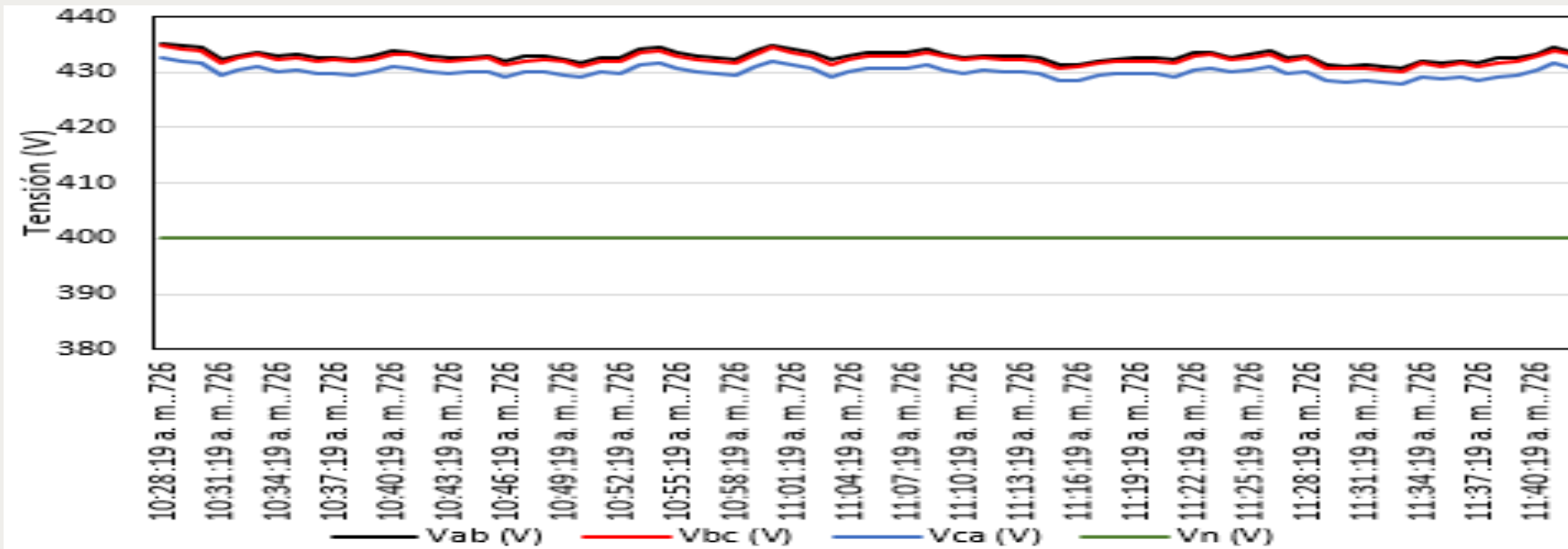


Efectos de problemas de calidad de la energía en motores

Marca	Ingersoll Rand
Equipo	Motor principal compresor de 75 HP.
Potencia	75 HP (55 kW)
Tensión	400 V
Velocidad	2990 rpm (50 Hz)
Corriente	140 A
Eficiencia	95 %
Factor de potencia	0,88
Variador de frecuencia	No
Arrancador	Directo



Efectos de problemas de calidad de la energía en motores



Efectos de problemas de calidad de la energía en motores

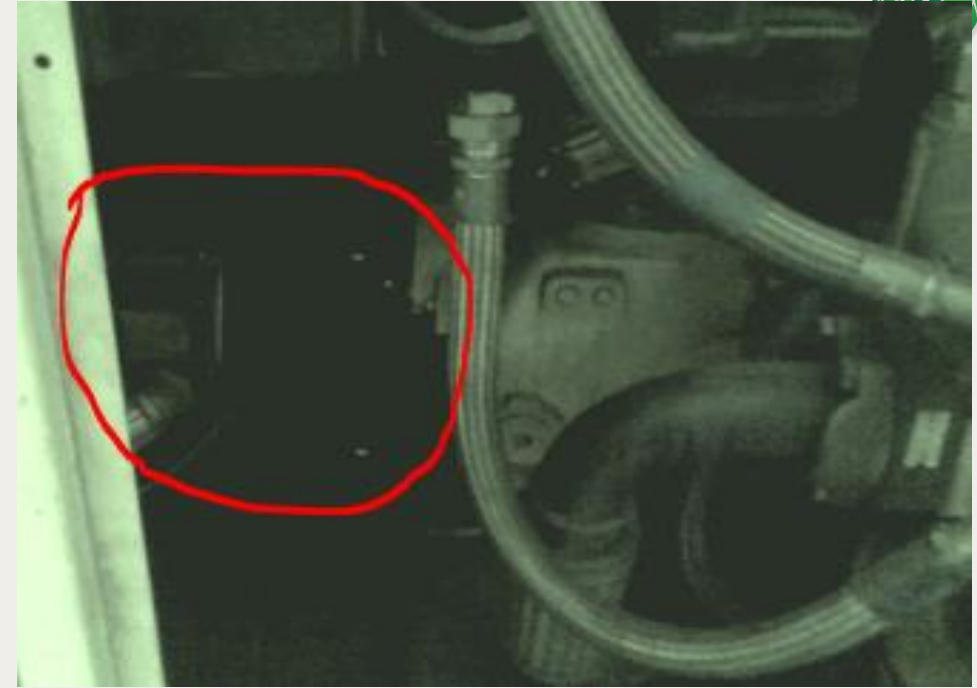
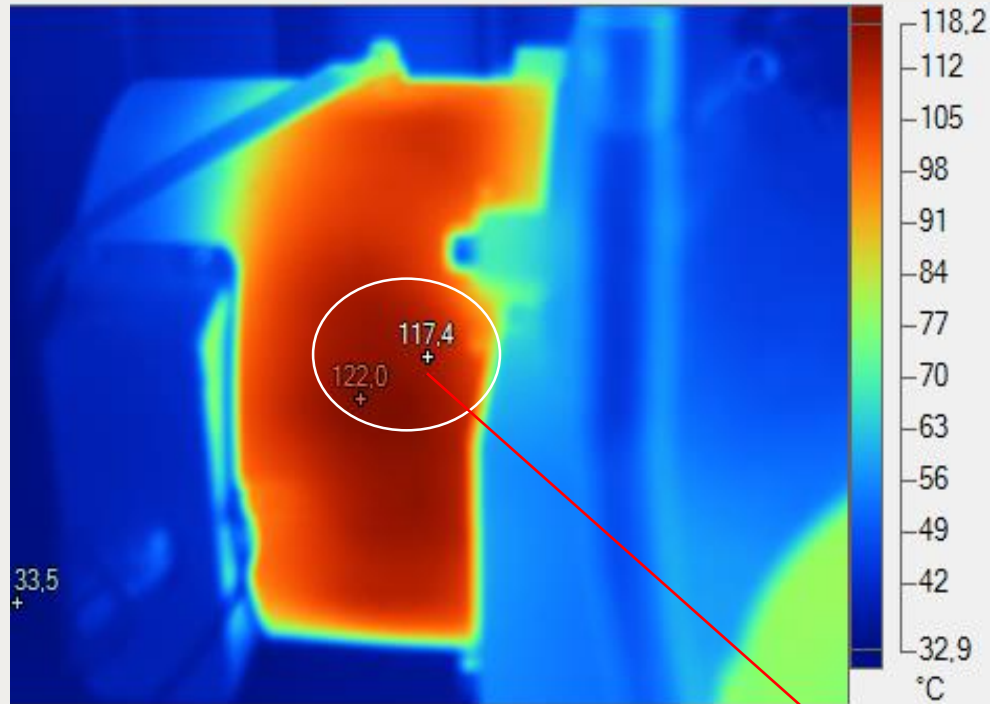
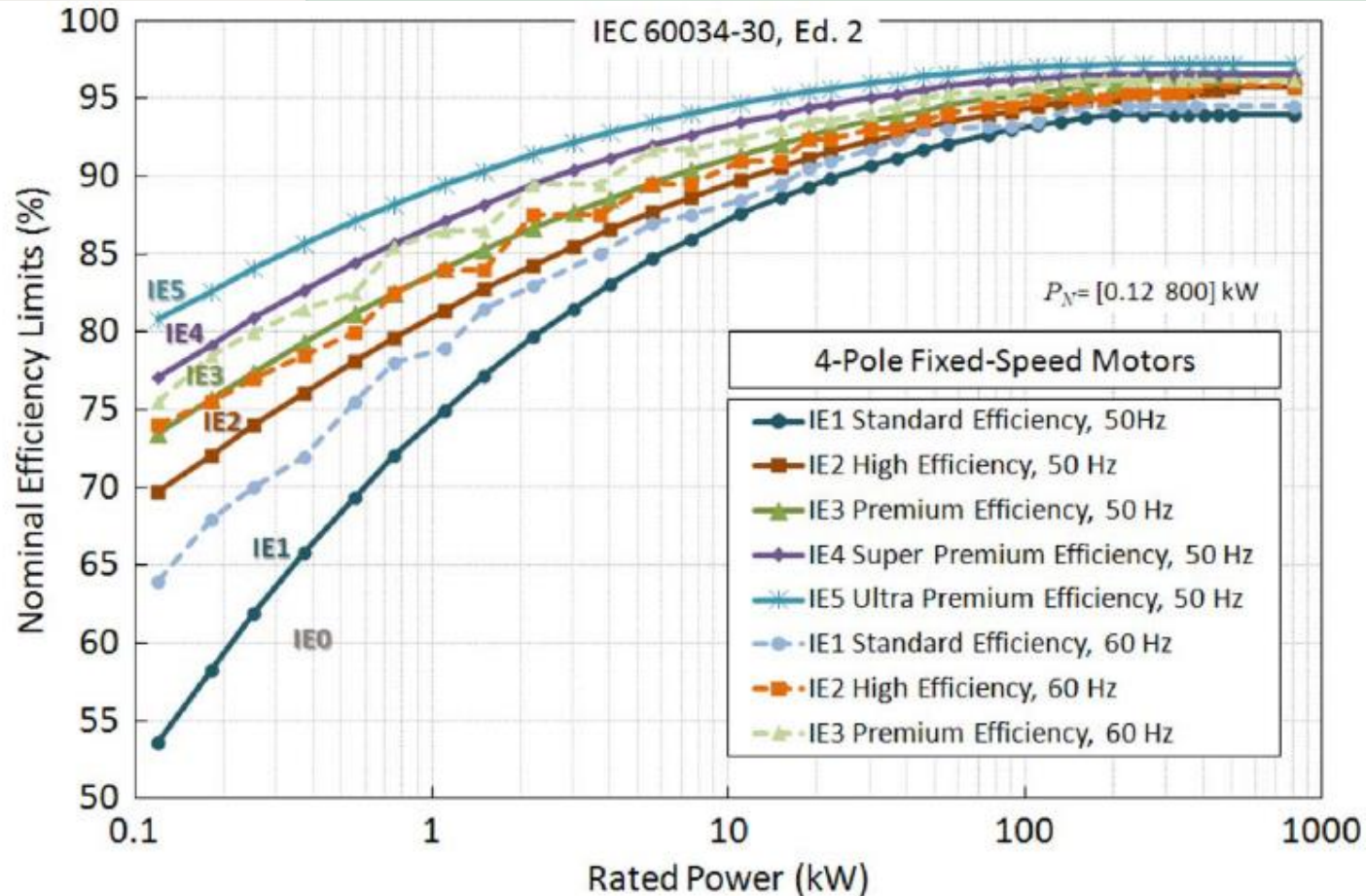


Table 1—Specified temperature for efficiency calculations when the machine rated load temperature is not measured

Class of insulation system	Temperature in °C (Total temperature including 25°C reference ambient)
A	75
B	95
F	115
H	130

Mejora tecnológica en los motores para incrementar el nivel de eficiencia

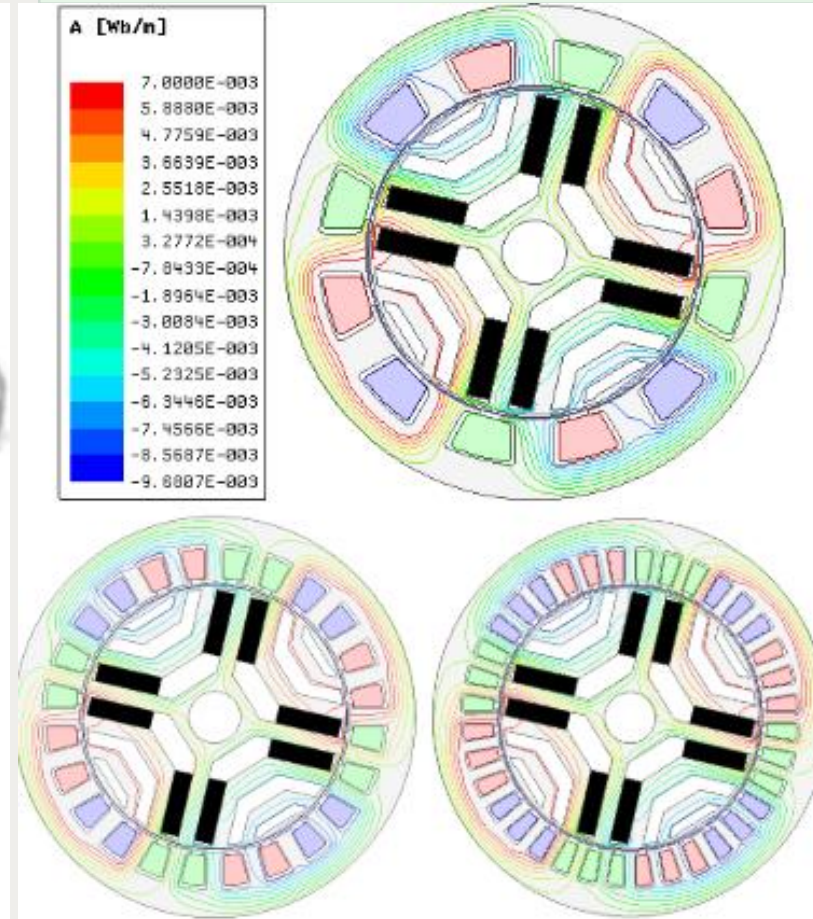
- ⑩ IE1: Eficiencia estándar
- ⑩ IE2: Alta eficiencia
- ⑩ IE3: Eficiencia premium
- ⑩ IE4: Eficiencia super premium
- ⑩ IE5: Eficiencia ultra premium



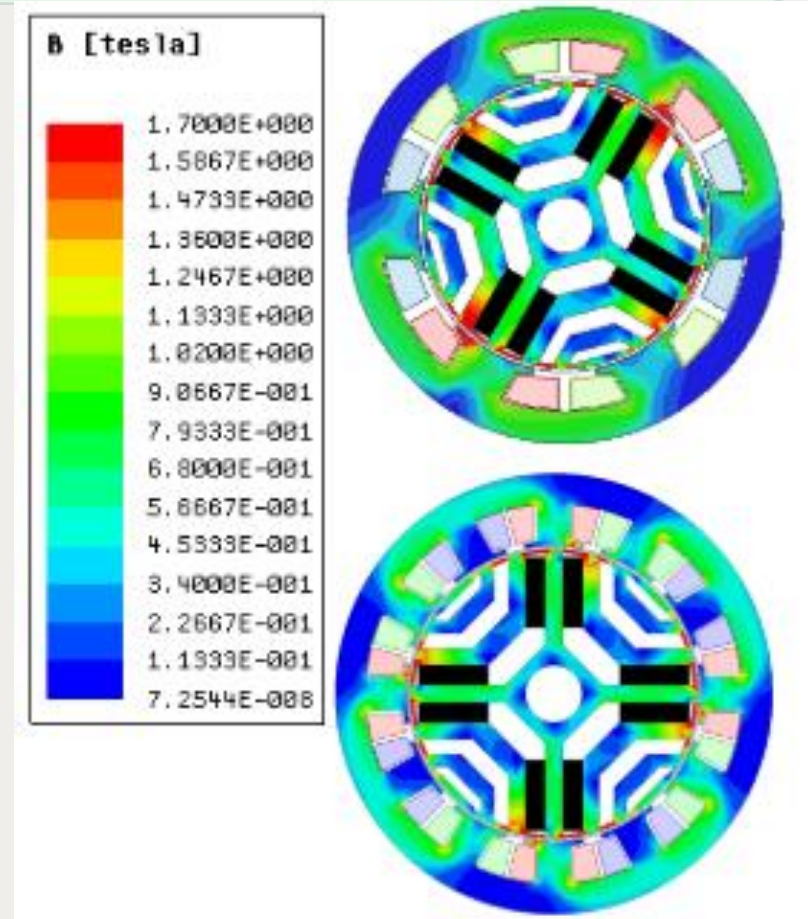
Tipo de motor	Características
Rotor de jaula de ardilla (IE3)	<ul style="list-style-type: none"> • Alargamiento del núcleo. • Inyección de la jaula de ardilla en cobre. • Recocido en la lámina del rotor.
Sincrónicos de imán permanente (IE4)	<ul style="list-style-type: none"> • Imanes en el rotor. • Se estudian nuevos materiales magnéticos enrarecidos para la construcción de los imanes permanentes.
Sincrónico de imanes permanentes de arranque en línea (IE4)	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación del devanado del rotor. • Producción de par de reluctancia en vez de par electromagnético. • Imanes permanentes en el rotor y una jaula de ardilla.
Sincrónicos de reluctancia (IE4)	<ul style="list-style-type: none"> • Devanado de estator similar al motor de inducción, pero con un diseño especial del núcleo del rotor.
Reluctancia conmutada (IE4)	<ul style="list-style-type: none"> • Aplican un diseño con saliencias en el estator y el rotor. • El par se forma por el principio de reluctancia mínima.
Sincrónicos de reluctancia + Imanes permanentes (IE4)	<ul style="list-style-type: none"> • Combinación de las características de estos motores.
Motores (IE5)	<ul style="list-style-type: none"> • Emigración a flujos axiales, tales como los motores sincrónicos de imanes permanentes con flujo axial.

Mejora tecnológica en los motores para incrementar el nivel de eficiencia

- ⑩ IE1: Eficiencia estándar
- ⑩ IE2: Alta eficiencia
- ⑩ IE3: Eficiencia premium
- ⑩ IE4: Eficiencia super premium
- ⑩ IE5: Eficiencia ultra premium



Flux densities and equi flux distribution of 12,24 and 36 stator slots



6/4 and 12/4 concentrated winding stator models

VOSViewer-Scopus (High efficiency motors+Power Quality)

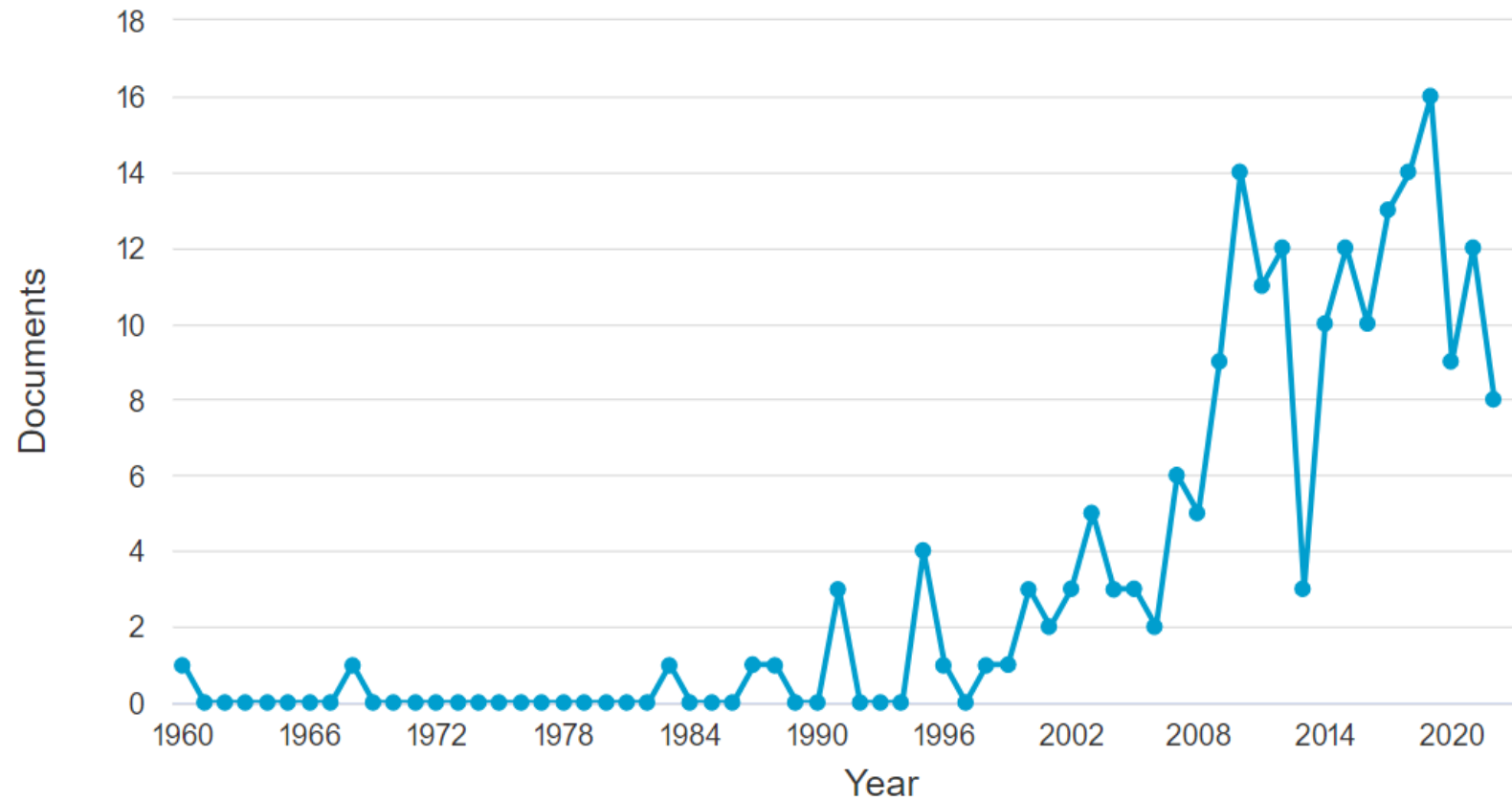


200 document results

Select year range to analyze: 1960 to 2022

Year ↓	Documents ↑
2022	8
2021	12
2020	9
2019	16
2018	14
2017	13
2016	10
2015	12

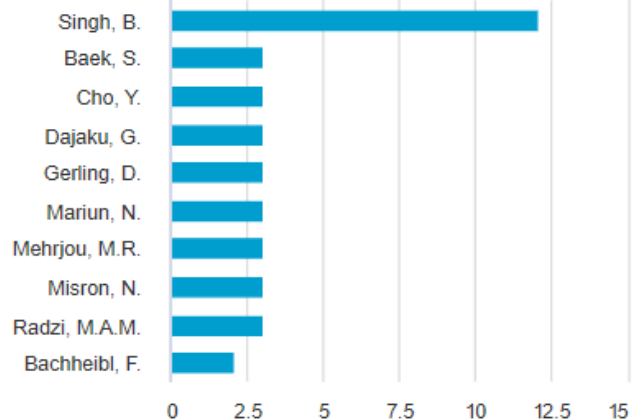
Documents by year



VOSViewer-Scopus (High efficiency motors+Power Quality)



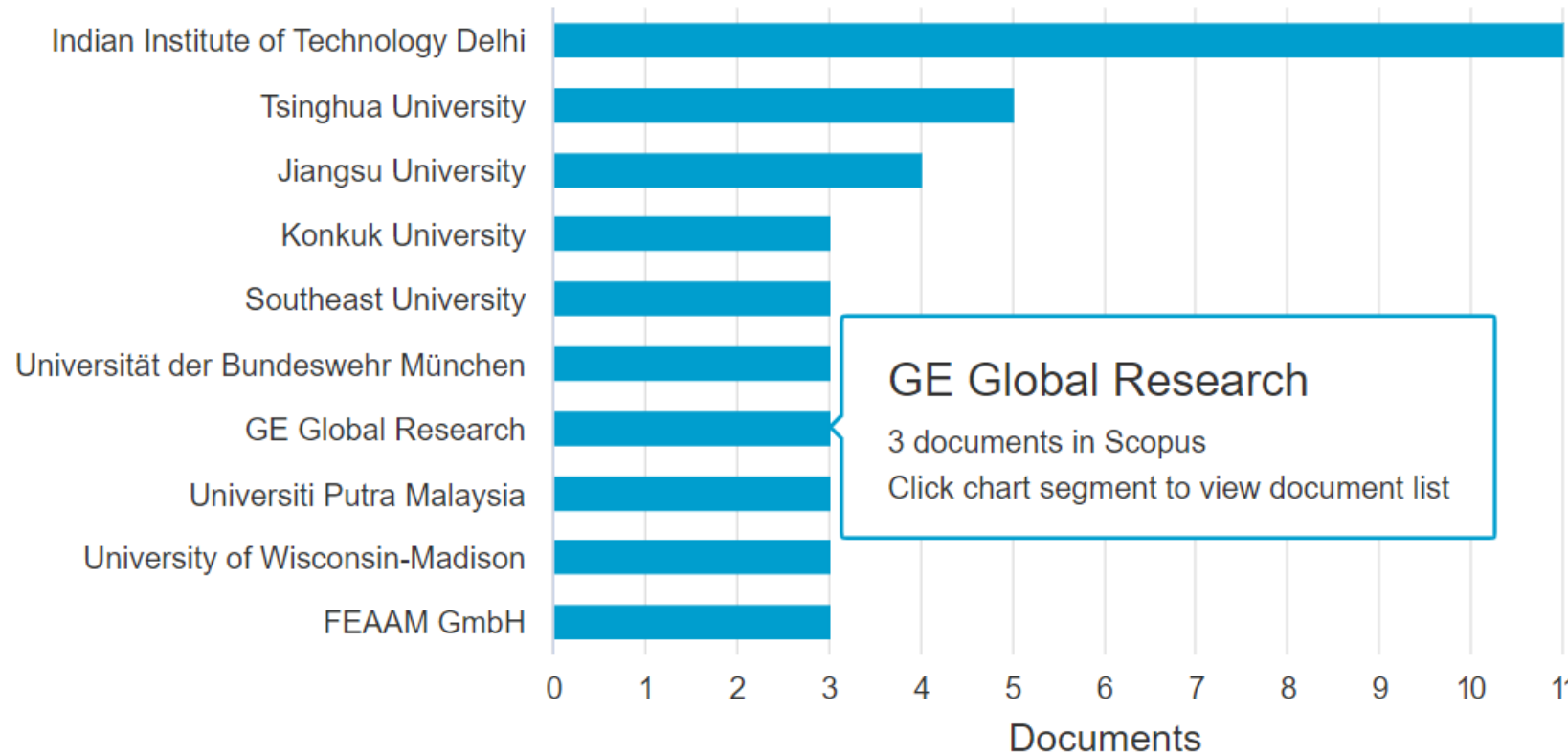
Documents by author



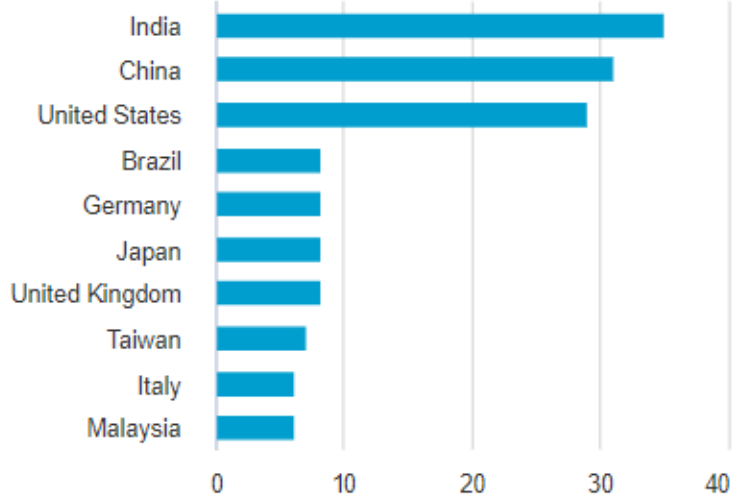
Documents by affiliation



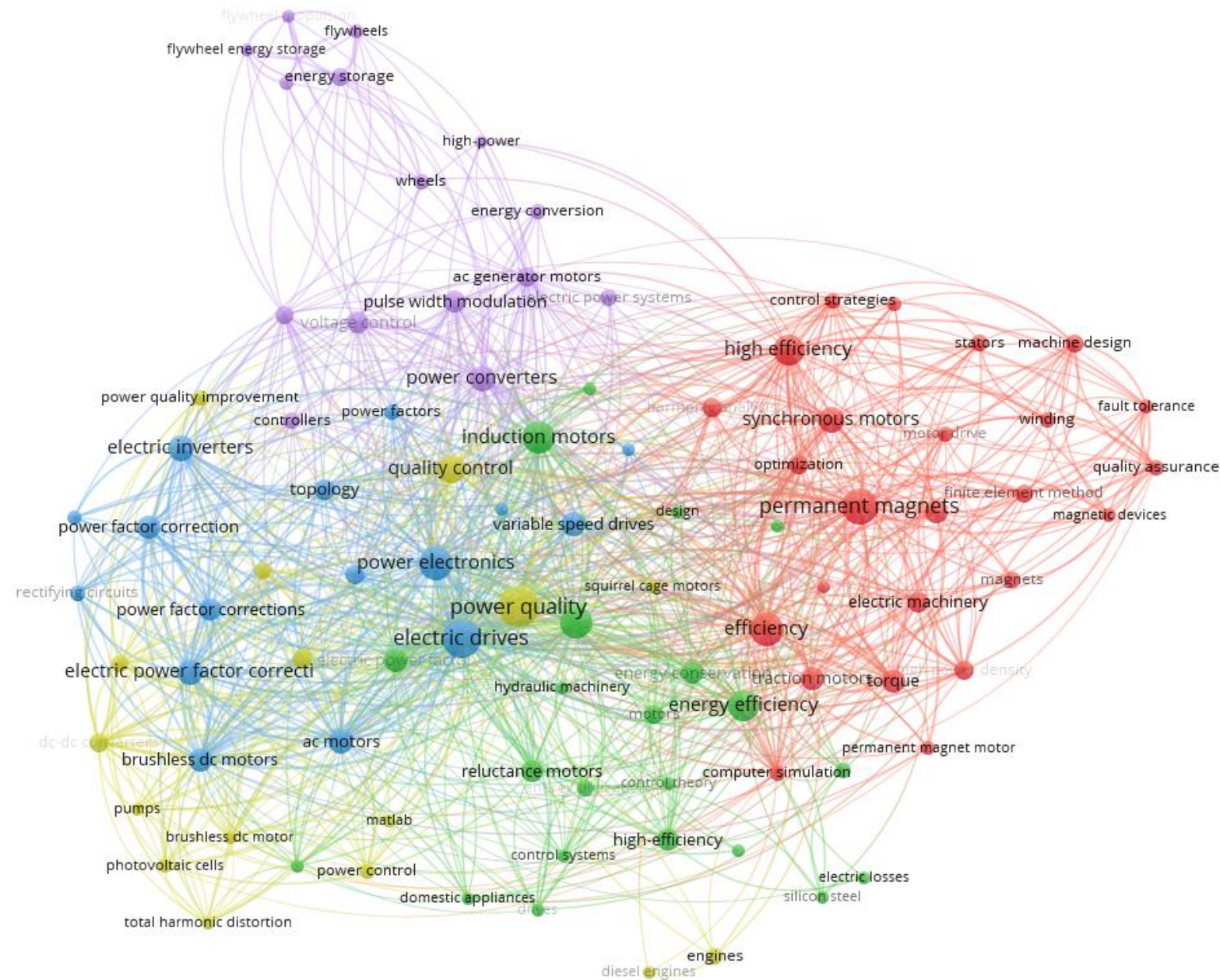
Compare the document counts for up to 15 affiliations.



Documents by country/territory



VOSViewer-Scopus (High efficiency motors+Power Quality)



Verify selected keywords

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	electric drives	40	331
<input checked="" type="checkbox"/>	power quality	46	299
<input checked="" type="checkbox"/>	permanent magnets	35	229
<input checked="" type="checkbox"/>	electric motors	29	210
<input checked="" type="checkbox"/>	power electronics	30	201
<input checked="" type="checkbox"/>	induction motors	27	190
<input checked="" type="checkbox"/>	quality control	22	172
<input checked="" type="checkbox"/>	efficiency	31	170
<input checked="" type="checkbox"/>	high efficiency	25	169
<input checked="" type="checkbox"/>	electric power factor correction	18	159
<input checked="" type="checkbox"/>	power converters	18	134
<input checked="" type="checkbox"/>	brushless dc motors	14	131
<input checked="" type="checkbox"/>	ac motors	16	128
<input checked="" type="checkbox"/>	electric inverters	18	126
<input checked="" type="checkbox"/>	energy efficiency	25	124
<input checked="" type="checkbox"/>	electric power factor	15	114
<input checked="" type="checkbox"/>	power factor corrections	13	113
<input checked="" type="checkbox"/>	synchronous motors	19	113
<input checked="" type="checkbox"/>	pulse width modulation	13	107

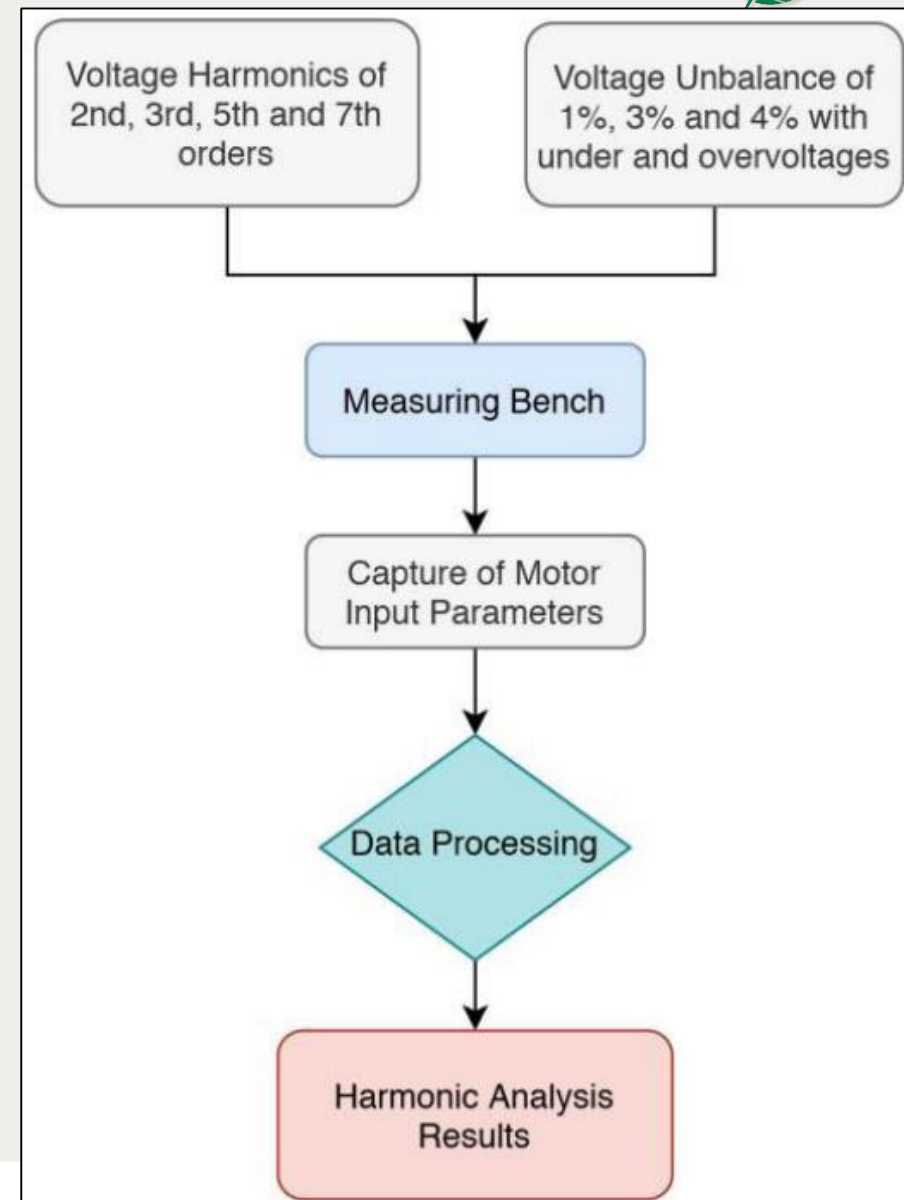
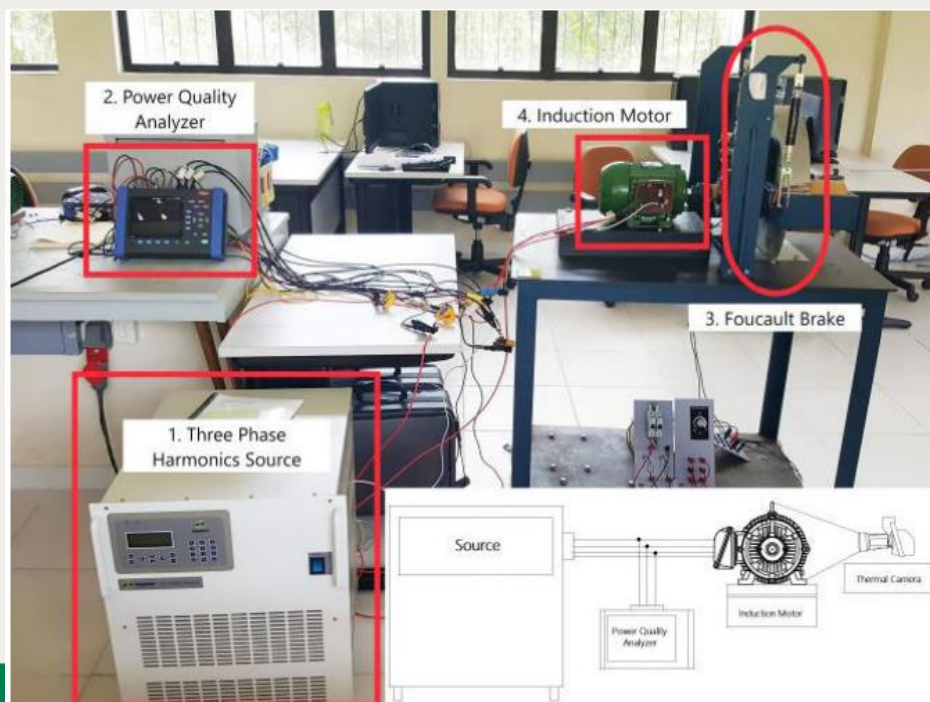
Estudios sobre el efecto de los problemas de la calidad de la energía en motores de alto nivel de eficiencia

J. M. Tabora *et al.*, “**Assessing Energy Efficiency and Power Quality Impacts Due to High-Efficiency Motors Operating under Nonideal Energy Supply**,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 121871–121882, 2021.

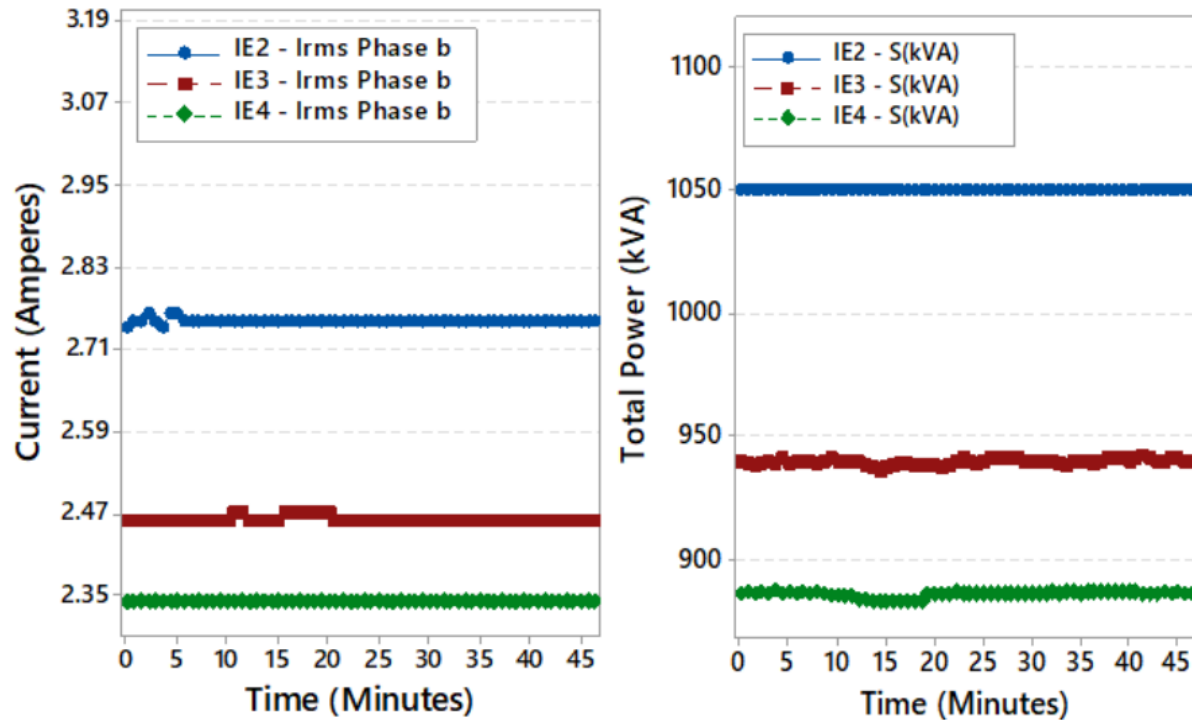
J. M. Tabora, M. E. De Lima Tostes, E. O. De Matos, U. H. Bezerra, T. M. Soares, and B. S. De Albuquerque, “**Assessing voltage unbalance conditions in IE2, IE3 and IE4 classes induction motors**,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 186725–186739, 2020.

P. D. Donolo, C. M. Pezzani, G. R. Bossio, C. H. De Angelo, and M. A. Donolo, “**Derating of induction motors due to power quality issues considering the motor efficiency class**,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 56, no. 2, pp. 961–969, 2020.

IM Class	IE2	IE3	IE4
Technology	SCIM,	SCIM	LSPMM
Power	0.75 kW	0.75 kW	0.75 kW
Voltage	220/380 V	220/380 V	220/380 V
Speed (rpm)	1730	1725	1800
Torque (Nm)	4.12	4.13	3.96
Current (A)	2.98/1.73	2.91/1.68	3.08/1.78
Efficiency (%)	82.6	82.6	87.4
Power Factor	0.80	0.82	0.73

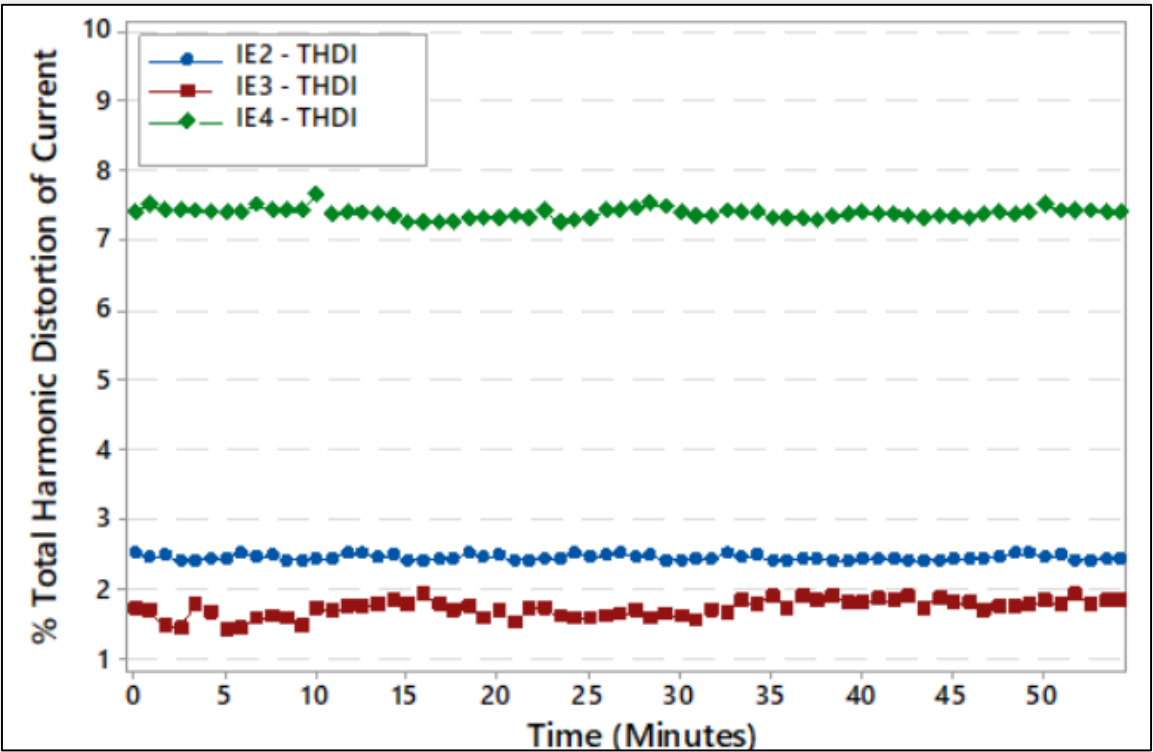


A plena carga



IE4: Reducción de la corriente en 14% y 5% en relación a IE2 e IE3 respectivamente.

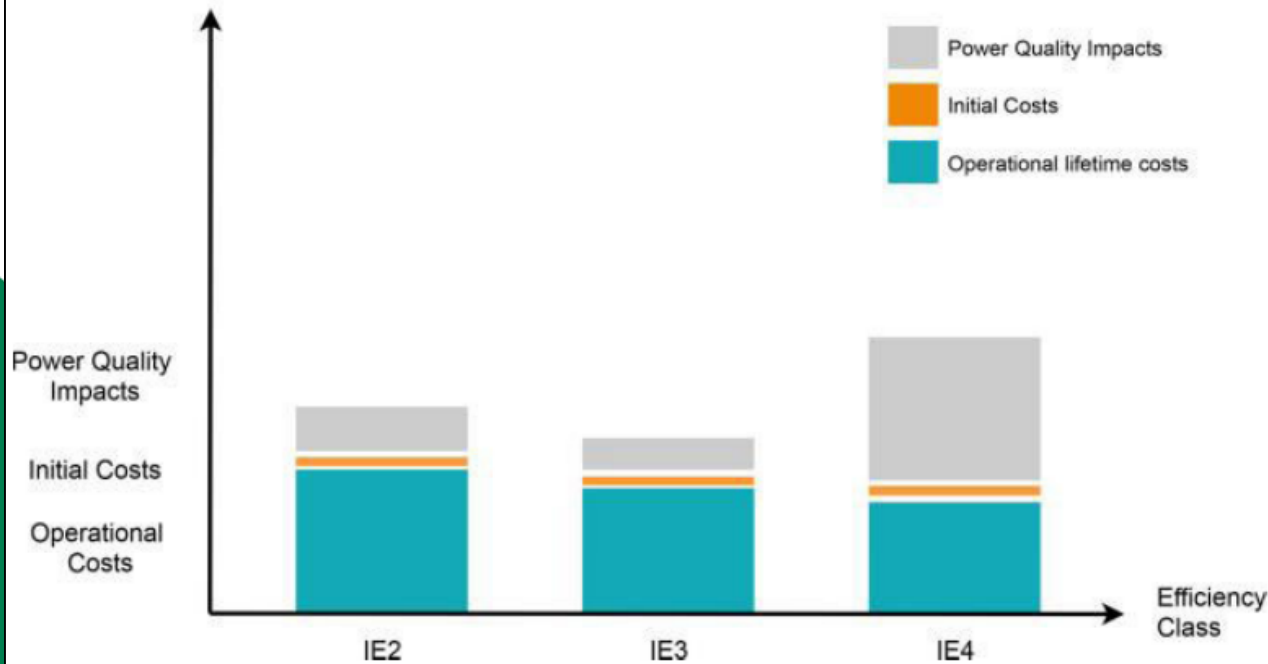
IE4: Reducción del consume de potencia de 17% and 6% en relación a IE2 e IE3 respectivamente.



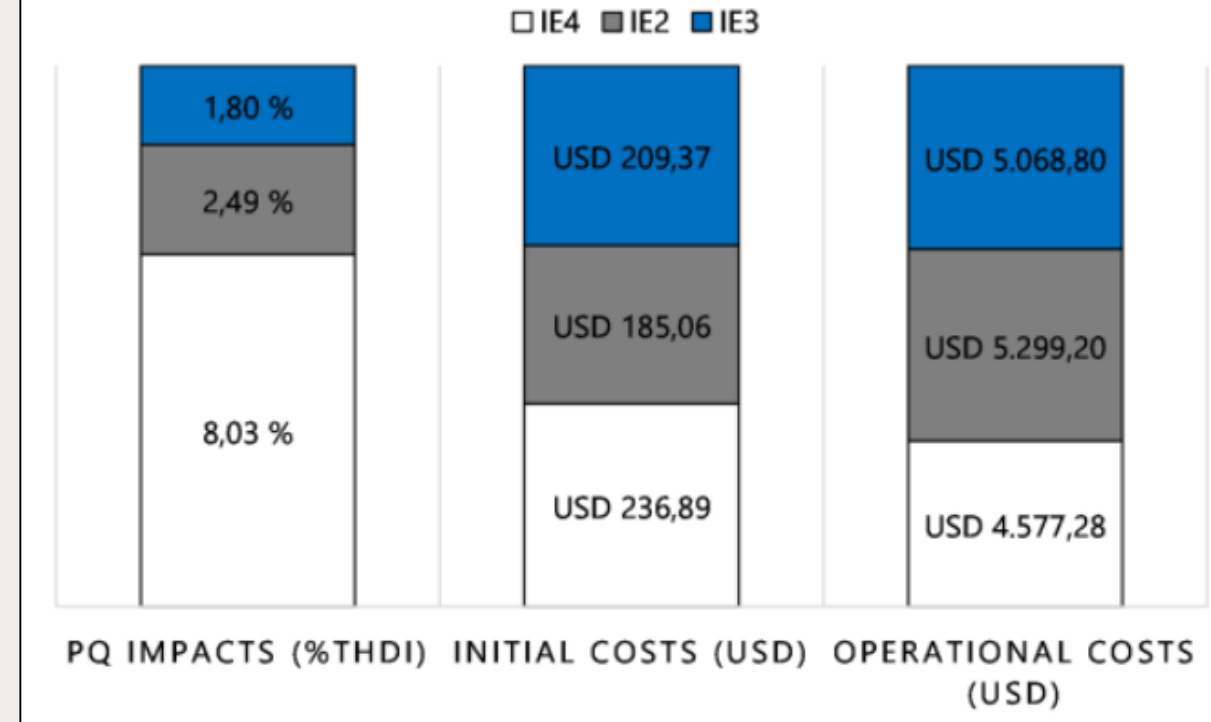
IE4: Armónicos de corriente (3rd, 5th, 7th, 17th, y 23rd orden).

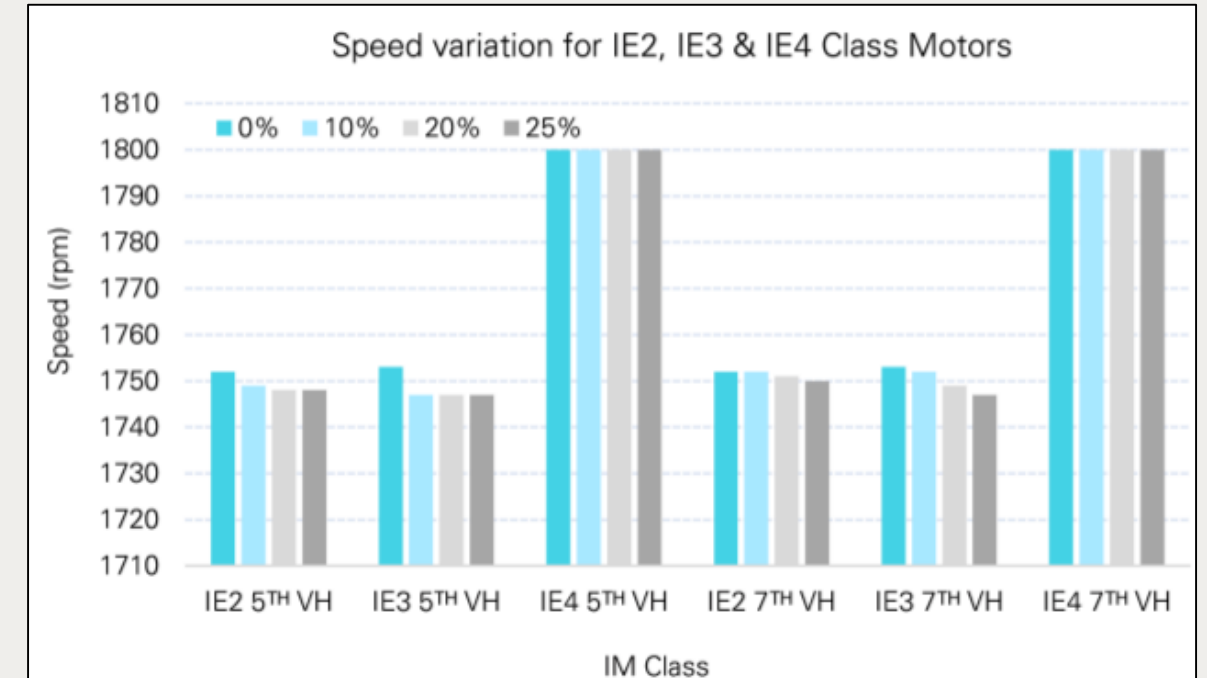
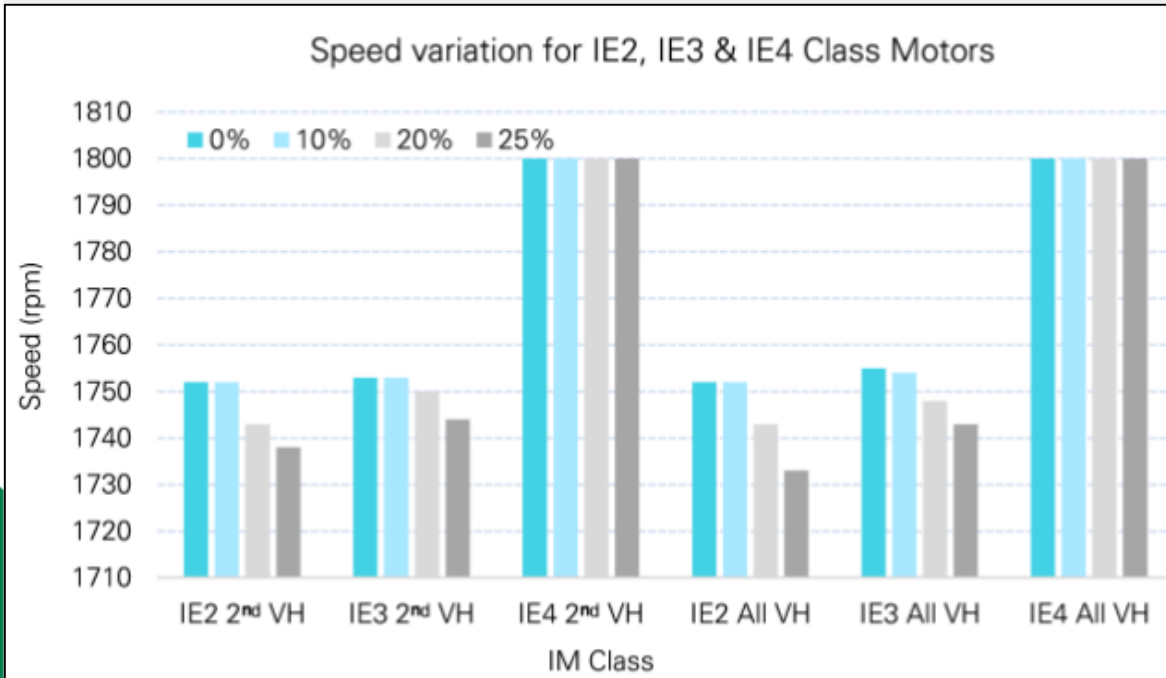
IE2 e IE3: Armónicos de corriente (3rd y 7th orden).

Induction Motors Efficiency Classes Technical - Economical Comparison

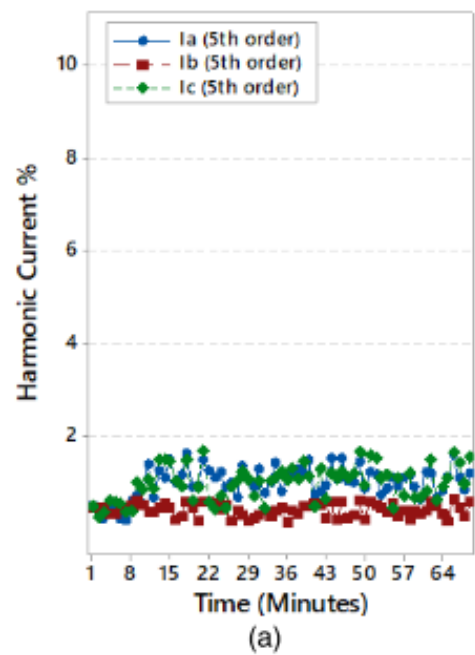


EFFICIENCY CLASSES COMPARISON

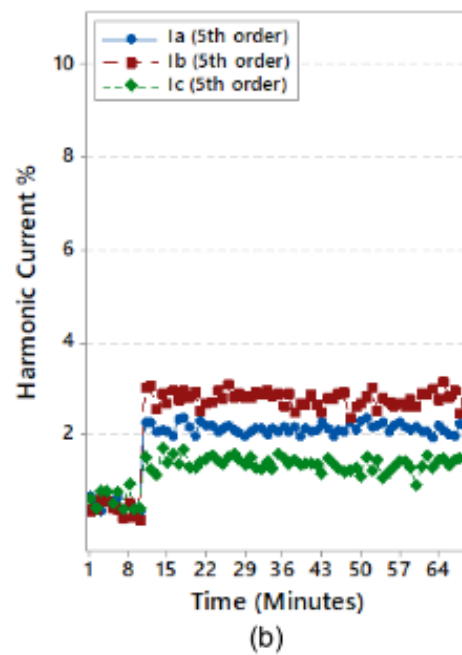




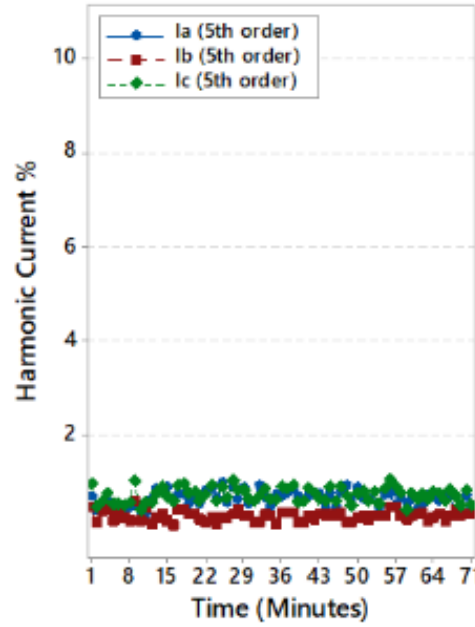
La presencia de armónicos de tensión resulta en la disminución de la velocidad de rotación de los motores eléctricos analizados. El segundo armónico de secuencia negativa resulta en mayores disminuciones para el SCIM clase IE2, pasando de 1752 rpm a valores de velocidad de 1738 rpm. El motor clase IE3 disminuye de 1753 rpm a 1744 rpm con un 25% de distorsión. La combinación de todos los armónicos da como resultado las mayores disminuciones de velocidad, siendo nuevamente el SCIM de clase IE2 el más afectado. Para el IE4, una vez alcanzado el sincronismo, la presencia de estas perturbaciones no se traduce en ninguna variación de velocidad tanto en presencia de VH como de VU.



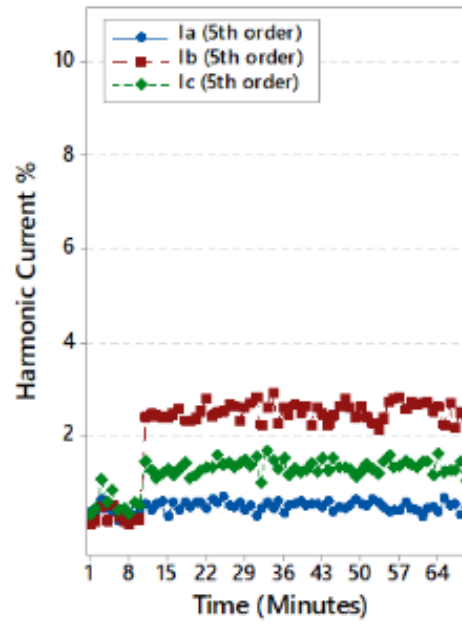
(a)



(b)

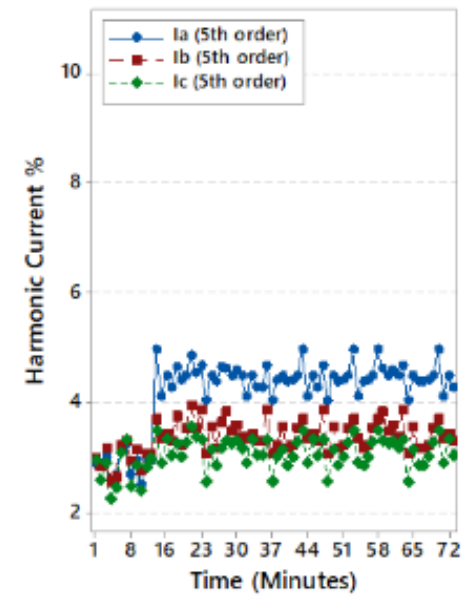


(c)

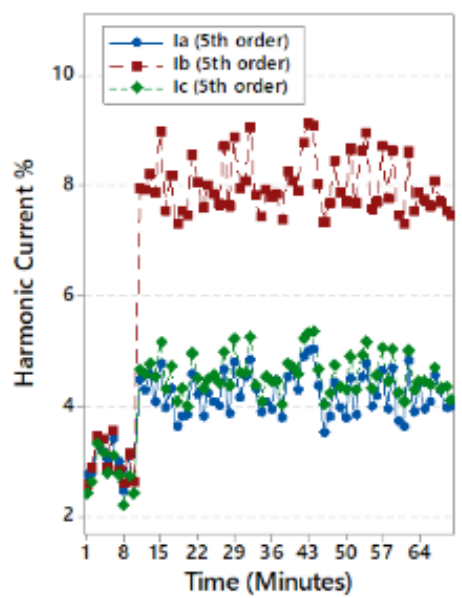


(d)

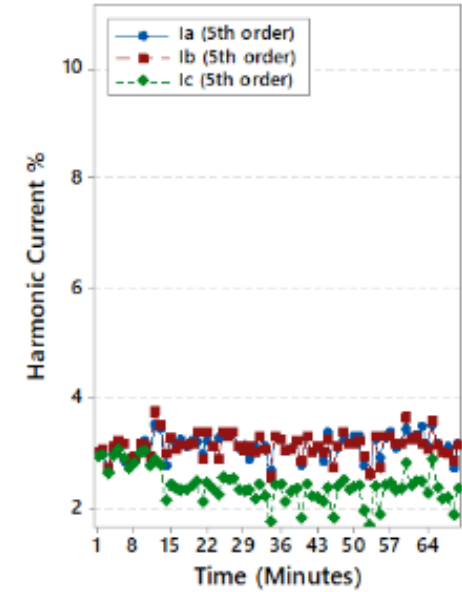
FIGURE 13. Fifth harmonic current variations for phases a-b-c for the IE3 class motor for (a) 1% VU with undervoltage; (b) 4% VU with undervoltage; (c) 1% VU with overvoltage; (d) 4% VU with overvoltage.



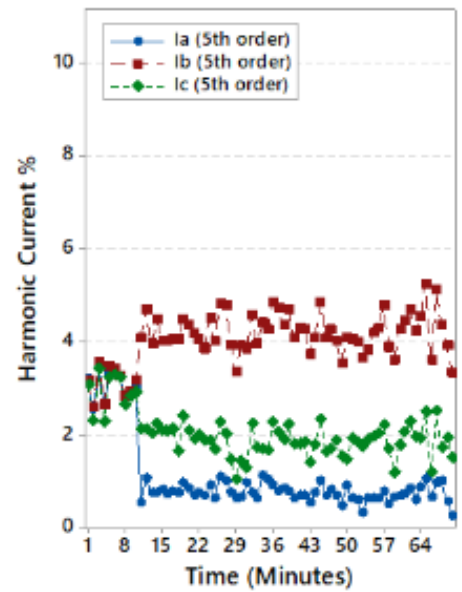
(a)



(b)

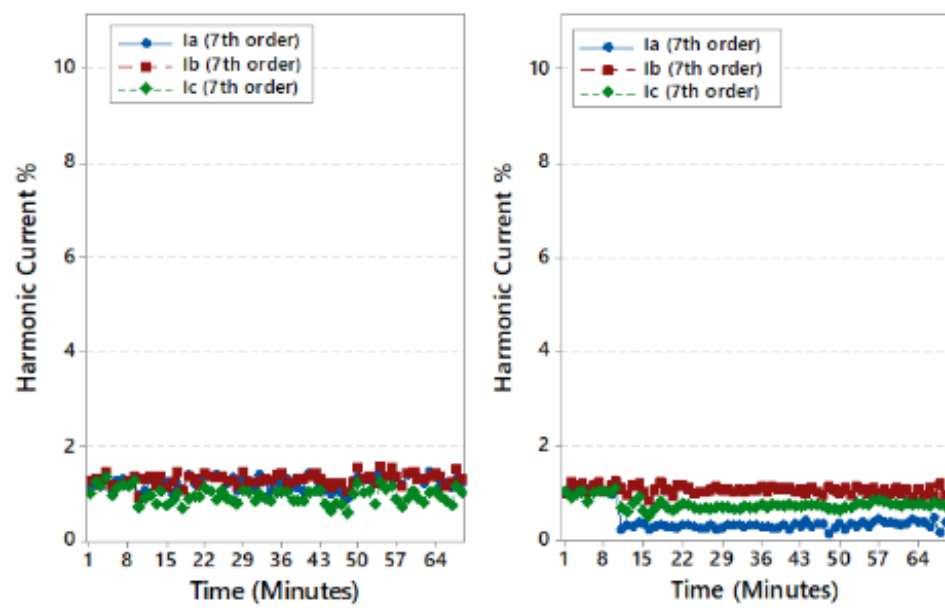


(c)

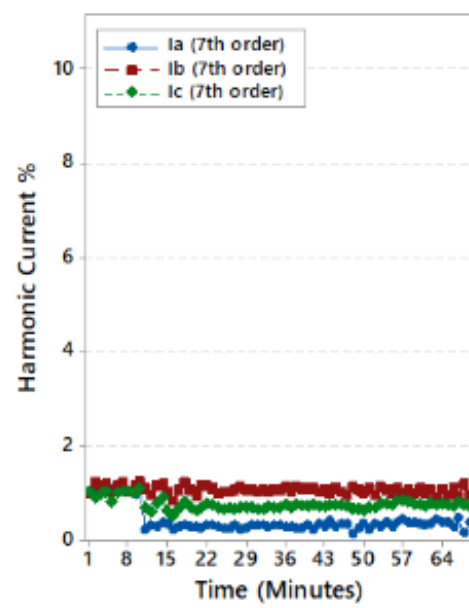


(d)

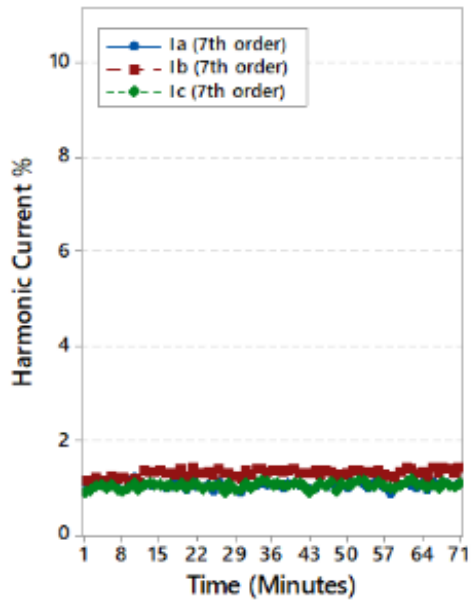
FIGURE 14. Fifth harmonic current variations for phases a-b-c for the IE4 class motor for (a) 1% VU with undervoltage; (b) 4% VU with undervoltage; (c) 1% VU with overvoltage; (d) 4% VU with overvoltage.



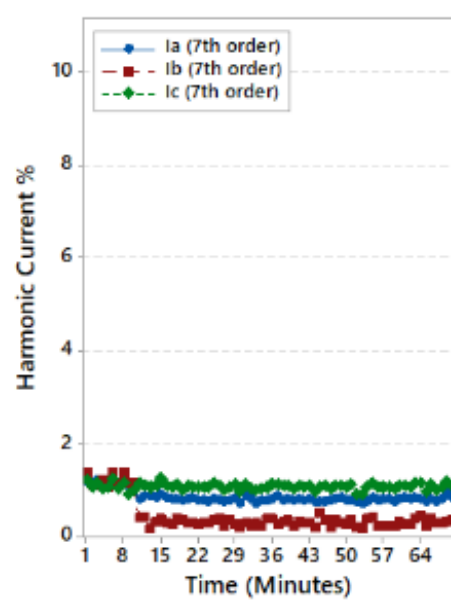
(a)



(b)

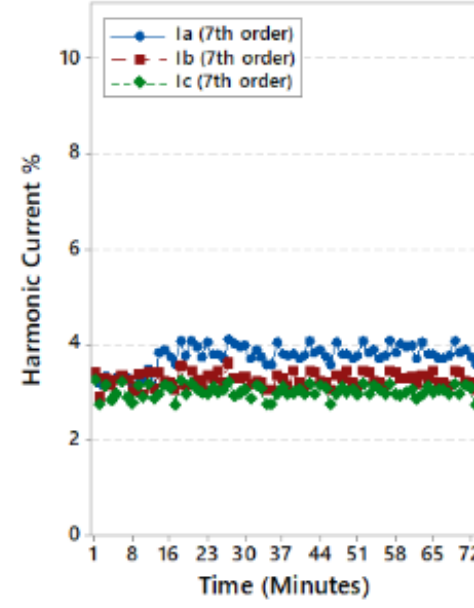


(c)

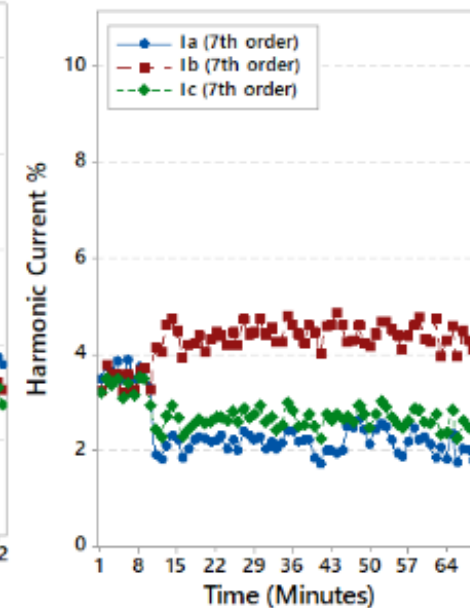


(d)

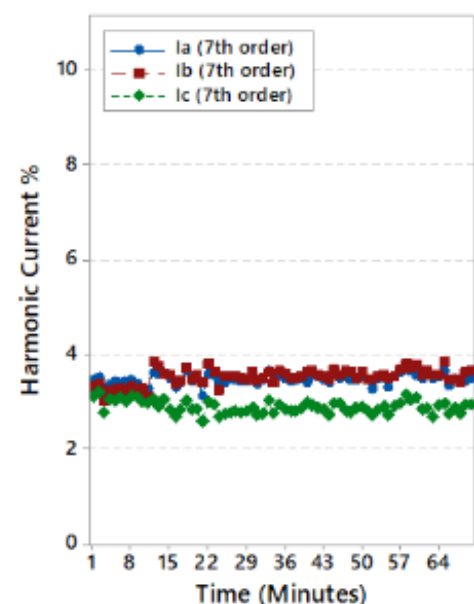
FIGURE 15. Seventh harmonic current variations for phases a-b-c for the IE3 class motor for (a) 1% VU with undervoltage; (b) 4% VU with undervoltage; (c) 1% VU with overvoltage; (d) 4% VU with overvoltage.



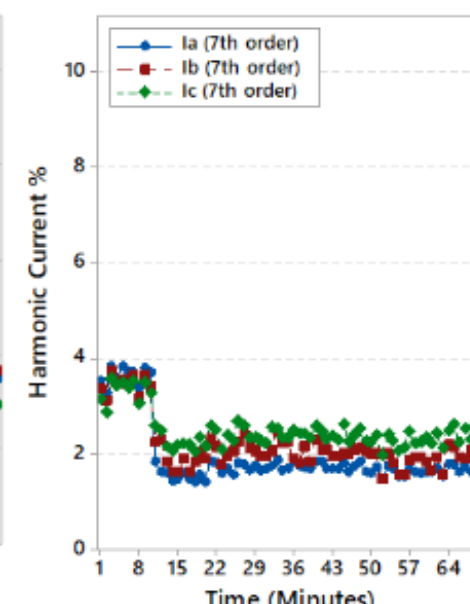
(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURE 16. Seventh harmonic current variations for phases a-b-c for the IE4 class motor for (a) 1% VU with undervoltage; (b) 4% VU with undervoltage; (c) 1% VU with overvoltage; (d) 4% VU with overvoltage.

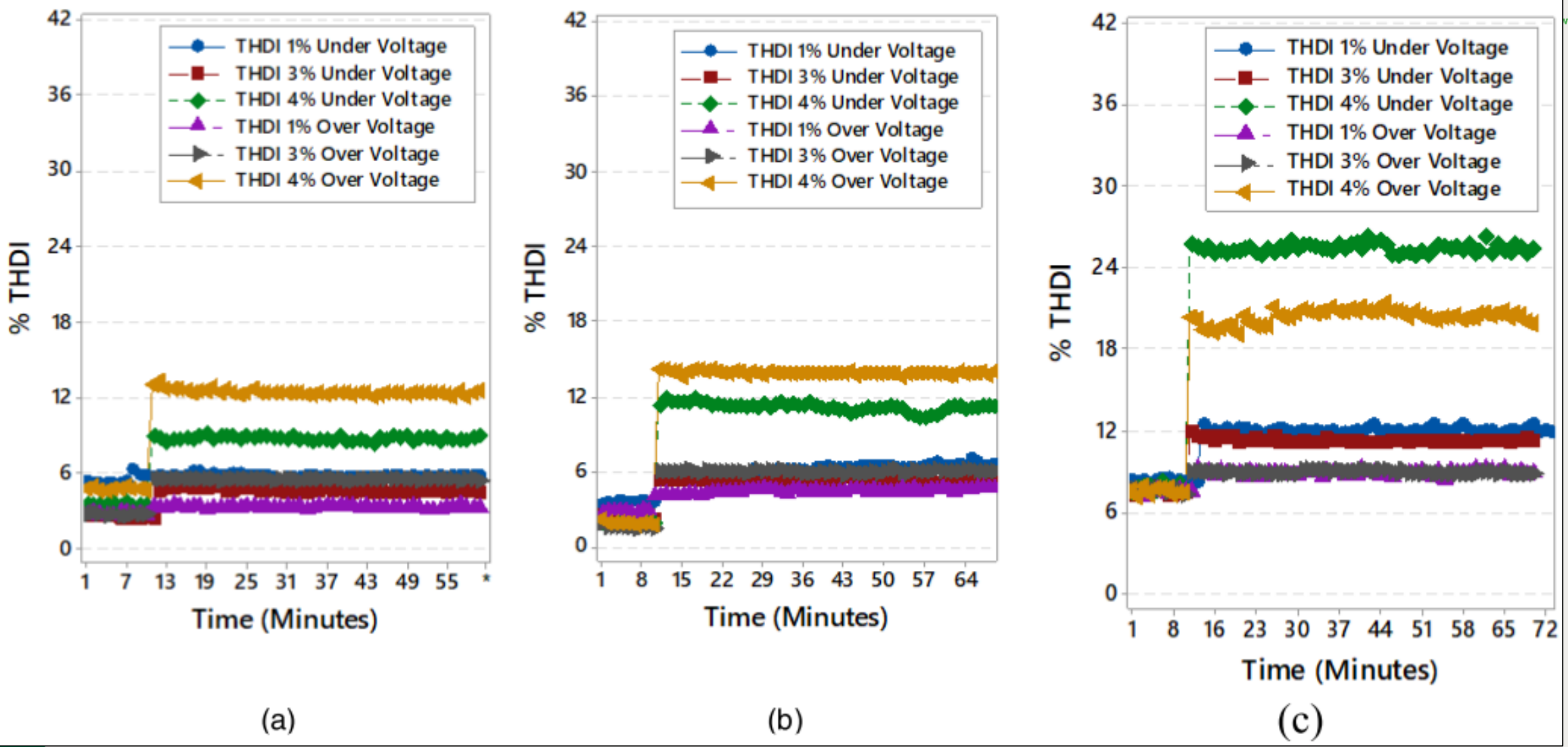


FIGURE 19. Total current harmonic distortion for under- and overvoltage unbalance conditions for (a) IE2 SCIM, (b) IE3 SCIM, and (c) IE4 LSPM.

Conclusiones



- El amplio uso de los motores eléctricos y su alta incidencia en el consumo de energía eléctrica, así como, el incremento esperado en los problemas de calidad de la energía por la transición energética y la modernización de las industrias, justifica que se continúe estudiando los efectos de los problemas de calidad de la energía en los motores eléctricos en general.
- Con el desarrollo de los motores de mayor nivel de eficiencia, específicamente con el motor de imanes permanentes clase IE4, se ha visto que las corrientes y potencia se reducen al reducirse la corriente de magnetización debido al campo magnético de los imanes. Además, el funcionamiento síncrono da como resultado menores pérdidas en el rotor y, por lo tanto, temperaturas internas y externas más bajas.
- Los pocos estudios realizados sobre el efecto de los problemas de calidad de la energía en motores de nivel de eficiencia IE4, sobre todos los de imanes permanentes, apuntan a que en lo adelante debe de considerarse a estos motores como cargas no lineales, que pueden generar distorsión en la onda de tensión en redes sin problemas de calidad de la energía, o incrementar la distorsión en redes contaminadas de armónicos o con desequilibrio de tensión.

Información personal

- Nombre: Vladimir Sousa Santos
- E-mail: vsousa1@cuc.edu.co
- Teléfono: 310 470 3138
- Empresa: Universidad de la Costa

Organizan:



Apoya:

