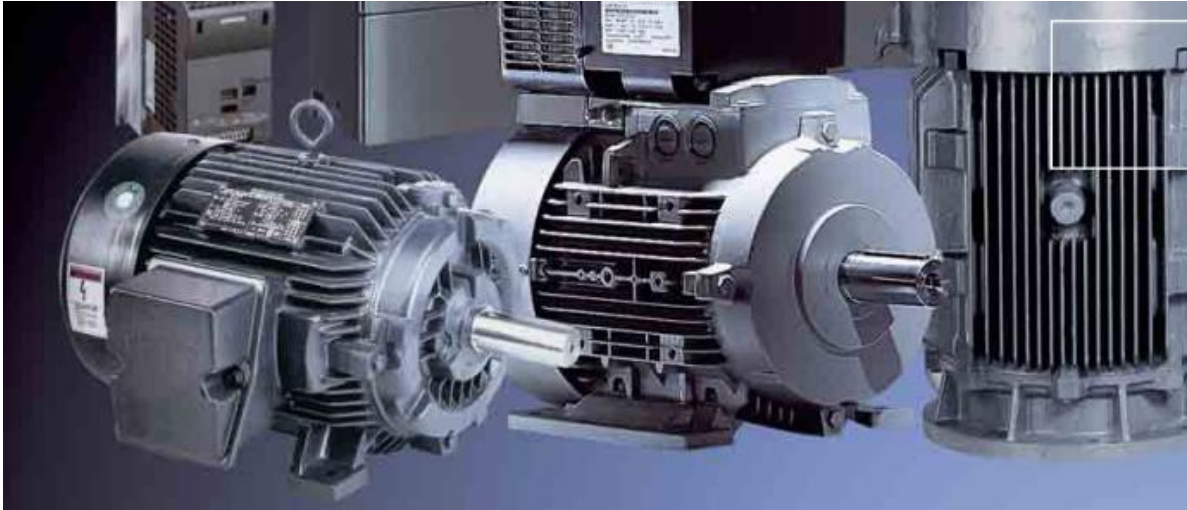


# SELECCIÓN DE LA TENSIÓN DE PLACA DE MOTORES TRIFASICOS

Por: Freddy Quijaite Davila, enero 2024



<https://www.linkedin.com/pulse/selecci%25C3%25B3n-de-la-tensi%25C3%25B3n-placa-motores-trif%25C3%25A1sicos-quijaite-davila>

## 1 INTRODUCCIÓN

Seleccionar el motor adecuado para una aplicación específica implica una cuidadosa consideración de la tensión de placa, que representa la tensión nominal para la cual el motor ha sido diseñado. Es esencial garantizar la compatibilidad con la tensión de suministro eléctrico, proveniente de la red eléctrica y suministrada al motor. La falta de concordancia entre la tensión de placa y la de suministro podría resultar en un funcionamiento incorrecto o daños al motor.

En este contexto, se implementa una estrategia deliberada ajustando la tensión de placa del motor por debajo de la tensión de la barra de alimentación. Esta diferencia entre las tensiones en las barras y la de placa juega un papel crucial en controlar la caída de tensión en el sistema. Además, esta configuración permite que la tensión en las barras suministre energía de manera continua, incluso durante variaciones de hasta +/-10% en la tensión de placa del motor. Este enfoque resulta ventajoso, ya que la tensión en las barras, que generalmente varía en el rango de +/-5%, se ajusta de manera apropiada a la variación más amplia de +/-10% en la tensión de placa del motor. En resumen, la selección adecuada de las tensiones es fundamental para lograr un rendimiento óptimo del motor. La estrategia de ajuste intencional contribuye significativamente a la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico.

## 2 TENSIÓN DE BARRA DE SUMINISTRO Y TENSIÓN DE OPERACIÓN DEL MOTOR (TENSIÓN DE PLACA).

En términos generales, conforme a los estándares NEMA, las tensiones en barras del suministro eléctrico para motores trifásicos a 60 Hz se definen como múltiplos de 120, resultando en valores como 120, 240, 480 y 600 VCA. Por otro lado, la tensión de operación de los motores, denominada tensión de placa se elige en múltiplos de 115, generando valores como 115, 230, 460 y 575 VCA.

En esencia, la tensión de placa del motor se ajusta intencionadamente por debajo de la tensión en barras de alimentación. La disparidad entre estas tensiones contribuye al control de la caída de tensión en el sistema y permite que la tensión en barras suministre energía durante variaciones de hasta +/-10% en la tensión de placa del motor.

Esta discrepancia de tensiones resulta beneficiosa, ya que, por ejemplo, cuando la tensión en barras varía típicamente en +/-5%, se adapta adecuadamente a la variación más amplia de +/-10% en la tensión de placa del motor. Tomando un caso práctico, si la tensión en barras es de 480 VCA, un motor con una tensión de placa de 460 VCA debería poder operar sin daño en un rango de 414 VCA a 506 VCA.

En el ámbito minero e industrial de gran envergadura, las tensiones de operación (placa) más comunes para motores trifásicos son 460 VCA y 4000 VCA. En la tabla que se presenta a continuación, se detallan los valores nominales estándar según la normativa IEEE 141 para la tensión de operación (placa) y la tensión en barras del suministro eléctrico.

Tensión de barra (Vca)	Tensión de placa (Vca)
208	200
240	230
480	460
600	575
4160	4000
4800	4600
6900	6600
13800	13200

Referencia: Tabla 3-7 ANSI/IEEE 141-1993.

Mientras que, en el ámbito industrial de tamaño mediano, comercial y en edificaciones, específicamente en sistemas que siguen las normativas IEC para motores trifásicos (generalmente a 50 Hz), la tensión de placa coincide con la tensión de operación de la barra. Se observan valores como 220 VCA, 380Y/220 VCA, y 440 VCA. En este contexto, se recomienda el uso de tensiones trifásicas en barras de 230 VCA, 400Y/230 VCA y 440 VCA.

En sistemas con configuraciones como 380Y/220 VCA, es común combinar cargas monofásicas de 220 VCA con cargas trifásicas de 380 VCA. En tales casos, la consideración de una tensión de barra de 400Y/230 VCA resulta beneficiosa, ya que no solo satisface las necesidades de las cargas monofásicas, sino que también permite el funcionamiento de motores trifásicos con tensiones de placa de 380 VCA e incluso 415 VCA. Este enfoque proporciona flexibilidad y eficiencia en la operación del sistema, atendiendo tanto a las demandas monofásicas como a las trifásicas de manera integral.

### 3 INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE TENSIÓN Y FRECUENCIA EN EL MOTOR

La operación óptima de un motor se logra cuando se mantiene en un rango de tolerancia específico respecto a la tensión de barra y la frecuencia del suministro eléctrico. En términos generales, un motor exhibirá estabilidad, eficiencia y una vida útil mejorada cuando la tensión de barra se encuentre dentro de un margen de +/-10% de la tensión de placa, y la frecuencia esté dentro de un rango de +/-5%. Es importante destacar que existen excepciones para aquellos motores cuyas características de arranque o torque estén sujetas a requisitos especiales.

Mantener la tensión de barra en este rango de tolerancia garantiza que el motor opere en condiciones eléctricas ideales, evitando fluctuaciones extremas que puedan afectar negativamente su rendimiento y durabilidad. Asimismo, la estabilidad en la frecuencia del suministro eléctrico contribuye a un funcionamiento consistente y eficiente del motor.

Es fundamental reconocer que, aunque estos parámetros son aplicables en la mayoría de los casos, existen situaciones particulares donde motores con características de arranque o torque específicas pueden requerir condiciones de operación fuera de estos límites estándar. En tales casos, se deben considerar cuidadosamente los requisitos particulares del motor para asegurar un rendimiento óptimo en situaciones especiales. Esto es, la adhesión a estos rangos de tolerancia contribuye significativamente a garantizar la confiabilidad y eficiencia del funcionamiento de los motores eléctricos en condiciones normales.

WEG W22 Premium IE3									
~3 90L-02		IP55	INS CL F ΔT 80 KS1			SF 1.00 AMB 40°C			
V	Hz	kW	RPM	A	PF	Eff	100%	75%	50%
220 Δ / 380 Y	50	2.2	2855	7.81 / 4.52	0.86		85.9	86.4	86.5
230 Δ / 400 Y			2870	7.70 / 4.43	0.83	IE3	86.3	86.5	86.0
- / 415 Y			2880	- / 4.37	0.81				
- / 460 Y	60		3480	- / 3.85	0.83		86.5	85.5	84.0
NEMA Eff 86.5%		3.0HP	460 V	60Hz	3480 RPM	6205-ZZ			
3.85 A PF 0.83		Des A	Code K	SF1.15 CC029A		6204-ZZ			
				MOBIL POLYREX EM					
				ALT 1000 m.a.s.l.					
				22 kg					
MOD.TE1BFOX0\$									

Referencia de la imagen: <http://www.weg.net>

El movimiento de la carga mecánica conectada al eje de un motor implica la conversión de energía proveniente de la barra de suministro. Esta energía consumida por el motor está directamente relacionada con la tensión multiplicada por la corriente. En situaciones en las

que la tensión disminuye, la corriente necesaria para mantener el mismo nivel de energía consumida debe aumentar proporcionalmente.

Un bajo valor de tensión por sí solo no representa un problema, a menos que la corriente resultante del motor supere su valor nominal de placa. Esto puede ocasionar un sobrecalentamiento perjudicial, ya que el calor generado en el motor puede no ser controlado adecuadamente, acortando así su vida útil. Además, la capacidad del motor para arrancar se ve comprometida, con la disminución de valores como el torque de arranque (Locked rotor), torque mínimo (pull-up) y torque máximo (breakdown).

Por otro lado, cuando un motor se somete a una tensión superior a su valor nominal de placa, su componente magnética tiende a saturarse. En este escenario, el consumo de corriente y el calentamiento en el motor no disminuyen; más bien, el motor tiende a consumir una corriente excesiva en el intento de magnetizar el hierro más allá de su capacidad de diseño. Esto resulta en un aumento de la corriente y, por consiguiente, en un sobrecalentamiento y reducción de la vida útil del motor.

Para garantizar un funcionamiento correcto y mantener una vida útil prolongada del motor eléctrico, es esencial que el sistema trifásico del suministro eléctrico esté balanceado, con un desbalance inferior al 1%. Un desbalance significativo deteriora la eficiencia del motor, conllevando a la disminución de la potencia, daño al material aislante debido al sobrecalentamiento excesivo, desequilibrio en la corriente y una reducción del factor de potencia, entre otros problemas. En resumen, el mantenimiento de condiciones balanceadas es esencial para asegurar el rendimiento óptimo y la durabilidad del motor eléctrico.

#### **4 RELACIÓN ENTRE POTENCIA Y TENSIÓN DE OPERACIÓN PARA MOTORES TRIFASICOS**

La selección adecuada de la tensión nominal de un motor eléctrico es un proceso crucial que debe tener en cuenta diversos factores operativos y económicos. Se deben considerar aspectos como la disponibilidad de la fuente de suministro, el cableado, el control, los equipos de maniobra, el impacto del tipo de arranque en el sistema, entre otros elementos.

Un área particularmente crítica es el arranque del motor, donde es esencial evaluar el impacto en términos de torque y seleccionar el tipo de arrancador adecuado. Esto se realiza con el objetivo de evitar afectaciones a otros sistemas eléctricos asociados debido a la caída de tensión que inevitablemente ocurrirá durante el proceso de arranque. Se destaca que la mayoría de los motores de inducción diseñados según los estándares NEMA, incluso aquellos de hasta 200 HP y, en muchos casos, de potencias más elevadas, pueden soportar arranques a plena tensión [3].

La decisión de emplear una tensión mayor dependerá de la potencia del motor, y los valores límite recomendados para motores NEMA se encuentran especificados por la IEEE 141. Estos límites proporcionan pautas razonables que deben ser comparadas con la oferta de potencias disponibles en el mercado. Por lo general, la línea de producción del mercado ofrece un rango de potencias con una operación comprobada. Es importante mencionar que los motores pueden ser fabricados para potencias tanto superiores como inferiores a

los límites indicados, pero esto deberá hacerse bajo consideraciones económicas y garantizando que se mantengan las adecuadas características de operación.

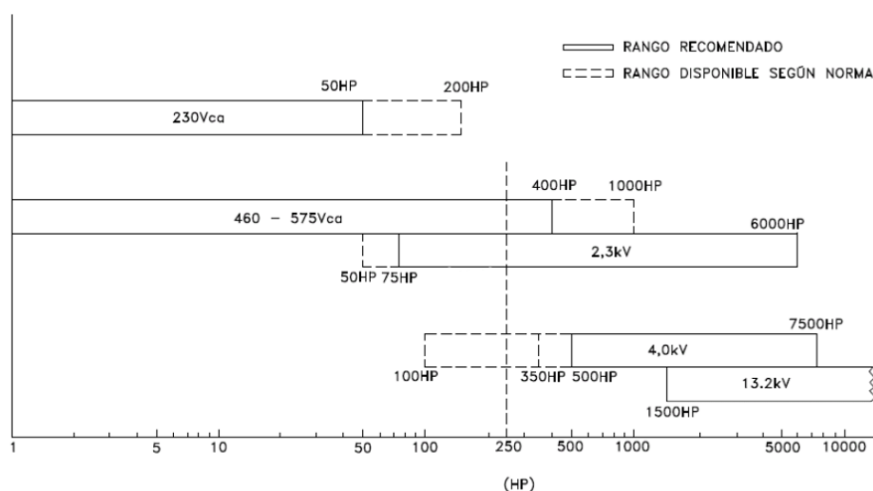
A continuación, se presentan las tensiones normalizadas y los límites de potencia recomendados para motores NEMA de inducción polifásicos, según lo especificado por la IEEE 141. Estos valores son esenciales para orientar la selección y operación óptima de los motores eléctricos en diversos entornos y aplicaciones.

Tensión de placa (Vca)	Límites de potencias (HP)
<b>Motores baja tensión</b>	
115	Sin mínimo - 15 HP máx.
230	Sin mínimo - 200 HP máx.
460 y 575	1 HP min. - 1000 HP máx.
<b>Motores de media tensión</b>	
2300	50 HP min. - 6000 HP máx.
4000	100 HP min. - 7500 HP máx.
13200	1500 HP - Sin máximo

Referencia: Tabla 3-11 ANSI/IEEE 141-1993.

Los motores eléctricos están diseñados con un número específico de terminales de conexión para permitir la adaptabilidad de los devanados a diversas tensiones de barras. Esta versatilidad se logra comúnmente mediante la posibilidad de conexión a dos niveles de tensión o mediante cambios en la configuración de conexión, como pasar de una conexión estrella a una conexión triángulo. Este diseño permite que los motores se ajusten de manera efectiva a la tensión de barras a la cual se encuentran conectados.

En la gráfica adjunta, se han incorporado los valores límites recomendados por ANSI/IEEE en función de la potencia y del nivel de tensión de operación (tensión de placa). Además, se ha incluido un rango de operación recomendado basado en datos recopilados de sistemas similares en el entorno minero-industrial, específicamente en aplicaciones con características comparables. Este enfoque proporciona una referencia valiosa para la correcta selección y configuración de los motores eléctricos, asegurando un rendimiento óptimo y una adaptación eficaz a las condiciones de operación específicas.



FUENTE: a) Tabla 3-11, ANSI 141-1993

b) Datos del Consultor basados en aplicaciones similares

## 5 EJEMPLO DE SELECCIÓN DE TENSIÓN DE PLACA, MOTOR 250 HP

En este ejemplo de selección de la tensión de placa para un motor de 250 HP destinado a una operación minera a una altitud de 4000 metros sobre el nivel del mar, específicamente en un sistema de bombeo con "bajas cabezas", se consideran tensiones de placa de 460 VCA o 4000 VCA (480 VCA, 4160 VCA).

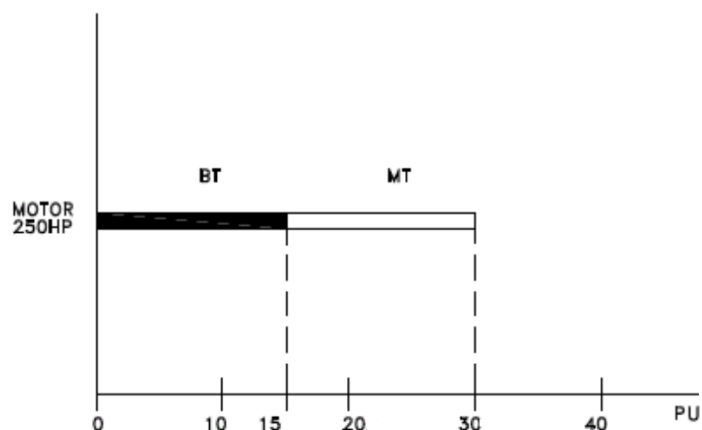
Dada la aplicación en un sistema de bombeo con características de "bajas cabezas", se asume que el arranque puede gestionarse eficientemente con arrancadores del tipo Arranque Suave (Soft Starter), ya sea en baja o media tensión.

Una estrategia para minimizar el impacto del arranque es elevar la tensión de operación, pasando de baja a media tensión. Esta transición generalmente implica el uso de un transformador independiente, incluyendo el equipo de maniobra en media tensión, eliminando así la caída de tensión que podría ocurrir en baja tensión y trasladándola a un sistema de media tensión más robusto.

La gráfica mostrada en el ítem 4, se muestra los valores límites recomendados por ANSI/IEEE en función de la potencia y el nivel de tensión de operación (tensión de placa), junto con un rango de operación recomendado basado en datos recopilados de sistemas similares en el entorno minero-industrial para motores de 250 HP. Se observa que una tensión de operación de 460 VCA y 4000 VCA se encuentra dentro de los límites aceptables.

Sin embargo, al evaluar esta opción, es esencial considerar otras variables importantes, como el aumento de costos asociado con la transición a un sistema de media tensión. Esto incluye elementos como transformadores, equipos de maniobra, protección, así como los costos superiores de arrancadores y motores en media tensión en comparación con los de baja tensión. Además, se debe tener en cuenta la necesidad de un mantenimiento más especializado en sistemas de media tensión.

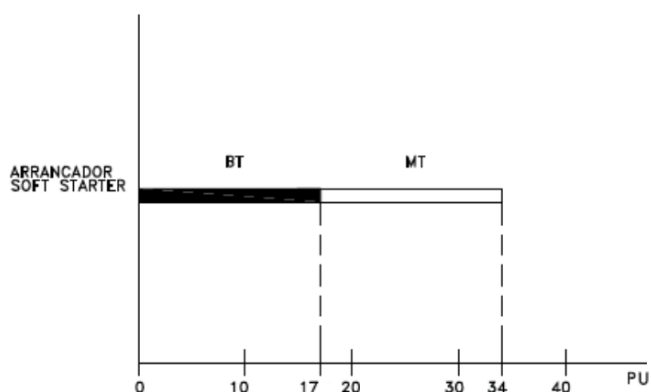
La comparación de costos por unidad (PU) para motores en baja tensión y media tensión se presenta en gráficos y cuadros siguientes, destacando las diferencias estimadas en términos de inversión y mantenimiento.



Aunque la inversión en motores de media tensión puede ser significativamente mayor, se destaca la importancia de evaluar la viabilidad técnica, las ventajas y las facilidades operativas y de mantenimiento en la práctica, basándose en la experiencia acumulada a lo largo de los años en aplicaciones similares.

La comparación de los costos por unidad (P.U.) de los arrancadores, se presenta en una estimación visual en el gráfico adjunto. En este gráfico, se destaca la diferencia de costos estimados entre arrancadores en Baja Tensión (BT) y Media Tensión (MT) del tipo "soft starter", específicamente diseñados para motores de hasta 250 HP.

Al comparar el costo PU de los arrancadores, se tiene un estimado en el siguiente gráfico, donde se muestra la diferencia de costos estimados entre arrancadores BT/MT del tipo "soft starter" para motores de hasta 250 HP.



De manera general una comparación de costos por unidad (P.U.) se muestra en el siguiente cuadro. Este cuadro presenta una estimación comparativa entre la inversión y el mantenimiento para un motor de 250 HP en Media Tensión (MT) y Baja Tensión (BT), tomando como referencia un costo base del motor en Baja Tensión para los demás costos expresados en unidades porcentuales (PU). En esencia, este cuadro resume la evaluación económica, considerando tanto los costos iniciales como los costos operativos a lo largo del tiempo, permitiendo una visión integral de la viabilidad económica de la opción seleccionada entre Media Tensión y Baja Tensión para el motor de 250 HP.

<b>Comparación de costos en P.U. 250 HP</b>		
Nivel de tensión	BT	MT
Motor 250HP	1	2
Arrancadores <u>Soft-Starter</u>	1	2
Cables	1	0.5
Transformador Adicional y Equipos de Maniobra MT	-	2.5
Mantenimiento, operación y post venta	1	2
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>9</b>

Es importante señalar que, además de los valores nominales y los límites recomendados por las normas, la decisión de seleccionar la tensión de operación debe considerar la inversión total, la viabilidad técnica y las prácticas operativas aceptables en la experiencia práctica. En este contexto, se destaca que, en sistemas industriales y mineros con aplicaciones específicas, como sistemas de bombeo con "bajas cabezas", se ha observado la opción de utilizar motores de 250 HP e incluso mayores con una tensión de operación de 460 VCA (tensión de suministro 480 VCA).

## 6 REFERENCIAS

- [1] Baldor motors and drivers, Edward Cowern.
- [2] Form Wound Induction Motor Hando book, Toshiba.
- [3] Basic training for industrial-duty and commercial-duty products, Lesson Electric publication.
- [4] IEEE 141, 1993.