

CASO DE ESTUDIO:

Histograma de sags en redes eléctricas en media tensión

Escrito por Ing. Antony Rivera Hernández e Ing. Cristian Vega Romero, 2025-11-24.

SINOPSIS

Las caídas de tensión o voltage sags son una de las perturbaciones más relevantes en la calidad de energía, pues reducen temporalmente el nivel de voltaje y pueden afectar la operación de equipos y la estabilidad del sistema eléctrico. Su análisis requiere herramientas estadísticas para identificar patrones de severidad, distribución y frecuencia. En este estudio se analizan los sags registrados en un circuito de una distribuidora mediante dos técnicas principales: un histograma de magnitudes, que muestra la distribución de los niveles de tensión residual, y un diagrama de Pareto, que permite determinar las causas con mayor incidencia. Ambas metodologías se apoyan en lineamientos normativos y en literatura especializada sobre variaciones de corta duración, con el objetivo de representar de forma clara y útil el comportamiento del circuito en términos de calidad de energía.

TEORÍA

Los voltage sags son reducciones temporales del nivel de tensión que constituyen una de las perturbaciones más relevantes de la calidad del suministro eléctrico, pues afectan equipos sensibles, procesos industriales y sistemas automatizados [1]. Según la normativa costarricense AR-NT-SUCAL y los lineamientos de IEEE 1159 e IEC 61000-4-30, un sag se define cuando la tensión RMS cae entre 0.1 y 0.9 pu por un intervalo de medio ciclo hasta un minuto [2], generalmente debido a fallas en la red, operaciones de protección, contactos con vegetación o fenómenos atmosféricos. Su análisis requiere técnicas estadísticas que permitan evaluar severidad, frecuencia y comportamiento, siendo el histograma una herramienta fundamental para visualizar la distribución de eventos según magnitud residual o duración, identificar patrones operativos y clasificar niveles de severidad [4]. Además, estudios recientes incorporan enfoques probabilísticos que profundizan en la caracterización estadística de los sags e identifican regiones de vulnerabilidad dentro de la red [5]. La combinación de magnitud residual y duración ha demostrado ser suficiente para caracterizar estos eventos y comprender su comportamiento real en el tiempo [3], y cuando se dispone de información sobre la causa asociada, el uso de un diagrama de Pareto permite ordenar las causas por frecuencia, priorizar acciones correctivas y ofrecer una visión más completa de los factores que influyen en su aparición [6].

CASO REAL

Para evaluar el comportamiento de la calidad de la energía en el circuito de la distribuidora, se estudiaron los eventos de sag registrados durante el periodo comprendido entre enero de 2024 y junio de 2025. Estos registros presentan información sobre la fecha del incidente, la magnitud del descenso de tensión, la duración del evento y las fases involucradas, lo que permite caracterizar el desempeño del sistema frente a perturbaciones de corta duración.

La figura siguiente presenta la cantidad de sags registrados por mes en este circuito, evidenciando meses con una incidencia significativamente mayor y permitiendo reconocer periodos donde el sistema fue más susceptible a perturbaciones de tensión.

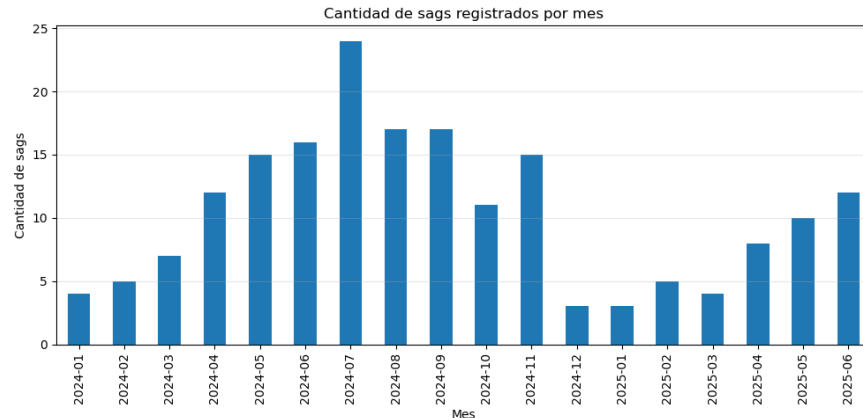


Figura 1. Cantidad de sags registrados por mes comprendido de enero del 2024 hasta junio del 2025

La figura siguiente muestra la evolución temporal de la magnitud de los sags registrados en el circuito de la distribuidora. Para facilitar la interpretación, los eventos se clasifican las clases establecidas en la norma IEC 61000-4-, donde los sags con tensión residual inferior al 70 % de V_n se pueden considerar críticos, mientras que aquellos por encima de este valor representan perturbaciones moderadas.

La distribución temporal evidencia la presencia de sags de diferente profundidad a lo largo del periodo analizado, con agrupaciones de eventos críticos en meses específicos. Esta variabilidad refleja tanto condiciones operativas del circuito como la influencia de factores externos que pueden afectar la estabilidad de la tensión en la red.

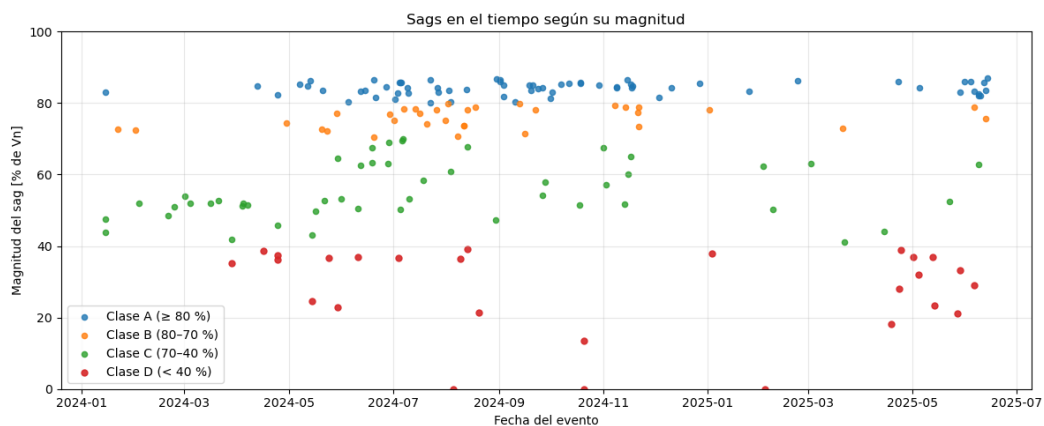


Figura 2. Clasificación de Sags por rango de magnitud (%) de enero del 2024 a junio del 2025

La clasificación de los sags según su duración, siguiendo los límites establecidos por la norma IEEE 1159, permite diferenciar eventos instantáneos, momentáneos y temporales. La figura muestra que la mayoría de las perturbaciones registradas en el circuito corresponden a sags instantáneos, con duraciones inferiores a 0.5 segundos, mientras que los eventos momentáneos y temporales presentan una ocurrencia significativamente menor. Este comportamiento es característico de redes de distribución donde las fallas son despejadas rápidamente por los dispositivos de protección, limitando la persistencia de la caída de tensión.

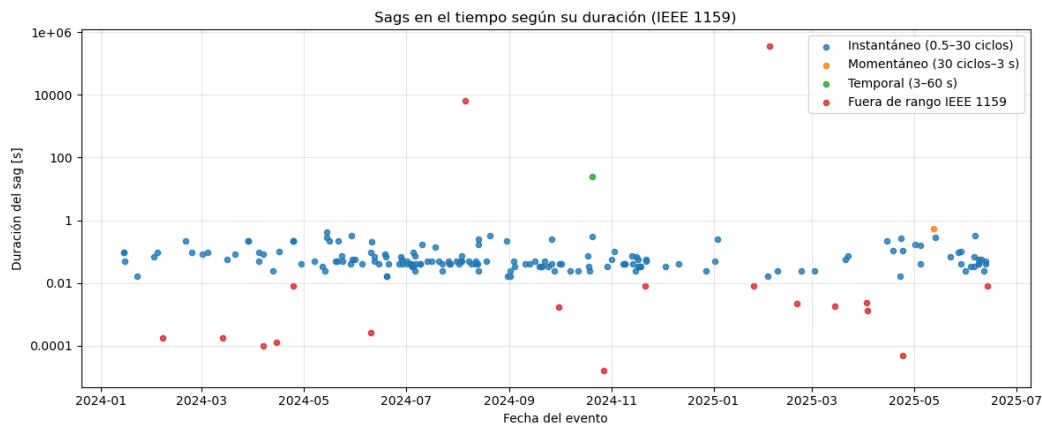


Figura 3. Sags en el tiempo según su duración por la IEEE 1159

En la figura 4 se muestra la distribución de las causas asociadas a los sags con origen identificado en el circuito. Se observa que una fracción importante de los eventos corresponde a casos no identificados o a circuitos externos, lo cual es habitual en redes de distribución debido a la limitada trazabilidad de algunas perturbaciones de corta duración.

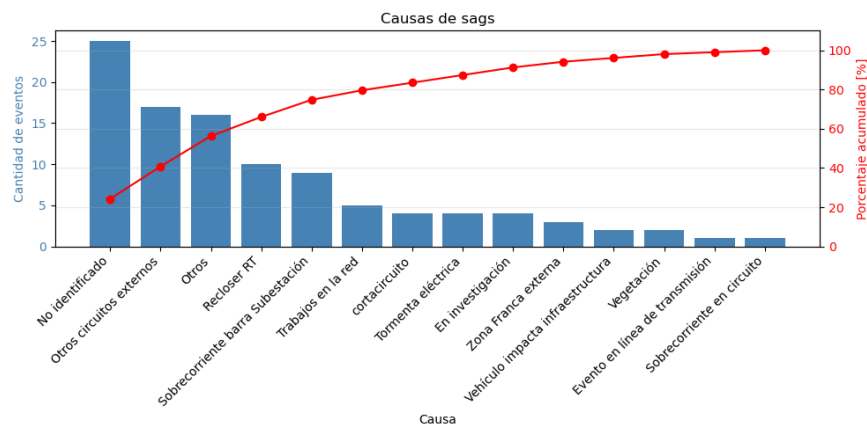


Figura 4. Causas de Sags en el circuito 1 de ESPH.

Entre las causas determinadas, destacan los eventos vinculados a circuitos externos, así como las actuaciones de reconectadores y las sobrecorrientes en la barra de la Subestación. Estas categorías concentran la mayor parte de los sags con origen conocido, evidenciando la influencia de condiciones externas al propio circuito y de operaciones en alimentadores vecinos.

CONCLUSIÓN

El análisis realizado para el Circuito de la distribuidora evidencia que la ocurrencia de sags presenta una variación significativa a lo largo del periodo estudiado, con meses donde la incidencia se incrementa de manera notable, como es el mes de julio que presento gran cantidad de eventos. La evaluación por magnitud, respecto a los rangos de tensión residual indicados en la norma IEC 61000-4-11 muestra la presencia tanto de sags de diferentes clases, lo cual refleja un entorno operativo expuesto a perturbaciones de diversa severidad. La clasificación temporal según IEEE 1159 confirma que la mayoría de los eventos corresponden a sags instantáneos, característicos de fallas de corta duración que son despejadas rápidamente por los dispositivos de protección del sistema.

El análisis de las causas asociadas revela que una parte importante de los eventos proviene de condiciones externas al circuito, entre ellas perturbaciones originadas en alimentadores vecinos, sobrecorrientes en la barra de la Subestación y eventos vinculados a otros circuitos. Otros factores, como maniobras, fallas en fusibles o cortacircuitos, descargas atmosféricas y afectaciones por fauna, también contribuyen al comportamiento observado, aunque en menor proporción. En conjunto, estos resultados permiten identificar los focos principales de perturbación y ofrecen una base técnica para priorizar acciones de seguimiento y mitigación en las áreas con mayor recurrencia de sags.

REFERENCIAS

- [1] Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión (AR-NT-SUCAL). Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), Costa Rica, 2015. Normativa aprobada mediante resolución RJD-070-2015 y modificada por resolución RJD-205-2015.
- [2] Mário Alves and Tatiana Ribeiro. Voltage sag: An overview of iec and ieee standards and application criteria. In *Proceedings of the IEEE Transmission and Distribution Conference*, pages 585–589, May 1999. doi:10.1109/TDC.1999.756117.
- [3] Leonardo Di Stasio. Voltage Sags (Dips) Measured in Real Interconnected Systems: Methods and Tools to Detect their Origin and to Forecast Future Performance. PhD thesis, University of Cassino and Southern Lazio, July 2022.
- [4] Amir Safdarian, Mahmoud Fotuhi-Firuzabad, and Matti Lehtonen. A general framework for voltage sag performance analysis of distribution networks. *Energies*, 12(14):2824, July 2019. doi:10.3390/en12142824.
- [5] Jagannath Patra, Nitai Pal, Harish Chandra Mohanta, Reynah Akwafo, and Heba Mohamed. A novel approach of voltage sag data analysis stochastically: Study, representation, and detection of region of vulnerability. *Sustainability*, 15(5):4345, February 2023. doi:10.3390/su15054345.
- [6] Víctor Barrera Núñez, Joaquim Meléndez, and Sergio Herraiz. A survey on voltage sag events in power systems. In *2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA)*, pages 1–3, September 2008. doi:10.1109/ TDC-LA.2008.4641774