



Análisis del efecto causado por el desbalance de la tensión en motores de inducción mediante el uso de las componentes simétricas

*Analysis of the effect caused by voltage imbalance in induction motors using symmetrical
components*

Autores:



Kevin Rodrigo Robles Cedeño ¹

| krobles7072@utm.edu.ec



Gabriel Enrique Pico Mera ¹

| gabriel.pico@utm.edu.ec

¹Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Ecuador

Recepción: 08 de mayo de 2026 | **Aceptación:** 30 de mayo de 2026 | **Publicación:** 10 de junio de 2026

Resumen

Dentro de la parte industrial, el voltaje trifásico que alimenta a la misma no siempre está balanceado y con ello se afecta de manera significativa el desempeño de las máquinas. En el instante que aparece la corriente de secuencia negativa dentro del motor, se producirá un incremento de la corriente y con ello las pérdidas eléctricas y afectación al torque del motor. El objetivo de la investigación fue desarrollar un análisis analítico-numérico referente al efecto que se produce dentro del motor producto del desbalance de la tensión mediante la aplicación de las componentes simétricas. Para su estudio se considera el estudio interno de la máquina mediante ecuaciones electromagnéticas que concatanen al primario y secundario del motor, tales como la potencia que se transfiere por el entrehierro hacia el rotor. Se tuvo como resultado la evaluación de escenarios de variaciones de voltaje desde el 0 hasta el 8%, donde los resultados obtenidos evidenciaron que al existir un incremento del desbalance de tensión se genera un aumento de la corriente de secuencia negativa, variaciones en el torque y en la corriente que se absorbe desde la línea hacia el motor, aumentando en sus pérdidas.

Palabras clave: Motor de inducción; desbalance de voltaje; componentes simétricas

Abstract

In industrial applications, the three-phase voltage supplying the machinery is not always balanced, significantly impacting machine performance. The moment negative-sequence current appears within the motor, an increase in current occurs, leading to electrical losses and a decrease in motor torque. The objective of this research was to develop an analytical-numerical analysis of the effect of voltage imbalance within the motor by applying symmetrical components. The study considered the internal workings of the machine using electromagnetic equations that link the primary and secondary windings of the motor, such as the power transferred through the air gap to the rotor. The results included an evaluation of voltage variation scenarios ranging from 0% to 8%. The findings demonstrated that an increase in voltage imbalance generates an increase in negative-sequence current, variations in torque, and an increase in the current drawn from the line to the motor, thus increasing its losses.

Keywords: Induction motor; voltage imbalance; symmetrical components



1. Introducción

Dentro del mundo de la industria los motores de inducción son los más utilizados debido a su robustez, mantenimientos de bajo costo y su confiabilidad. Estos motores son utilizados en sistemas de proceso de manufactura, bombeo, ventilación entre otras aplicaciones, su desempeño está relacionado a la calidad de la energía que es suministrada por la empresa distribuidora.

Las perturbaciones que se presentan en las redes de distribución que alimentan a las industrias, las variaciones o desbalance del voltaje es una de las más comunes. Esto ocurre cuando la red sufre un desequilibrio afectando a la magnitud y su ángulo de desfase. Aunque el mismo pueda ser reducido, el efecto que causa dentro del motor si es considerable ya que genera el incremento de la corriente y presencia de vibraciones en la máquina (Gnaciński et al., 2024).

El desbalance de tención dentro de un motor es el causante de la aparición de la componente de secuencia negativa, generando un campo magnético giratorio contrario al sentido de giro del campo principal. Al existir este campo contrario el torque neto se verá afectado y las perdidas por efecto joule aumenta debido al aumento de la corriente, provocando el envejecimiento del aislamiento del conductor afectando la eficiencia de la máquina (Bendiabdellah et al., 2024).

Dentro del estudio de los sistemas eléctricos de potencias, la utilización del método de las componentes simétricas es ideal para este estudio, ya que es una herramienta que permite la descomposición del sistema en componentes positivas, negativas y cero, y con ello permitiendo el análisis del efecto que provoca el desbalance del voltaje dentro del motor de inducción. Por ende, el Voltage Unbalance Factor (VUF) es un indicador que se utiliza



para cuantificar el desbalance en los sistemas de distribución y con ello evaluar el impacto dentro de la maquina (Laadjal et al., 2023).

Motores de inducción trifásica

La máquina asincrónica de inducción son los más utilizados dentro de la industria de un país, esto se debe a su construcción sencilla, robusta, bajo costo de operación y su fácil mantenimiento. En la actualidad estos motores se construyen para que puedan operar bajo cualquier ambiente, es decir, pueden ser a prueba de agua, polvo, ambientes corrosivos, entre otros.

Esta máquina se constituye por sus dos partes principales: su rotor y su estator. Su rotor puede ser de tipo devanado o jaula de ardilla, siendo este último el que se utiliza normalmente en las industrias, ya que al carecer de bobinas su mantenimiento es más sencillo (Rodríguez, R. J., & Vásquez, R. 2025).

El bobinado estática trifásico se encuentra desfasado a 120° eléctricos. Cuando sus bobinados son alimentados por una red trifásica, se genera en su entrehierro un campo giratorio cuya velocidad depende de la frecuencia del medio y del par de polos de la máquina mostrado en la ecuación 1.

$$n_c = \frac{60f}{P} \quad (1)$$

Donde:

n_c → Velocidad del campo rotante

f → Frecuencia

P → Número de Polos

Cuando el rotor se encuentra bloqueado, la máquina se comporta como un transformador convencional, y cuando entra en movimiento se comporta como un transformador rotante debido que en dicho instante tiene la capacidad de variar la frecuencia del rotor, reactancia

inductiva, impedancia, corriente y fuerza electromotriz. Todo esto es posible gracias a la variación del rebalamiento del rotor.

El rebalamiento (s) se encuentra en escalas entre 1, 0 y -1, tomando el valor de la unidad cuando el rotor se encuentra detenido, es cero cuando la velocidad del rotor (n_r) alcanza a la velocidad del campo (n_c) comportándose como generador y motor sincrónico y toma valores negativos cuando se comporta como motor asincrónico. Cuando la maquina se comporta como motor de inducción, la velocidad del rotor nunca alcanza a la velocidad sincrónica, por ende, el rebalamiento alcanza valores de casi cero, pero nunca a cero y lo determina utilizando la ecuación 2.

$$s = \frac{n_c - n_r}{n_c} \quad (2)$$

Donde:

s → Deslizamiento

n_c → Velocidad del campo

n_r → Velocidad del rotor

En condiciones óptimas de operación, el rebalamiento puede mantenerse en valores que van desde el 1 al 5 % (Pereira et al., 2022).

Cuando la maquina opera en condiciones ideales con su alimentación equilibrado, las corrientes presentan magnitudes simétricas, y su torque se mantiene prácticamente constante. Pero al existir variaciones de tensión provocará la aparición de componentes de secuencia negativa, la misma que logra alterar de manera significativa el comportamiento electromecánico de la máquina. (Lee & Wu, 2023).

La presencia de esta secuencia produce un campo magnético giratorio contrario al sentido de giro del motor, provocando la aparición de corrientes adicionales en el rotor. Por ende, las pérdidas que son producto del calentamiento y el torque electromagnético del motor tienden a elevarse (Beleiu et al., 2022).



Esto se debe a que esta componente crea un frenado electromagnético que el torque del motor, afectando directamente a la eficiencia de la máquina y disminuyendo la vida útil del bobinado estatórico debido a su calentamiento interno (Pepliński, M., & Gnaciński, P. (2024).

En función a lo antes mencionado, se debe de considerar la posibilidad de que se pueda producir interrupción del servicio eléctrico e incluso la disminución de la vida útil de la maquina producto del incremento de la corriente. Por esta razón, el análisis del comportamiento de los motores de inducción bajo las condiciones del desbalance de la tensión es un tema de estudio de gran impacto dentro del estudio de la calidad y eficiencia de la maquina (Laadjal et al., 2023).

Desbalance de tensión

La presencia del desbalance de tensión en los sistemas trifásicos se relaciona a las perturbaciones dentro de la red trifásica y representa un problema relacionado con la calidad de energía. Esto ocurre cuando las magnitudes de los voltajes de fase son diferentes o cuando el ángulo es menor o mayor a los 120° grados eléctricos de desfase que debe de existir entre líneas (Adekitan, 2020).

En un sistema trifásico, lo ideal es que las tensiones sean simétricas, garantizando una distribución uniforme de la corriente y potencia. Sin embargo, al considerar sistemas reales esto no llega a cumplirse ya que se presentan diferentes condiciones convirtiendo el sistema simétrico en asimétrico, entre estas condiciones se puede considerar la distribución errónea de las cargas monofásicas, fallas dentro de las líneas, impedancias diferentes en los conductores, entre otras.

Dentro del estudio de los motores de inducción, el desbalance de tensión toma un papel relevante, ya que estas máquinas presentan mayor grado de sensibilidad frente a la componente de secuencia negativa. Existen investigaciones donde se demuestran que el

mínimo desbalance dentro de la alimentación del motor puede generar incrementos de corriente en el motor, provocando el calentamiento y disminución de su eficiencia. (Braz et al., 2016).

El desbalance se lo puede determinar mediante la utilización del Voltage Unbalance Factor (VUF), la misma que se define como la ecuación 3, que tiene relación entre la secuencia negativa y la positiva.

$$VUF = \frac{V_2}{V_1} \times 100\% \quad (3)$$

Donde:

VUF → Voltage Unbalance Factor

V_2 → Voltaje de secuencia negativa

V_1 → Voltaje de secuencia positiva

El VUF es un indicador utilizado para el estudio de la calidad de energía debido a que permite cuantificar la presencia de los niveles de asimetría dentro del sistema trifásico. El incremento de este parámetro se relaciona directamente al aumento de las pérdidas eléctricas y el bajo rendimiento del motor. (Guasch-Pesquer et al. 2022).

Al analizar desde la parte electromagnética, la aparición de la componente negativa es provocada por el desbalance de voltaje en el motor, esta secuencia se refleja como un campo magnético giratorio en el rotor contrario al sentido de giro del eje del rotor y del campo rotante.

Esta interacción llega a producir variaciones en el torque electromagnético, incrementado las pérdidas por el aumento de calor. Según (Beleiu et al., 2022), hace referencia que incluso a pequeñas variaciones de desbalance pueden lograr incrementos significativos de corriente y por ende pérdidas en el motor.

Considere que la corriente de secuencia negativa puede determinarse mediante la ecuación 4.



$$I_2 = \frac{V_2}{Z_2} \quad (4)$$

Donde:

I_2 → Corriente de secuencia negativa

V_2 → Voltaje de secuencia Negativa

Z_2 → Impedancia del secundario

Se debe de tener en consideración que dentro del estudio la sigla sub1 hace referencia a los valores de secuencia positiva, mientras que la sigla sub 2 hace referencia a la componente de secuencia negativa.

Al existir un aumento de corriente en el rotor, las pérdidas por calentamiento o efectos Joule en el mismo se lo determinara mediante la ecuación 5.

$$P_{cu2} = 3(I_2)^2 R_r \quad (5)$$

Donde:

P_{cu2} → Las pérdidas del cobre del rotor

I_2 → Corriente de secuencia negativa

R_r → Resistencia del rotor

Al existir el aumento de pérdidas por el calentamiento produce la reducción de la vida útil del aislamiento del conductor de la máquina. Además, (Adekitan, A. I. 2020), indica que al existir estas condiciones se producen vibraciones mecánicas reduciendo considerablemente la capacidad de trabajo que tiene el motor, y por las mismas razones, la realización del estudio del desbalance que se puede producir en la tensión es de mucha importancia en el instante que se realice el diseño de las estrategias de monitoreo, cálculo de las protecciones y los diagnósticos de estas máquinas dentro de la industria.

Componentes simétricas

Este método es una de las herramientas matemáticas de mayor importancia para el estudio de los sistemas trifásicos equilibrado y también del desequilibrado, como la superposición



de 3 sistemas independientes pero equilibrado, los mismos que se lo denominan como las secuencias positivas, negativas y cero.

Dentro de un sistema ideal solo existe la presencia de la secuencia positiva, pero cuando se experimenta alguna perturbación dentro de las líneas o en la carga, como el desbalance de la tensión o la presencia de la pérdida de una fase, hace la aparición de las secuencias negativas y cero, siendo la de secuencia negativa la que provoca alteraciones en el comportamiento del motor de inducción. Según (Gnaciński, P., et al. 2024), indica que estas componentes tienen repercusiones en el deslizamiento de la máquina afectando todos sus parámetros eléctricos tales como el torque, variación de corriente y pérdidas en el motor.

Originalmente este método fue desarrollado por Charles L. Fortescue, y en la actualidad sigue siendo una herramienta pilar para el análisis de la calidad de energía, protecciones y diagnósticos de fallas.

Estas componentes se las obtiene mediante la siguiente expresión 6.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (6)$$

Donde:

$V_0 \rightarrow$ Voltaje de secuencia cero

$V_2 \rightarrow$ Voltaje de secuencia negativa

$V_1 \rightarrow$ Voltaje de secuencia positiva

Se representa un fasor o un número complejo en forma exponencial de la tensión y la corriente mediante la siguiente ecuación 7.

$$a = e^{j120} \quad (7)$$

Donde:

$a \rightarrow$ Nomenclatura para simplificar cálculos en sistemas trifásicos.



e^{j120} → Base de los logaritmos naturales, unidad imaginaria a 120 grados.

Así mismo como la tensión, las corrientes se la representan de la mediante la siguiente expresión 8.

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (8)$$

Donde:

I_0 → Corriente de secuencia cero

I_2 → Corriente de secuencia negativa

I_1 → Corriente de secuencia positiva

Un sistema equilibrado principal se representa mediante la componente de secuencia positiva, y es la responsable de la generación del campo rotante del motor en condiciones ideales, por ende, es la que crea el torque útil y mantiene el funcionamiento del motor.

La tensión y la corriente en esta secuencia se la puede expresar mediante la siguiente expresión 9.

$$V_1 = \frac{1}{3} (V_a + a^2 V_b + a V_c) \quad (9)$$

Donde:

V_1 → Voltaje de secuencia positiva

V_a → Voltaje de la fase (a)

V_b → Voltaje de la fase (b)

V_c → Voltaje de la fase (c)

Y en cuestión de la corriente se expresa mediante la ecuación 10.

$$I_1 = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (10)$$

Donde:

I_1 → Corriente de secuencia positiva



$I_a \rightarrow$ Corriente de la línea (a)

$I_b \rightarrow$ Corriente de la línea (b)

$I_c \rightarrow$ Corriente de la línea (c)

La secuencia negativa dentro de un sistema trifásico equilibrado, se lo presenta como la secuencia de fase de giro contrario a la secuencia positiva. Por ende, es la causante de la creación del campo rotante contrario a la del giro del rotor, creando el incremento de las pérdidas, producto de la variación del deslizamiento y con ello al torque útil en el motor (Quizhpe, J. E., et al. 2026). Según (Gnaciński, P., et al. 2024), indica que el incremento de la secuencia negativa, puede causar el incremento de la corriente dentro de la máquina y con ello el calentamiento del bobinado estatorico del motor. La tensión y la corriente en esta secuencia se la determinan mediante la ecuación 11.

$$V_2 = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (11)$$

Donde:

$V_2 \rightarrow$ Voltaje de secuencia negativa

$V_a \rightarrow$ Voltaje de la línea (a)

$V_b \rightarrow$ Voltaje de la línea (b)

$V_c \rightarrow$ Voltaje de la línea (c)

Y en cuestión de la corriente se expresa mediante la ecuación 12.

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) \quad (12)$$

Donde:

$I_2 \rightarrow$ Corriente de secuencia negativa

$I_a \rightarrow$ Corriente de la línea (a)

$I_b \rightarrow$ Corriente de la línea (b)



$I_c \rightarrow$ Corriente de la línea (c)

Según (Torres Pinos, L. F. 1986), indica que este método permite analizar y resolver problemas tales como desbalances, sean estos de corrientes o voltaje, fallas y cortocircuito en los sistemas eléctricos de potencia, operación de las maquinas seas monofásicas o polifásicas en un sistema desbalanceado, entre otros.

Torque electromagnético

El torque o cupla motriz de un motor de inducción trifásico se origina cuando existe circulación de corriente en el rotor creando un campo magnético propio del mismo que interactúa con el campo giratorio del estator. La energía se transfiere electromagnéticamente desde el estator, pasando por el entrehierro hasta concatenar con el rotor, esta acción se la conoce como la potencia presente en el entrehierro (P_{eh}).

Esta potencia se la puede representar mediante la ecuación 13.

$$P_{eh} = 3I_r^2 \frac{R_r}{s} \quad (13)$$

Donde:

$P_{eh} \rightarrow$ Potencia de entrehierro

$I_r \rightarrow$ Corriente rotórica

$R_r \rightarrow$ Resistencia rotórica

$s \rightarrow$ Deslizamiento o Rebalamiento

La potencia de entrehierro también se la relaciona como la transición de la potencia eléctrica que luego se convierte en mecánica, por ende, la potencia de conversión (P_{con}) se liga a esta en relación con el movimiento del rotor expresando la ecuación 14.

$$P_{con} = P_{eh}(1 - s) \quad (14)$$

Donde

$P_{con} \rightarrow$ Potencia de Conversión



P_{eh} → Potencia en el entrehierro

s → Deslizamiento o Rebalamiento

Dentro del análisis de los motores de inducción se debe de considerar que existen dos tipos de torque en la máquina, siendo el primero el que se produce magnéticamente en el entrehierro, el mismo que se lo conoce como el torque inducido, mientras que el torque que se le aplica al eje del rotor se lo conoce como torque de la carga o torque útil de la máquina. Por ende, el torque electromagnético de la maquina se la relaciona con la velocidad angular sincrónica (w_s) y se la expresa con la siguiente ecuación 15.

$$T_{ind} = \frac{P_{con}}{w_s} \quad (15)$$

Donde:

- P_{con} : Potencia de conversión
- w_s : Velocidad angular sincrónica
- T_{ind} : Torque electromagnético de inducción

Todos los parámetros eléctricos de un motor de inducción dependen netamente del resbalamiento, ya que cualquier modificación a este parámetro este afectaría al torque como a la corriente del motor (Quizhpe, J. E., et al. 2026).

Cuando existen condiciones de desbalance de tensión, la aparición de las corrientes de secuencia negativa genera un campo magnético propio en el rotor contrarios al sentido de movimiento produciendo que su torque se oponga al principal. Esto provocará la disminución del torque neto de la maquina afectando la estabilidad del motor (Gnaciński et al., 2024).

Entonces el torque neto (T_{neto}) se lo considerara como se muestra en la ecuación 16.

$$T_{neto} = T_1 - T_2 \quad (16)$$

Donde:



T_{neto} → Torque neto de la maquina

T_1 → Torque de secuencia positiva

T_2 → Torque de secuencia negativa

Según (Bendiabdellah et al., 2024), indica que el desbalance de tensión llega a provocar reducciones del torque neto y con ello la variación de las vibraciones dentro de los motores trifásicos en las industrias.

Metodología

Este estudio se realizó bajo el enfoque analítico-numérico, el mismo que se orienta al estudio del comportamiento electromagnético de un motor de inducción al enfrentarse con variaciones de voltaje en su alimentación. Esta metodología se fundamenta en realizar un análisis matemático al comportamiento interno de un motor trifásico de inducción aplicando el método de las componentes simétricas.

En primera instancia se consideró un motor trifásico de inducción con un rotor tipo jaula de ardilla en el cual no presenta desbalance alguno, para después analizar su comportamiento cuando el motor se enfrenta a un desbalance de 0 hasta el 8% de desbalance de tensión.

El procedimiento metodológico dio inicio con el planteamiento matemático del sistema trifásico del motor mediante su representación de fasores de las tensiones y corrientes de fases. Para después aplicar el método de componentes simétricas con la función de poder descomponerlas en sus secuencias positiva y negativa.

Discusión / Resultados

Dentro de las redes de distribución eléctrica y los sistemas eléctricos industriales, la presencia del desbalance de tensión es una de las perturbaciones más comunes referente a la calidad de energía, en el área de los motores trifásicos de inducción afecta directamente al comportamiento electromagnético del mismo, debido a la presencia de la



secuencia negativa se produce el incremento de la corriente y con ello la presencia de las pérdidas por calentamiento, entre otras variables eléctricas y mecánicas que se ven afectadas dentro del motor.

El estudio se lo direcciono a un motor de inducción trifásico de 4 polos y que presenta desbalance de tensión en sus líneas trifásicas donde $V_a = 220 \text{ V}$; $V_b = 210 \text{ V}$; $V_c = 200 \text{ V}$; considerando que sus ángulos se desfasan en 120 grados eléctricos, con un deslizamiento del 5%, y la impedancia estatórica es de $Z_r = 0.435 + j0.754 \Omega$, y la impedancia rotórica es de $Z_r = 0.816 + j0.754 \Omega$. Considerando estos valores la tensión de componente simétrica es de $V_1 = 210 \text{ V}$, mientras su voltaje de secuencia negativa es de $V_2 = 5.77 \text{ V}$ con un ángulo de 30 grados, y su desbalance de tensión (VUF) es de 2.75 %.

Este valor representa el desbalance de tensión presente dentro del motor de inducción puede afectar el desempeño del motor, se debe entender que la secuencia positiva representa al campo rotante del motor, mientras que la secuencia negativa representa el campo giratorio propio del rotor en sentido inverso.

En función a las corrientes del motor considerando los mismos valores se pudo demostrar que la corriente en secuencia positiva es de $I_1 = 12.48 \text{ A}$, siendo este valor la corriente nominal la misma que se relaciona con el torque nominal del motor y cual es de $T_1 = 20.237 \text{ Nm}$. Para determinar la corriente de secuencia negativa se debe de considerar el deslizamiento presente en ese instante, considerando que la velocidad angular propia del rotor es contraria ($-n_r$), la Ecuación 2 se remplaza y se obtiene la ecuación 17.

$$s_2 = \frac{n_c + n_r}{n_c} \quad (17)$$

Donde:

$s_2 \rightarrow$ Deslizamiento de secuencia negativa

$n_c \rightarrow$ Velocidad del campo rotante

$n_r \rightarrow$ Velocidad del rotor



Donde al realizar todas las operaciones matemáticas la ecuación se reduce a la ecuación 18.

$$s_2 = 2 - s \quad (18)$$

Donde:

$s_2 \rightarrow$ Deslizamiento de secuencia negativa

$s \rightarrow$ Delizamiento

Con dicha expresión el deslizamiento nos da un valor mayor a la unidad de $S_2=1.95$, el cual nos indica que existe que al existir un valor mayor a la unidad la corriente de la maquina tiene a aumentar provocando el calentamiento del bobinado y con ello el aumento de las pérdidas Joule y disminución de su eficiencia. Con lo antes mencionado la corriente de secuencia negativa es de $I_2 = 3.33$ A. por ende, la relación entre las corrientes de secuencias positiva y negativa es del 26.68%. Una vez considerado la corriente de secuencia negativa se determinó que el torque de la misma secuencia seria de $T_2 = -0.037$ Nm, donde el torque neto de la máquina de $T_{neto} = 20.16$ Nm.

En la tabla 1 se visualiza los valores mencionado considerando los desbalance desde el 0 al 8%.

Tabla 1. Variables electromagnéticas de las secuencias positivas y negativas en el motor.

VUF (%)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₂ /I ₁ (%)	T ₁ (Nm)	T ₂ (Nm)	Torque neto
0,00	210	0	12,48	0	0,00	20,237	0	20,237
1,00	210	2,1	12,48	1,21	9,70	20,237	-0,005	20,232
2,00	210	4,2	12,48	2,43	19,47	20,237	-0,02	20,217
2,75	210	5,77	12,48	3,34	26,76	20,237	-0,037	20,200
5,00	210	10,5	12,48	6,07	48,64	20,237	-0,122	20,115
8,00	210	16,8	12,48	9,71	77,80	20,237	-0,313	19,924

Fuente: Autores

En la tabla se puede observar que cuando no existe desbalance en la tensión, la corriente de secuencia negativa es nula y el torque neto se la aprovecha en su totalidad, pero en función al aumento del desbalance la corriente de secuencia negativa aumenta considerablemente. Se debe de considera que la corriente de secuencia positiva es calculado en función a la tensión de secuencia positiva, pero la corriente real de línea tiene aumentar en función a como aumenta la corriente de secuencia negativa.

En la figura1 se observa la relación entre el factor de desbalance de tensión y la corriente de secuencia negativa.

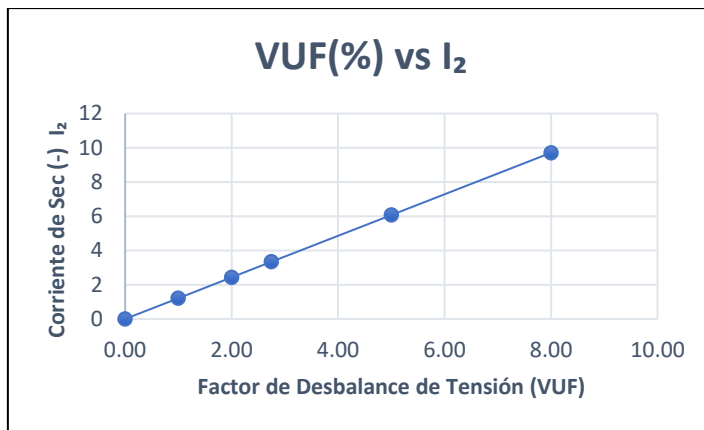


Figura 1. Relación entre el factor de desbalance de tensión y la corriente de secuencia negativa.

Fuente: Autores

Como se observa se hace la referencia entre el factor de desbalance de voltaje y la corriente de secuencia negativa, en la cual se puede notar que se comporta de una manera lineal donde al existir un desbalance diferente a cero la corriente empieza a crecer de manera proporcional.

En la figura 2 se nota Relación entre el factor de desbalance de tensión y el torque secuencia negativa.

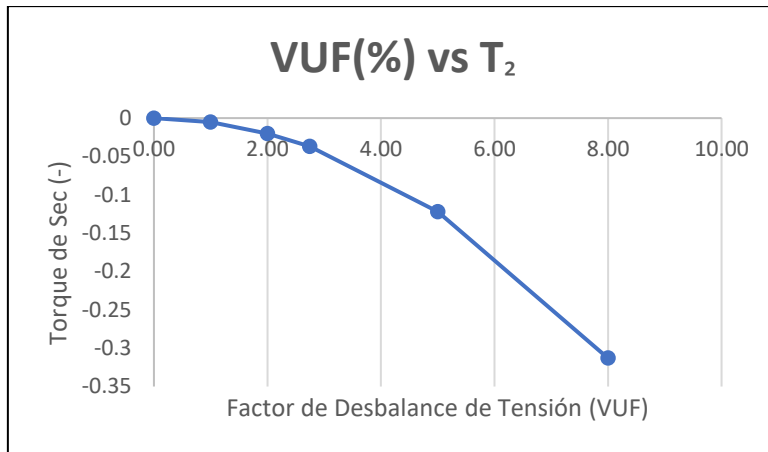


Figura 2. Relación entre el factor de desbalance de tensión y el torque de secuencia negativa.

Fuente: Autores

En la figura 2, se enfoca en la relación del factor (VUF) con el torque de secuencia negativa donde se visualiza que, a mayor desbalance, el torque contrario al de la maquina comienza a aumentar en valores negativos, el signo negativo indica que es un torque que se opone a la causa que lo está creando, y con ello aumentando la corriente del motor.

Conclusiones

La presente investigación se la enfoca al desarrollo de un análisis analítico-numérico del efecto que provoca el desbalance de la tensión internamente dentro del motor trifásico de inducción aplicando el método de las componentes simétricas. Para esto, se plantearon formulas basadas en el estudio eléctrico interno de la máquina, como la potencia que se transfiere desde el bobinado primario hacia el eje del motor, considerando la potencia que se transfiere a través del entrehierro, la misma que permitirá el análisis de las pérdidas en el estator, rotor y el torque inducido que se desarrolla bajo las condiciones balanceada y desbalanceada del sistema.

Dentro del estudio se plantearon diferentes escenarios referentes al nivel de desbalance los mismos que se consideraron desde el 0 al 8%. En cada caso se realizó un análisis de las componentes de secuencia positiva y negativa, tanto para las tensiones, las corrientes

y el torque del motor. Los resultados que se obtuvieron muestran que desde la mínima variación del voltaje se producirá un incremento de la corriente de secuencia negativa y por ende la corriente que el motor absorbe de la línea, generando mayores pérdidas en la máquina.

Referencias

- Adekitan, A. I. (2020). A new definition of voltage unbalance using supply phase shift. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 31, 718–725. <https://doi.org/10.1007/s40313-020-00579-8>
- Benamira Nadir, Dekhane Azzeddine, Bouraiou Ahmed, Issam Atoui, (2024). Exploring the effects of overvoltage unbalances on three phase induction motors: Insights from motor current spectral analysis and discrete wavelet transform energy assessment, *Computers and Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109242>.
- Beleiu, H. G., Pavel, S. G., Birou, I. M. T., Miron, A., Darab, P. C., & Sallah, M. (2022). Effects of voltage unbalance and harmonics on drive systems with induction motor. *Journal of Taibah University for Science*, 16(1), 381–391. <https://doi.org/10.1080/16583655.2022.2064670>
- Braz, H. D., da Silva, V. M., & de Oliveira, J. C. (2016). Effects of sequence voltage components on torque and efficiency of a three-phase induction motor. *Electric Power Systems Research*, 140, 942–949. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.03.051>.
- Guasch-Pesquer, L., García-Ríos, S., Jaramillo-Matta, A. A., & Vidal-Idiarte, E. (2022). Improved method for determining voltage unbalance factor using induction motors. *Energies*, 15(23), 9232. <https://doi.org/10.3390/en15239232>.



- Gnaciński, P., Pepliński, M., Muc, A., & Hallmann, D. (2024). Induction Motors Under Voltage Unbalance Combined with Voltage Subharmonics. *Energies*, 17(24), 6324. <https://doi.org/10.3390/en17246324>
- Laadjal, K., Amaral, A. M. R., Sahraoui, M., & Cardoso, A. J. M. (2023). Machine learning based method for impedance estimation and unbalance supply voltage detection in induction motors. *Sensors*, 23(18), 7989. <https://doi.org/10.3390/s23187989>
- Lee, C. Y., & Wu, J. H. (2023). Voltage imbalance assessment in three-phase induction motors using symmetrical components. *Electric Power Systems Research*, 219, 109229.
- Pepliński, M., & Gnaciński, P. (2024). Effect of Voltage Fluctuations on Induction Motor Currents. *Scientific Journal of Gdynia Maritime University*, (132), 7–19. <https://doi.org/10.26408/132.01>.
- Pereira, L. A., Nicol, G., Pereira, L. F. A., & Perin, M. (2022). Effects of high-order space harmonics on the operation of five-phase induction machines under unbalance. *ISA Transactions*, 131, 672–692.
- Quizhpe Cartuche, J. E., Witong Zambrano, I. D., & Pico Mera, G. E. (2026). Análisis comparativo de los diferentes tipos de arrancadores en motores de inducción. *Boletín Científico Ideas Y Voces*, 6(1), Pág. 241–258. <https://doi.org/10.60100/bciv.v6i1.300>
- Rodríguez Lozoya, R. J., & Vásquez León, R. (2025). Análisis del desempeño de motores de inducción trifásicos. *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*. <https://doi.org/10.19136/admt.300425.285>

Torres Pinos, L. F. (1986). Análisis de un motor de inducción por componentes simétricos. ESPOL. FIEC: Potencia, Guayaquil. 403p.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/61807>

