

Comportamiento Térmico de un Motor Trifásico con Reductor de Velocidad Bajo Distintos Niveles de Carga

Thermal Behavior of a Three-Phase Motor with Speed Reducer Under Different Load Levels

Cristian Fernando Arias Castellano¹, Rubén Darío Tirira Chulde², Édgar Javier Cajas Oña³, Karen Alegría Pilacuan Fuentes⁴, Irene Yajaira Lara Bajaña⁵

¹ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador, carias@tecnologicosucre.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador, dtirira@tecnologicosucre.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador, ecajas@tecnologicosucre.edu.ec

⁴ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador, pilacuan.karen.alegría@gmail.com

⁵ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador, irenelara@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.61236/p02p1f28>

Recibido: 18 de junio de 2026 • Revisión aceptada: 21 de septiembre de 2026.

Resumen

En el presente estudio se analizó el comportamiento térmico de un motor de inducción trifásico en dos configuraciones de funcionamiento, una sin reductor y otra con reductor de velocidad, bajo una condición en vacío y cuatro etapas sucesivas de operación con carga definidas a partir de corrientes de referencia. La temperatura de carcasa se empleó como variable principal, mientras que la corriente de línea y la velocidad de giro se utilizaron como variables de apoyo para interpretar la condición operativa del sistema. Los ensayos tuvieron una duración de 120 min, con registros cada 10 min. Los resultados mostraron que, en ambas configuraciones, la temperatura aumentó progresivamente con la exigencia operativa y el tiempo de servicio. Sin embargo, bajo el criterio experimental adoptado, la configuración con reductor presentó mayor severidad térmica en todas las condiciones evaluadas, incluso en vacío. Asimismo, la comparación entre corriente y temperatura finales indicó que la corriente no explicó por sí sola la diferencia térmica observada entre configuraciones. En conjunto, los hallazgos muestran que la evaluación térmica de motores trifásicos en servicio debe considerar, además de las variables eléctricas, la configuración mecánica bajo la cual opera el sistema.

Palabras claves: Motor de inducción trifásico; comportamiento térmico; temperatura de carcasa; carga mecánica; reductor de velocidad.

Abstract

This study analyzed the thermal behavior of a three-phase induction motor under two operating configurations, one without a speed reducer and the other with a speed reducer, considering a no-load condition and four successive loaded operation stages defined according to reference current levels. Housing temperature was used as the main variable, while line current and rotational speed were used as support variables to interpret the operating condition of the system. The tests lasted 120 min, with measurements recorded every 10 min. The results showed that, in both configurations, temperature increased progressively with operating demand and service time. However, under the adopted experimental criterion, the configuration with the speed reducer exhibited greater thermal severity under all evaluated conditions, including no-load operation. Likewise, the comparison between final current and final temperature indicated that current alone did not explain the thermal difference observed between the two configurations. Overall, the findings show that the thermal assessment of three-phase motors in service should consider not only electrical variables but also the mechanical configuration under which the system operates.

Keywords: *Three-phase induction motor; thermal behavior; casing temperature; mechanical load; speed reducer.*

1. INTRODUCCIÓN

Los motores de inducción trifásicos son uno de los medios más empleados en la industria para la conversión electromecánica de energía, debido a su robustez constructiva, fiabilidad operativa y capacidad para accionar diversas cargas mecánicas. Su presencia en sistemas de bombeo, ventilación, transporte, compresión y accionamiento general confirma su importancia en la operación continua de instalaciones eléctricas y procesos productivos [1]. En este contexto, el comportamiento del motor no sólo se relaciona con la entrega de par y velocidad, sino también con las condiciones reales de servicio, donde interactúan variables eléctricas, mecánicas y térmicas [2], [3], [4].

En toda máquina de inducción real, una fracción de la potencia absorbida no se convierte en potencia mecánica útil, sino que se disipa internamente en forma de calor debido a pérdidas óhmicas en los devanados, pérdidas en el circuito magnético y pérdidas mecánicas asociadas al rozamiento y la ventilación. Como consecuencia, la temperatura de la máquina aumenta progresivamente hasta alcanzar un régimen determinado por el equilibrio entre la generación interna de calor y su disipación al entorno. Desde esta perspectiva, la condición térmica del motor constituye una expresión física de su estado operativo y un indicador relevante para evaluar su comportamiento durante el servicio [2], [4], [5].

En aplicaciones industriales, el motor rara vez trabaja como una unidad aislada, sino como parte de un sistema motriz acoplado a elementos de transmisión mecánica que modifican la velocidad, el par y la forma en que la carga se transfiere al eje. Entre estos elementos, los reductores de velocidad ocupan un lugar importante porque permiten adaptar la respuesta mecánica del conjunto a las exigencias del proceso [6], [7]. Sin embargo, su incorporación también cambia las condiciones reales de operación del motor, por lo que la interpretación de su respuesta térmica no debe limitarse a la máquina de forma individual, sino considerar el sistema motriz completo bajo condiciones representativas de servicio [3], [4], [8]. El comportamiento térmico de los motores de inducción ha sido abordado en estudios de modelado, monitoreo y diagnóstico. La evidencia experimental y analítica muestra que la distribución y evolución de la temperatura dependen de la condición de carga, el tiempo de funcionamiento y la capacidad de disipación térmica del sistema [8], [9]. Asimismo, el uso de imágenes térmicas y procedimientos de estimación de temperatura ha reafirmado la utilidad del análisis térmico para interpretar el estado de servicio del motor y detectar condiciones operativas de mayor severidad [5], [10], [11], [12]. Desde este punto de vista, resulta pertinente comparar la respuesta térmica de un motor trifásico operando sin reductor y con reductor de velocidad, especialmente cuando las condiciones de trabajo se

establecen a partir de una exigencia eléctrica progresiva. Este enfoque permite valorar la evolución de la temperatura de carcasa a lo largo del tiempo y la variación de su severidad térmica cuando se incorpora un elemento de transmisión mecánica [13], [14], [15]. Por ello, el objetivo de este artículo es comparar el comportamiento térmico de un motor trifásico en configuración sin reductor y con reductor de velocidad, bajo diferentes etapas de operación definidas por corrientes de referencia, con el fin de aportar evidencia experimental sobre la variación de su condición térmica de carcasa [2], [5], [12], [16].

2. METODOLOGÍA

2.1. Configuración experimental

La investigación se desarrolló mediante un estudio experimental comparativo orientado al análisis de la respuesta térmica de un motor trifásico de inducción en dos configuraciones, una sin reductor y otra con reductor de velocidad. En cada configuración se evaluó una condición en vacío y cuatro etapas sucesivas con carga, bajo un esquema uniforme de medición de 120 min por ensayo. La temperatura de carcasa del motor se definió como variable principal, mientras que la corriente de línea y la velocidad de giro se emplearon como variables de apoyo para interpretar la condición operativa. En consecuencia, el análisis se centró en la evolución comparativa de la temperatura

superficial de la carcasa bajo condiciones definidas a partir de la corriente alcanzada.

2.2. Sistema experimental

El sistema experimental estuvo conformado por un motor trifásico de inducción de 12 terminales y un reductor de velocidad acoplable al eje, con los cuales se establecieron las dos configuraciones de ensayo, sin reductor y con reductor. El motor operó en baja tensión con alimentación de 220 V, de acuerdo con su placa de características. Los datos nominales se obtuvieron directamente de la placa de identificación y se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características nominales del motor ensayado.

Parámetro	Valor
Tipo de máquina	Motor trifásico de inducción
Configuración	12 terminales
Potencia nominal	0,75 kW
Tensión nominal	220/380/440 V
Corriente nominal	3,02/1,75/1,51 A
Frecuencia	60 Hz
Velocidad nominal	1730 min ⁻¹
Factor de potencia	0,81
Clase de aislamiento	F
Elevación de temperatura	ΔT 80 K
Grado de protección	IP55

Fuente. Elaboración propia a partir de la placa de características del motor ensayado.

Como elemento de transmisión mecánica se empleó un reductor de velocidad de tornillo sinfín-corona, incorporado únicamente en la configuración con reductor. Su función consistió en reducir la velocidad de salida del conjunto y transmitir la carga mecánica aplicada durante los

ensayos. De acuerdo con la placa de identificación y la ficha técnica consultada, el reductor presentó una relación de reducción de 30 y una brida de acople 80B5, como se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Características del reductor de velocidad.

Parámetro	Valor
Tipo	Reductor de velocidad de tornillo sinfín
Serie o especificación	FCNDK63
Relación de reducción	30
Brida	80B5

Fuente. Elaboración propia a partir de la placa de características del motor reductor empleado.

La temperatura de carcasa se registró sobre la superficie externa del motor bajo un mismo criterio de observación en todas las condiciones evaluadas, con el propósito de asegurar la comparabilidad entre ensayos. La corriente se obtuvo a partir de las mediciones en las tres líneas de alimentación y la velocidad de giro se determinó como variable de apoyo para contextualizar la condición operativa del sistema. En la configuración con reductor también se consideró la velocidad de salida como referencia cinemática complementaria.

2.3. Condiciones de ensayo

Las condiciones de ensayo se organizaron en dos configuraciones, correspondientes al motor sin reductor y al motor acoplado a un reductor de velocidad. En ambos casos se evaluó una condición en vacío y cuatro etapas sucesivas con carga, definidas mediante incrementos progresivos de carga mecánica externa hasta alcanzar corrientes de referencia y una condición final próxima a la

corriente nominal del motor a 220 V. Por tanto, las etapas se establecieron con base en la corriente alcanzada durante cada ensayo y no a partir de una magnitud mecánica de carga previamente normalizada entre configuraciones. La estructura general de estas condiciones de operación se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Organización general de las condiciones de operación evaluadas

Configuración de ensayo	Condición de operación	Criterio metodológico
Motor reductor sin de velocidad	Vacío	Operación sin carga externa
	Primera condición de carga	Incremento progresivo de carga hasta alcanzar 2,2 A
	Segunda condición de carga	Incremento progresivo de carga hasta alcanzar 2,5 A
	Tercera condición de carga	Incremento progresivo de carga hasta alcanzar 2,7 A
	Cuarta condición de carga	Incremento progresivo de carga hasta alcanzar una condición próxima a 3,0 A
Motor reductor con de velocidad	Vacío	Operación sin carga externa
	Primera condición de carga	Incremento progresivo de carga hasta alcanzar 2,2 A
	Segunda condición de carga	Incremento progresivo de carga hasta alcanzar 2,5 A
	Tercera condición de carga	Incremento progresivo de carga hasta alcanzar 2,7 A
	Cuarta condición de carga	Incremento progresivo de carga hasta alcanzar una condición próxima a 3,0 A

Fuente. Elaboración propia a partir de las condiciones experimentales de ensayo.

En ambas configuraciones, las etapas con carga se definieron mediante la aplicación progresiva de carga mecánica externa hasta alcanzar las corrientes de referencia previamente establecidas.

Para ello se utilizó un freno mecánico acoplado al eje, cuyo ajuste se incrementó gradualmente durante cada ensayo hasta obtener la corriente deseada. Así, el criterio metodológico de ajuste se mantuvo constante y se fundamentó en la respuesta eléctrica del motor hasta una condición próxima a su corriente nominal a 220 V. Por tanto, las etapas se interpretaron como condiciones sucesivas de operación definidas por la corriente alcanzada. La comparación desarrollada corresponde a una evaluación experimental de la respuesta térmica bajo un mismo criterio operativo de ajuste, sin asumir equivalencia mecánica estricta ni identidad de par entre las configuraciones comparadas.

Cada ensayo tuvo una duración de 120 min, con registros cada 10 min desde el minuto cero hasta el minuto 120, todos los ensayos se realizaron días. La temperatura de carcasa se tomó como variable principal, mientras que la corriente en las tres líneas y la velocidad de giro se emplearon como variables de apoyo para contextualizar la condición operativa. En la configuración con reductor también se registró la velocidad de salida como referencia cinemática complementaria.

Para disminuir la influencia de la acumulación térmica entre ensayos, cada medición se realizó en días distintos, permitiendo que el motor retornara a una condición térmica inicial cercana a la temperatura ambiente. Además, todas las pruebas se efectuaron en un horario similar, a fin de conservar condiciones ambientales comparables. Aunque el estudio no se planteó como un ensayo

de control climático riguroso, la cercanía entre las temperaturas iniciales registradas constituyó un criterio práctico de comparabilidad para el análisis térmico desarrollado. Este esquema permitió disponer de registros temporales obtenidos bajo un criterio uniforme para comparar el comportamiento térmico en ambas configuraciones de ensayo [16].

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Comportamiento térmico del motor sin reductor

Para analizar el comportamiento térmico del motor en la configuración sin reductor, se presentan los indicadores más representativos obtenidos en cada condición operativa. La Tabla 4 recoge la temperatura inicial, la temperatura final, el incremento térmico, la corriente media final y la velocidad final de giro, con el fin de comparar la respuesta del motor en vacío y en las condiciones sucesivas de operación con carga, sin presentar las series temporales completas registradas.

Tabla 3. Indicadores térmicos y operativos del motor sin reductor.

Condición	Temp. inicial (°C)	Temp. final (°C)	ΔT (°C)	Corriente media final (A)	Velocidad final del motor (rpm)
Vacío	19,9	31,8	11,9	1,96	1790
Carga 1	20,0	38,0	18,0	2,26	1774
Carga 2	21,3	43,9	22,6	2,55	1763
Carga 3	20,9	49,5	28,6	2,84	1750
Carga 4	21,6	54,4	32,8	3,06	1730

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos experimentales.

En la Tabla 4 se observa que, al pasar de la condición en vacío a la cuarta condición de carga, la temperatura final del motor aumentó de 31,8 °C a 54,4 °C, mientras que el incremento térmico pasó de 11,9 °C a 32,8 °C. De forma simultánea, la corriente media final creció de 1,96 A a 3,06 A y la velocidad de giro descendió de 1790 rpm a 1730 rpm. Estos resultados muestran que, en la configuración sin reductor, la mayor exigencia operativa estuvo asociada con una respuesta térmica progresivamente más intensa, acompañada por mayor demanda eléctrica y disminución gradual de la velocidad del motor.

Para complementar la síntesis presentada en la Tabla 4, la Figura 1 muestra la evolución temporal de la temperatura de carcasa del motor sin reductor en las cinco condiciones operativas evaluadas. Esta representación permite apreciar las diferencias entre temperaturas finales y la forma en que la respuesta térmica progresa durante los 120 min de ensayo en cada condición de operación.

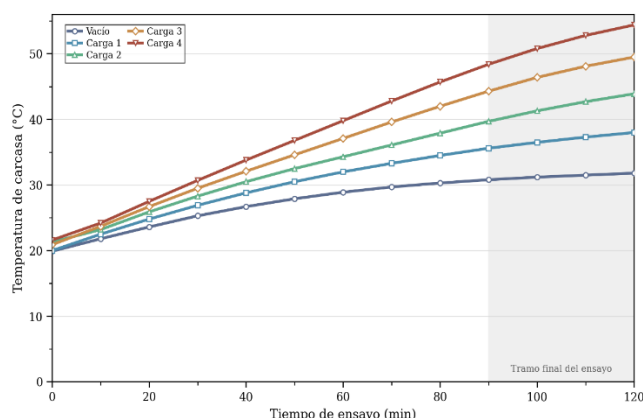


Figura 1. Evolución de la temperatura de carcasa del motor sin reductor en las distintas condiciones de operación.

En la Figura 1 se observa que todas las condiciones presentaron una tendencia ascendente de temperatura durante el ensayo, aunque con trayectorias y valores finales diferenciados. La condición en vacío mostró la evolución térmica más lenta, mientras que las etapas sucesivas con carga condujeron a incrementos progresivamente mayores y a una separación creciente entre curvas conforme avanzó el tiempo de operación. Este comportamiento indica que, en la configuración sin reductor, la respuesta térmica del motor estuvo condicionada tanto por el tiempo de servicio como por la exigencia operativa alcanzada en cada ensayo.

3.2. Comportamiento térmico del motor con reductor

Para analizar la configuración con reductor, se presentan los indicadores más representativos obtenidos en cada etapa evaluada. La Tabla 5 resume la temperatura inicial, la temperatura final, el incremento térmico, la corriente media final, la velocidad final del motor y la velocidad de salida, con el fin de comparar la respuesta térmica de carcasa en vacío y en las condiciones sucesivas de operación con carga, sin recurrir a las series temporales completas registradas.

Tabla 4. Indicadores térmicos y operativos del motor en configuración con reductor en las distintas condiciones de operación.

Condición	Temp. inicial (°C)	Temp. final (°C)	ΔT (°C)	Corriente media final (A)	Velocidad final del motor (rpm)	Velocidad de salida (rpm)
Vacío	20,2	41,6	21,4	1,95	1787	59,6
Carga 1	20,1	54,0	33,9	2,48	1767	58,9
Carga 2	20,3	63,8	43,5	2,87	1739	57,9
Carga 3	20,4	71,8	51,4	3,10	1721	57,3
Carga 4	20,3	83,2	62,9	3,23	1707	56,8

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos experimentales.

En la Tabla 5 se observa que la temperatura final de carcasa aumentó progresivamente, desde 41,6 °C en vacío hasta 83,2 °C en la cuarta condición de carga, con incrementos térmicos entre 21,4 °C y 62,9 °C. De forma simultánea, la corriente media final pasó de 1,95 A a 3,23 A, mientras que la velocidad final del motor descendió de 1787 rpm a 1707 rpm y la velocidad de salida disminuyó de 59,6 rpm a 56,8 rpm. En conjunto, estos resultados muestran que la operación con reductor estuvo asociada con una condición térmica de carcasa más severa y con una reducción progresiva de la velocidad conforme aumentó la exigencia operativa.

Para complementar la síntesis presentada en la Tabla 5, la Figura 2 muestra la evolución temporal de la temperatura de carcasa del motor con reductor en las cinco condiciones evaluadas. Esta representación permite observar la progresión térmica durante los 120 min de ensayo y la separación entre condiciones conforme avanza el tiempo de servicio

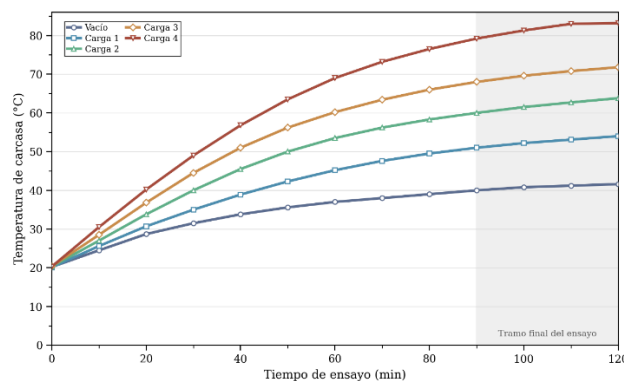


Figura 2. Evolución de la temperatura de carcasa del motor en configuración con reductor en las distintas condiciones de operación.

En la Figura 2 se aprecia que todas las condiciones presentaron una tendencia creciente de temperatura, aunque con una severidad térmica superior a la observada en la configuración sin reductor. La condición en vacío ya mostró valores finales mayores, mientras que las etapas sucesivas con carga condujeron a trayectorias térmicas progresivamente más elevadas y con mayor separación entre curvas conforme aumentó la exigencia operativa. Este comportamiento muestra, dentro del alcance experimental del estudio, que la operación con reductor estuvo asociada a una evolución térmica más severa de la carcasa del motor.

3.3. Comparación térmica entre circuitos

Para comparar directamente ambas configuraciones, la Figura 3 presenta el incremento térmico final de la carcasa del motor sin reductor y con reductor para cada una de las cinco condiciones evaluadas. Esta representación permite identificar,

en un mismo plano comparativo, la diferencia de severidad térmica observada conforme aumenta la exigencia operativa.

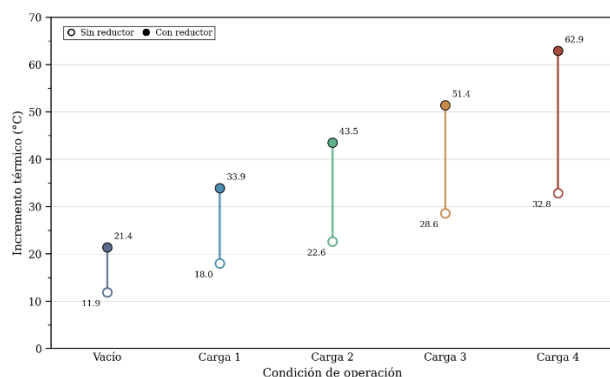


Figura 3. Comparación del incremento térmico final de la carcasa del motor entre las configuraciones sin reductor y con reductor.

La Figura 3 muestra que la configuración con reductor presentó incrementos térmicos superiores en todas las condiciones evaluadas. En vacío, la diferencia ya fue apreciable, con 21,4 °C en la configuración con reductor frente a 11,9 °C en la configuración sin reductor. Esta separación se amplió progresivamente conforme aumentó la exigencia operativa, hasta alcanzar 62,9 °C en la cuarta condición de carga con reductor y 32,8 °C en la condición correspondiente sin reductor. En consecuencia, bajo las condiciones ensayadas, la operación con reductor estuvo asociada de manera consistente con una mayor severidad térmica de carcasa.

3.4. Relación entre corriente y temperatura final

Para complementar la comparación térmica, la Figura 4 relaciona la corriente media final con la

temperatura final registrada en ambas configuraciones. Esta representación permite examinar si el aumento de la exigencia eléctrica se acompaña de una elevación térmica coherente e identificar la diferencia de respuesta entre el motor sin reductor y con reductor bajo condiciones operativas comparables.

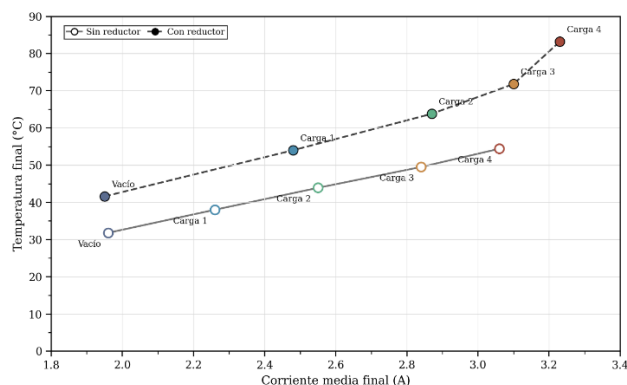


Figura 4. Relación entre corriente media final y temperatura final de carcasa en las configuraciones sin reductor y con reductor.

En la Figura 4 se observa que, en ambas configuraciones, el aumento de la corriente media final estuvo acompañado por un incremento de la temperatura final. Sin embargo, para corrientes similares, el motor con reductor alcanzó temperaturas sistemáticamente más altas. Este comportamiento indica que la respuesta térmica observada no dependió únicamente del nivel de corriente, sino también de la condición mecánica de operación del conjunto probado. En consecuencia, bajo las condiciones evaluadas, la operación con reductor presentó mayor severidad térmica incluso cuando la exigencia eléctrica final se mantuvo en un rango similar.

3.5. Distribución térmica integrada de las condiciones de operación

La Figura 5 muestra un mapa de la temperatura de carcasa en función del tiempo de ensayo y de la condición de operación, tanto para el motor sin reductor como con reductor. Esta representación complementa la lectura de las curvas térmicas y la comparación entre configuraciones, al permitir una visualización integrada de la progresión térmica conforme aumentan el tiempo de operación y la exigencia operativa.

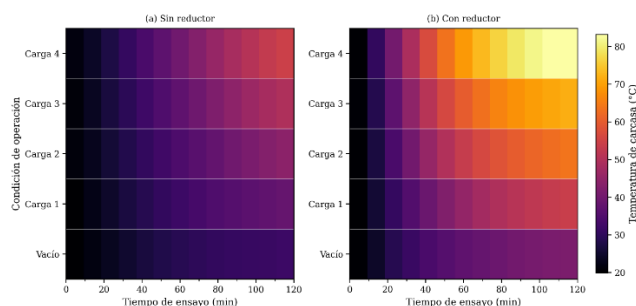


Figura 5. Mapa térmico de la temperatura de carcasa en función del tiempo y la condición de operación para las configuraciones sin reductor y con reductor.

En la Figura 5 se observa que la evolución térmica se intensificó progresivamente con el incremento simultáneo del tiempo de ensayo y de la exigencia operativa. Ambas configuraciones siguieron la misma tendencia general, aunque el motor con reductor mostró una respuesta térmica más severa que la registrada sin reductor. Este comportamiento refuerza la evidencia experimental de que, bajo las condiciones ensayadas, la operación con reductor estuvo asociada a una mayor elevación térmica de carcasa.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que la respuesta térmica de carcasa del motor estuvo condicionada tanto por la exigencia operativa como por la configuración mecánica del sistema ensayado. En ambas configuraciones se observó un aumento de temperatura con el transcurso del tiempo, lo cual concuerda con el comportamiento esperado de una máquina de inducción, donde parte de la potencia consumida se transforma en calor debido a pérdidas eléctricas y mecánicas [5]. Sin embargo, la elevación térmica no fue de igual magnitud en el motor sin reductor y con reductor, lo que indica que la condición de acoplamiento estuvo asociada a una modificación apreciable del comportamiento térmico durante el servicio.

Sin reductor, el incremento térmico avanzó de forma ordenada desde la condición en vacío hasta la de mayor exigencia, acompañado por el aumento de la corriente media final y la disminución progresiva de la velocidad de giro. Este comportamiento es consistente con la respuesta de un motor de inducción sometido a carga creciente, en la que el aumento de la demanda mecánica suele reflejarse en mayor absorción de corriente y en una reducción de la velocidad respecto de la condición en vacío, asociada al incremento del deslizamiento operativo [4]. En este sentido, la evolución térmica registrada puede interpretarse como la expresión superficial de una condición electromecánica progresivamente más exigente.

Con el uso del reductor se mantuvo la tendencia general de incremento térmico, pero con una severidad mayor en todas las condiciones evaluadas. La diferencia fue observable desde la condición en vacío y se amplió conforme aumentó la exigencia operativa. Esta interpretación se refuerza al comparar los incrementos térmicos finales, pues el motor sin reductor alcanzó un máximo de 32,8 °C, mientras que la operación con reductor llegó a 62,9 °C en la condición de mayor exigencia. Además, la relación entre corriente media final y temperatura final mostró que, para valores semejantes de corriente, el motor con reductor mantuvo temperaturas de carcasa sistemáticamente superiores. Por tanto, aunque la corriente es una variable útil para definir y comparar condiciones operativas, no explica por sí sola toda la respuesta térmica observada, por lo que la condición mecánica de operación debe considerarse como un factor relevante para interpretar el calentamiento registrado.

Físicamente, este comportamiento puede entenderse como resultado de la interacción entre carga mecánica, régimen de giro y disipación de pérdidas. En un motor de inducción, el aumento de exigencia suele traducirse en mayor absorción de corriente y, por tanto, en incremento de pérdidas en los devanados. Sin embargo, cuando el motor opera acoplado a un sistema de transmisión, la respuesta térmica también puede depender de la forma en que dicho elemento modifica la condición de funcionamiento del conjunto durante el ensayo. En

este estudio no se midieron de forma directa el par, la potencia mecánica ni las pérdidas internas del reductor, por lo que no corresponde atribuir la diferencia térmica observada a un único mecanismo físico ni asumir equivalencia de carga entre configuraciones. Por tanto, el principal aporte de los resultados es mostrar que, bajo el criterio experimental adoptado, la configuración con reductor estuvo asociada a una respuesta térmica de carcasa más severa.

Con la evidencia obtenida, se puede afirmar que, bajo las condiciones ensayadas y el criterio operativo adoptado, la configuración con reductor estuvo asociada a una respuesta térmica de carcasa más severa que la observada sin reductor. Esta interpretación se apoya en los indicadores resumidos, las trayectorias térmicas temporales, la comparación de incrementos térmicos finales y la relación entre corriente y temperatura. Por ello, la evaluación térmica del motor no debería restringirse a variables eléctricas aisladas, sino incorporar también la configuración mecánica bajo la cual opera el sistema, dentro de los alcances que el diseño experimental permite sostener.

5. CONCLUSIONES

- El estudio permitió determinar que la temperatura de carcasa del motor se elevó progresivamente con la exigencia operativa y el tiempo de servicio en ambas configuraciones evaluadas. Sin embargo, bajo el criterio experimental adoptado, la

operación con reductor estuvo asociada de forma consistente a una respuesta térmica más severa que la observada sin reductor.

- La diferencia entre configuraciones fue evidente no solo en las condiciones con carga, sino también en vacío, donde el sistema acoplado al reductor alcanzó temperaturas finales superiores a las del motor sin reductor. Este comportamiento indica que la incorporación del elemento de transmisión estuvo asociada a una modificación de la condición operativa del conjunto, por lo que su influencia térmica no se limita a las etapas de mayor exigencia.
- Los resultados mostraron que la corriente, aunque fue útil para definir y ordenar las etapas de ensayo, no explicó por sí sola la diferencia térmica observada entre configuraciones. Por tanto, la interpretación del calentamiento del motor debe considerar tanto la respuesta eléctrica como la configuración mecánica de operación, especialmente cuando el sistema incorpora elementos de transmisión.
- Desde el punto de vista metodológico, el estudio ofrece una comparación experimental ordenada de la evolución térmica de carcasa del motor bajo un mismo criterio operativo de ajuste. No obstante, debido a que las etapas se definieron por la corriente alcanzada y no

por una magnitud mecánica común entre configuraciones, los resultados deben entenderse como evidencia comparativa de comportamiento térmico y no como demostración de equivalencia mecánica estricta entre las condiciones ensayadas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Chapman, "MÁQUINAS ELÉCTRICAS," 2006.
- [2] Austin. Hughes and Bill. Drury, *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. Elsevier, 2013.
- [3] A. E. Fitzgerald, Charles. Kingsley, and S. D. Umans, *Electric machinery*. McGraw-Hill, 2003.
- [4] Gilberto Enríquez Harper, *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales*, Predicción. Mexico: Editorial Limusa, S.A. de C.V., 2001.
- [5] C. Kim and K.-S. Lee, *Induction Motors - Recent Advances, New Perspectives and Applications*. IntechOpen, 2023. doi: 10.5772/intechopen.104031.
- [6] S. Madhavan *et al.*, "Thermal management analyses of induction motor through the combination of air-cooling and an integrated water-cooling system," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-36989-2.
- [7] B. Ge, J. Zhang, and D. Tao, "Thermal analysis of axial-radial hybrid ventilation motor and stator ventilation channel improvement," *IET Electr. Power Appl.*, vol. 16, no. 11, pp. 1330–1338, Nov. 2022, doi: 10.1049/elp2.12230.
- [8] A. Glowacz and Z. Glowacz, "Diagnosis of the three-phase induction motor using thermal imaging," *Infrared Phys. Technol.*, vol. 81, pp. 7–16, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.infrared.2016.12.003.
- [9] Anees Mohammed and Sinisa Djurović, "Stator Winding Internal Thermal

- Monitoring and Analysis Using in-situ FBG Sensing Technology,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2018.
- [10] M. O. Sonnaillon, G. Bisheimer, C. De Angelo, and G. O. García, “Online sensorless induction motor temperature monitoring,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 25, no. 2, pp. 273–280, Jun. 2010, doi: 10.1109/TEC.2010.2042220.
- [11] H. Ashfaq, M. Saood, and M. S. J. Asghar, “A new formulation for minimum input volt-ampere (VA)-slip relationship of three-phase induction motors,” *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 29, no. 3, pp. 253–256, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.jksues.2015.10.002.
- [12] H. Zhang, Q. Wang, L. Chen, J. Zhou, and H. Shao, “Fault Diagnosis of Industrial Motors with Extremely Similar Thermal Images Based on Deep Learning-Related Classification Approaches,” *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering*, vol. 120, no. 8, pp. 1867–1883, 2023, doi: 10.32604/ee.2023.028453.
- [13] J. H. Lee, J. H. Pack, and I. S. Lee, “Fault diagnosis of induction motor using convolutional neural network,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 15, 2019, doi: 10.3390/app9152950.
- [14] H. S. Huey Wee and N. S. Ahmad, “Review and Comparative Analysis of System Identification Methods for Perturbed Motorized Systems,” 2025, *Tech Science Press*. doi: 10.32604/cmes.2025.063611.
- [15] J. Lee and J. I. Ha, “Temperature Estimation of PMSM Using a Difference-Estimating Feedforward Neural Network,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 130855–130865, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3009503.
- [16] Sudarsono, Yuli Purwanto, Anak A. P. Susastriawan, and La Astamu, “An Effect of Zeolite Size on Performance of Dry Scrubber in Tar Removal of Biomass Derived Syngas,” *International Journal of Heat and Technology*, 2022.