

CASO DE ESTUDIO:

ARRANQUE DE MOTORES EN MEDIA TENSIÓN

Escrito por Ing. Johander Anchía Ugalde e Ing. Daniel Alfaro Álvarez, 2025-11-16.

SINOPSIS

El arranque de motores en media tensión (MT), típicamente entre 2.3 kV y 13.8 kV, representa uno de los eventos más críticos para la estabilidad de una red industrial o de distribución. Debido a sus elevadas corrientes de arranque —que pueden oscilar entre 300 % y 700 % de la corriente nominal— estos equipos generan caídas de tensión (sags) locales o incluso regionales, afectando la operación de procesos industriales, sistemas de control, variadores de velocidad y protecciones sensibles. La magnitud del impacto depende del método de arranque, la potencia del motor, la impedancia del sistema y la rigidez de la red. Entender esta dinámica es esencial para seleccionar adecuadamente equipos, protecciones, alimentadores y estrategias de mitigación. [1] [3]

ARRANQUE DE MOTORES

Los motores se han utilizado por más de un siglo en diversos campos de la industria, como es el caso de los motores trifásicos de inducción, los cuales poseen una alta potencia y una alta velocidad y se han empleado como turbocompresores, bombas de agua o en instalaciones petroquímicas. Su criticidad en los diversos procesos productivos hace de interés el estudio de los diversos métodos de arranque, así el cómo se puede mitigar sus efectos. [2] [5]

El arranque de un motor constituye una carga altamente inductiva y transitoria, por lo que al generar una corriente elevada provoca una caída de tensión en la red aguas arriba. Además, el arranque de éstos motores puede producir el disparo de protecciones por subtenensión, parpadeo de iluminación, picos transitorios o incluso resonancia transitoria en presencia de bancos de capacitores. [4] [6]

Existen diferentes métodos para controlar el arranque de los motores, algunos de los más relevantes son los siguientes:

- **Arranque Directo en Línea (DOL):** este método consiste en conectar el motor directamente al voltaje de línea nominal, por lo que suele ser muy común para motores pequeños o sistemas muy robustos. Dentro de sus ventajas se destaca por el bajo costo inicial, sin embargo, en sus desventajas está que puede ocasionar fuertes sags de tensión y no es recomendado en sistemas débiles. [8]
- **Arranque con Autotransformador:** para este arranque se utiliza un autotransformador para reducir el voltaje aplicado al motor durante el arranque, las posiciones comunes suelen ser 50%, 65% y 80% del voltaje nominal. Posee la ventaja de que minimiza sags y flickers y es recomendado para motores grandes (500-4000 HP) sin necesidad de control electrónico. Dentro de sus desventajas está que reduce el par de arranque y puede existir un transitorio adicional al conmutar de TAP al voltaje nominal. [7] [10]
- **Arrancadores suaves (Soft Starters):** este tipo de arrancadores utiliza dispositivos basados en tiristores (SCR) que controlan el voltaje aplicado mediante el ángulo de disparo. Permiten rampas de voltaje, limitación de corriente y control del torque, además pueden incluir bypass para reducir pérdidas al finalizar el arranque. Suelen ser más costosos que los otros métodos y requieren una buena disipación térmica. [9]
- **Variadores de Frecuencia (VFD):** este es el método más avanzado y controlado de arranque, ya que se controla tanto la velocidad, frecuencia y el par desde cero hasta el valor nominal mediante el uso de la conversión AC-DC-AC, esto hace que se minimicen los sags de corriente y exista

protección contra desbalances y sobrecarga. Al ser un método más avanzado, posee un mayor costo inicial y un mantenimiento especializado. [5]

Existe un problema llamado corrientes simpatéticas, el cual consiste en corrientes transitorias que ocurren en un equipo eléctrico no energizado, esto cuando se energiza otro equipo conectado al mismo sistema de potencia. En general, estas corrientes no provienen de fallas, sino de interacciones electromagnéticas dentro de la red (magnetización, acoplamientos inductivos, intercambio de energía). [11]

Las corrientes simpatéticas pueden aparecer en motores de media tensión, por ejemplo, cuando un motor grande se arranca, otros motores que ya están operando pueden experimentar un aumento momentáneo de corriente, esto debido a desequilibrios temporales del flujo en el sistema. [11] El aumento en la corriente se puede entender mediante la siguiente relación de proporcionalidad, donde al disminuir la tensión V , se genera un aumento en la corriente I_{motor} , y se mantiene el par T_{carga} constante:

$$I_{motor} \approx \frac{T_{carga}}{V}$$

CASO REAL

La refinería **Alexandria National Refining and Petrochemical Co. (ANRPC)**, Egipto, se encuentra en una zona compartida con muchas otras empresas que también usan motores de media tensión, y por lo tanto la red a la que se conectan presenta fenómenos de calidad de energía que afectan la maquinaria del interior de la empresa, especialmente los motores de media tensión, como se verá en este caso. [12]

Dicha Refinería cuenta con una carga promedio de **10 MW** (80 % en motores de inducción trifásicos), los **sags de tensión** representan una amenaza crítica para la continuidad del proceso. Estos eventos, originados principalmente en la red externa (empresas vecinas que también tienen motores de media tensión), presentan sags que duran entre **0,25 y >1 segundo**, con profundidades de **10 % a 90 %** del voltaje nominal.[12]

Lo que se hizo para resolver este problema fue utilizar programas de modelado para encontrar la raíz de la falla y solucionarla, se modeló un **motor de 2500 kW, 11 kV** acoplado a una compresora (corriente nominal: 153 A; corriente de arranque: 918 A o 600 % I_n ; torque nominal: 15 959 N·m). Usando **MATLAB/Simulink**, se simularon sags trifásicos para evaluar impactos en velocidad, corriente y torque.[12]

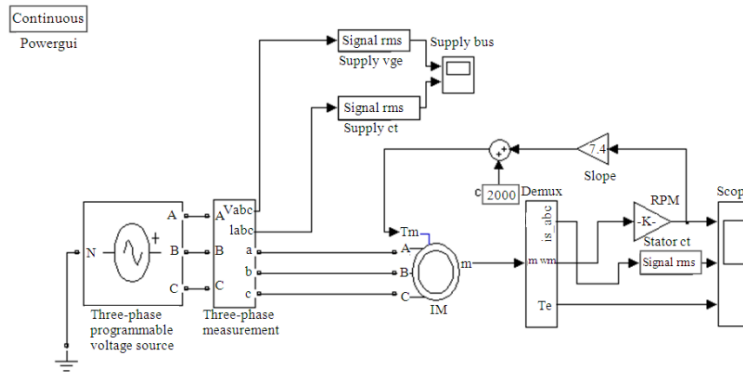


Figura 1. Modelo de Simulink Utilizado para probar el circuito. [12]

Como resultado de estas simulaciones se obtienen los siguientes resultados claves:

- **Sag de 0,8 p.u. × 1 s:** velocidad cae de 1486 a 1477 rpm (−0,6 %); corriente sube a 337 A (285 % In) en recuperación; torque pico de 30 000 N·m. **No dispara protecciones.**
- **Límites de tolerancia** (disparo por sobrecorriente o pérdida de velocidad):
 - 0,65 p.u. × 4,5 s → 181 A
 - 0,60 p.u. × 2,6 s → 195 A
 - <0,40 p.u. → falla mecánica
- **Recuperación genera transitorios mayores** que el sag inicial, similares a un re-arranque.[12]

Una vez se obtienen estos resultados, se permite implementar una solución:

- Ajuste de relé de **subtensión de 0,8 p.u. × 1 s a 0,75 p.u. × 1,5 s** como respaldo.

Resultado: tolerancia a sags más severos sin disparos innecesarios, **eliminando paradas no planificadas** y pérdidas de decenas de miles de dólares por evento.[12]

CONCLUSIÓN

El arranque de motores a media tensión es uno de los principales generadores de perturbaciones en la calidad de la energía, especialmente caídas de tensión. Su severidad depende directamente del método de arranque y de la rigidez de la red que alimenta el motor.

A partir del caso presentado se demuestra que en sistemas con motores de media tensión, los sags externos inducen efectos importantes en la calidad de la energía de la red. En el caso presentado, la optimización de protecciones fue la solución, la cual es de bajo costo frente a otros métodos de mejoramiento de la calidad de la energía frente a sags producidos por arranque de motores de media tensión.

Comprender la interacción entre el motor, la red y los equipos de protección permite diseñar sistemas más robustos y confiables, asegurando la continuidad de los procesos industriales y la estabilidad del suministro eléctrico.

REFERENCIAS

- [1] José Antonio Echeverría. Ajustes de protecciones térmicas de motores de media tensión, información necesaria. Universidad Tecnológica de La Habana, 2023.
- [2] Jurgen Bredthauer y Norbert Struck. Starting of large medium voltage motors: Design, protection, and safety aspects. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 2025.
- [3] Stan R. Simms. Thomas A. Farr. y Gabriel Braga. Starting methods comparison of medium voltage three-phase ac motors. EATON.
- [4] Chanseung Yang. Starting current analysis in medium voltage induction motors. IEEE Industry Applications Magazine.
- [5] Lucas Paruch. Medium-voltage motor- starting application tutorial. CONTROL ENGINEERING, 2024.
- [6] Lawrence B. Farr. Considerations in medium voltage reduced voltage motor starting the good, the bad and the ugly. EATON, 2007.
- [7] Pedro E. Mediciones de Transitorios en la Operación de Motores de Gran Potencia y Media Tensión. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/44383>, 1993. Accesado: 1 de noviembre de 2025.
- [8] Adrian Sánchez Castro. Estudio de las corrientes transitorias causadas por el arranque de motores trifásicos en la red de medio voltaje (13.8kV), Cerro Pelado mediante la herramienta ATP DRAW. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28530>, 2024.
- [9] María Natividad Lima. Estudio de motores de media tensión, monitoreo, protecciones y control. <https://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis/T8668.pdf>, 2008.
- [10] Hector Daniel Buelvas. Guía de optimización de las protecciones eléctricas de los motores de media tensión en la Central Termoguajira. <https://repositorio.utb.edu.co/server/api/core/bitstreams/dc7ea5ec-af1e-4c89-87ac-cb7b04993074/content>, 2011.
- [11] Simon Schramm et al. Limiting Sympathetic Interaction Between Transformers Caused by Inrush Transients. International Conference on Power Systems Transients. https://www.ipstconf.org/papers/Proc_IPST2011/11IPST053.pdf
- [12] Voltage Sag Effects on the Process Continuity of a Refinery with Induction Motors Loads. American Journal of Applied Sciences. <https://thescipub.com/pdf/ajassp.2009.1626.1632.pdf>