

CASO DE ESTUDIO:

Histograma de sags en redes eléctricas de media tensión, años 2023-2024

Escrito por Ing. Noelia Fernández Juárez e Ing. Sylvia Elena Fonseca Cruz, 2025-06-30.

SINOPSIS

Las caídas de voltaje o *sags* son reducciones temporales en la magnitud de la tensión que comprometen el desempeño y la estabilidad de los sistemas eléctricos [1, 2], provocando posibles daños o pérdidas económicas en procesos industriales y equipos sensibles [3]. Para evaluar su impacto, se utilizan histogramas que analizan la frecuencia y duración de estos eventos [4], lo que permite a las empresas implementar medidas preventivas y equipos de protección para mitigar sus efectos [5].

TEORÍA

Según la norma IEEE 1159, un sag es una disminución del voltaje RMS entre 0.1 y 0.9 pu, con una duración de 0.5 ciclos hasta 1 minuto [2], y su medición debe considerar el voltaje resultante tras la perturbación [2]. Estas caídas pueden originarse por fallas eléctricas, descargas atmosféricas, contacto con vegetación o arranques de motores grandes [2, 5].

Para analizar las características de los sags, se utilizan histogramas de probabilidad que permiten representar visualmente la frecuencia y duración de estos eventos dentro del sistema eléctrico [4]. Su construcción parte de tablas de frecuencia, donde los eventos se agrupan en clases delimitadas por intervalos de magnitud (entre 0.1 y 0.9 pu) y tiempo (de 8 ms a 60 s), conforme a los parámetros establecidos por la norma IEEE 1159 [2]; pues aunque esta norma no indica cómo construir los histogramas, sí establece los límites técnicos necesarios para asegurar su validez [2].

Asimismo, la norma SEMI F47 permite clasificar los sags en regiones de impacto y no impacto, lo que facilita la evaluación del riesgo de fallos o daños en los equipos conectados. Esta normativa establece los límites mínimos de tensión que los dispositivos deben resistir ante caídas temporales de voltaje, en función de su magnitud y duración, sin comprometer su funcionamiento. En Costa Rica, ha sido adoptada oficialmente por la SUCAL como referencia para la supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión.

CASO REAL

Para evaluar la calidad de la energía en Costa Rica, se analizaron datos proporcionados por una empresa eléctrica correspondientes a los años 2023 y 2024. Estos registros incluían información diaria y horaria sobre el tipo de medidor, la duración y la magnitud de los eventos.

Tras aplicar los criterios de magnitud y tiempo establecidos por la norma IEEE 1159, los datos se filtraron por medidor y año. Posteriormente, mediante un histograma, se identificó la cantidad de ocurrencias de *sags*, como se muestra en la figura 1.

En total, se analizaron dieciséis medidores. El medidor con mayor cantidad de eventos fue el *M09*, con 1842 registros, mientras que el de menor incidencia fue el *G01*, con 130 eventos,

considerando ambos años. Estos resultados permiten identificar al medidor *M09* como el peor caso y al *G01* como el mejor caso dentro del periodo evaluado.

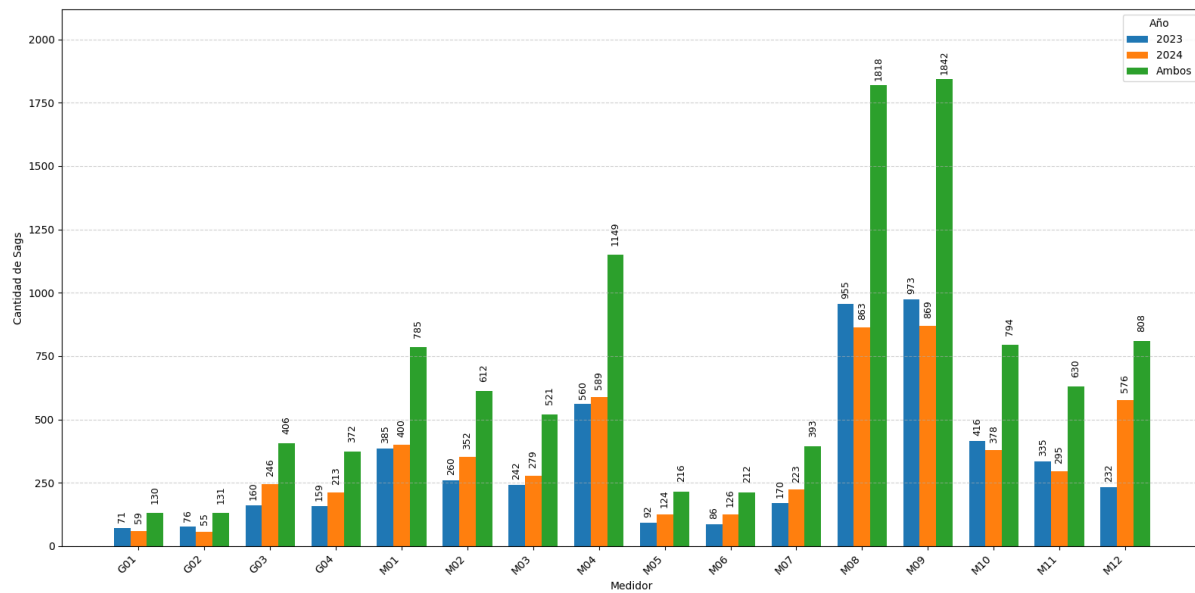


Fig 1. Cantidad de sags registrados por medidor en el año 2023 y 2024.

Las figuras 2 y 3 muestran la distribución de *sags* según su magnitud y duración. En el medidor *M09*, el 92.8% de los eventos fueron instantáneos, mientras que en el medidor *G01* esta condición se presentó en el 99.2% de los casos, de acuerdo con los criterios de la norma IEEE 1159. En términos de magnitud, la mayoría de los *sags* se ubicaron entre 0.6 y 0.9 pu, con un 65% del total para el peor caso y un 90.8% para el mejor.

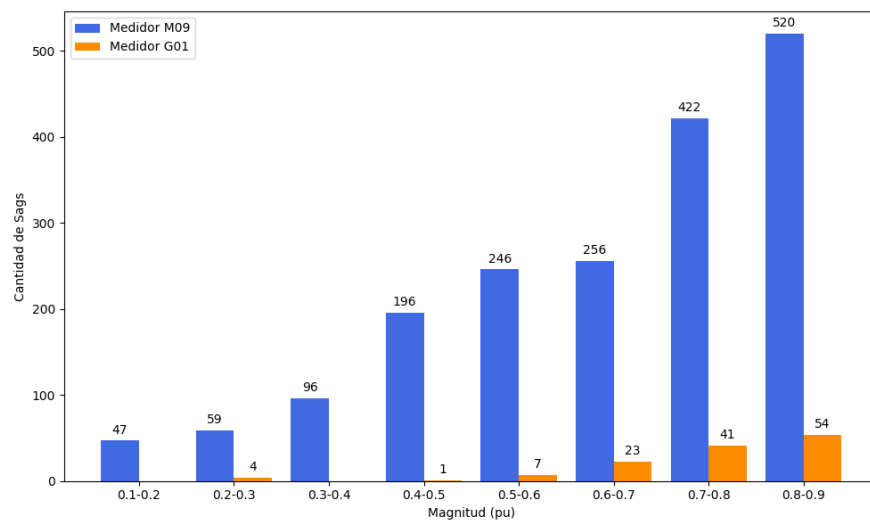


Fig 2. Cantidad de sags registrados por el peor (medidor *M09*) y mejor (medidor *G01*) caso, separados por magnitud del sag en los años 2023 y 2024.

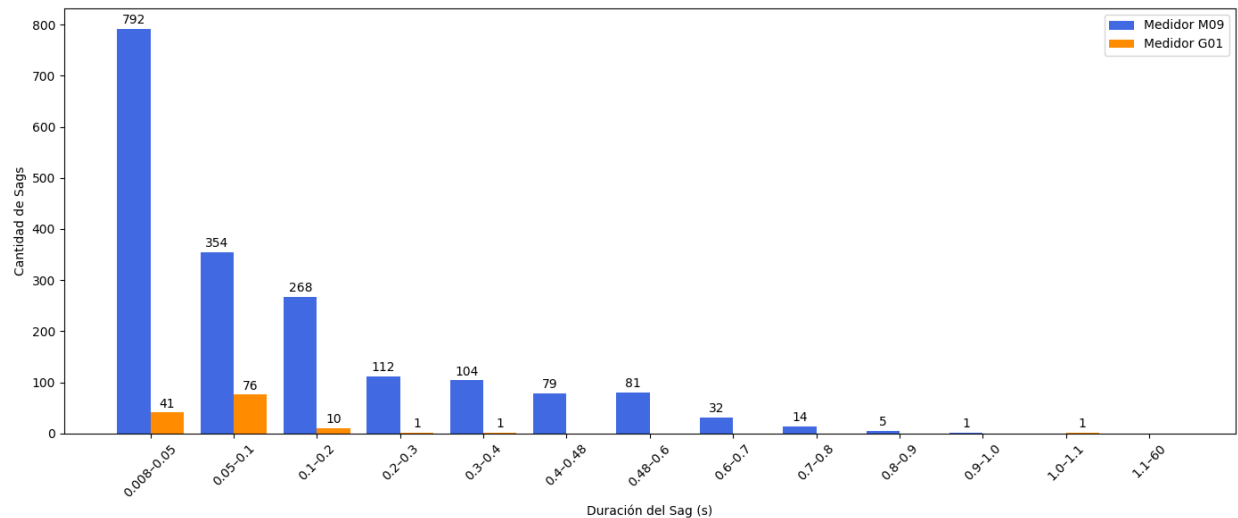


Fig 3. Cantidad de sags para el peor (medidor *M09*) y mejor (medidor *G01*) caso, separados por duración del sag en los años 2023 y 2024.

A continuación, se aplica la norma SEMI F47 para evaluar el impacto de los sags registrados, considerando que, en Costa Rica, esta norma es la adoptada oficialmente según la SUCAL en el documento *Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión*. Su uso permite al estudio alinearse con la realidad normativa nacional.

Las figuras 4 y 5 muestran la clasificación de los sags conforme a dicha norma. En el caso del medidor *G01*, más del 94% de los eventos se encuentran por encima de la línea de susceptibilidad, lo que indica una baja probabilidad de afectación a los equipos conectados. En contraste, el medidor *M09* presenta un 29.1% de eventos por debajo de esta línea, lo que implica un posible riesgo de mal funcionamiento o daño permanente en los dispositivos.

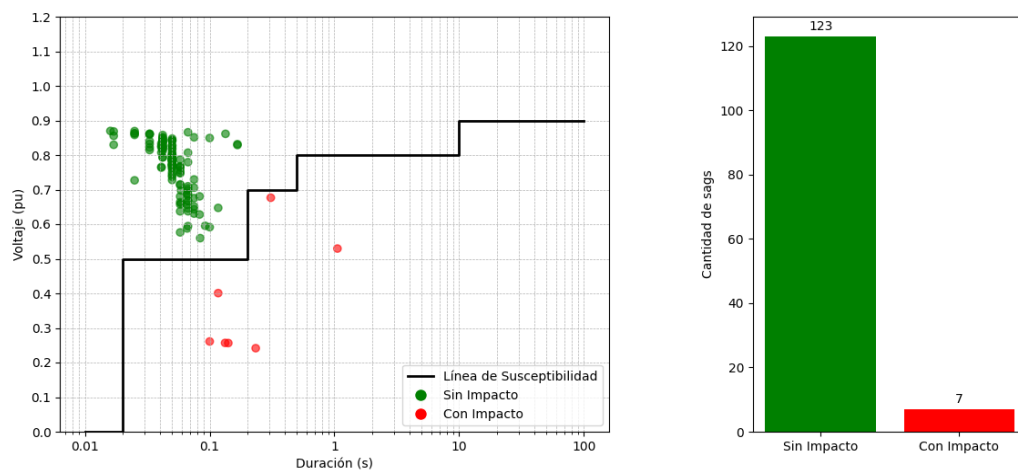


Fig 4. Impacto de los sags registrados por el mejor caso (medidor *G01*) según la curva SEMI F47.

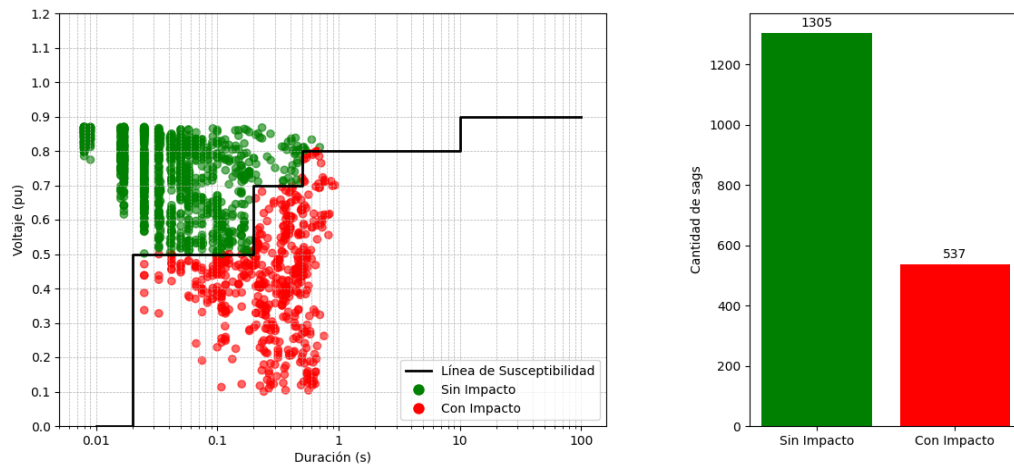


Fig 5. Impacto de los sags registrados por el peor caso (medidor *M09*) según la curva SEMI F47.

CONCLUSIÓN

El análisis de los dieciséis medidores reveló una alta frecuencia de *sags* en el periodo 2023-2024. El medidor *M09* registró la mayor cantidad de eventos (1842), con un 29.1% por debajo de la línea de susceptibilidad de la norma SEMI F47, lo que indica posible riesgo de afectación en los equipos. En contraste, el medidor *G01*, con solo 130 eventos y más del 94% por encima de dicha línea, se identificó como el mejor caso.

La aplicación de las normas IEEE 1159 y SEMI F47 permitió delimitar con precisión los eventos de sag según su duración, magnitud e impacto en los equipos conectados. Asimismo, el uso de histogramas facilitó una representación visual clara de estas variaciones, evidenciando tendencias hacia eventos instantáneos y de magnitud moderada, y aportando una base técnica útil para implementar medidas preventivas que mejoren la calidad del suministro eléctrico.

REFERENCIAS

- [1] M. Valtierra-Rodríguez, R. de Jesús Romero-Troncoso, R. A. Osornio-Ríos, and A. García-Pérez, "Detection and classification of single and combined power quality disturbances using neural networks," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 5, pp. 2473–2482, May 2014.
- [2] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," *IEEE Std 1159-2019* (Revision of IEEE Std 1159-2009), 2019, pp. 1–98. doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486.
- [3] S. M. Alshareef, "Voltage sag assessment, detection, and classification in distribution systems embedded with fast charging stations," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 1–10, 2023.
- [4] R. H. Casanova and L. J. M. Rodríguez, "Caracterización de variaciones de tensión de corta duración en circuitos de distribución," *Ingeniería Energética*, vol. XL, no. 2, pp. 94–102, 2019.
- [5] W. Sunderman, A. Maitra, A. Mansoor, and C. Melhorn, "Distribution system power quality assessment: Phase II—voltage sag and interruption analysis," EPRI PEAC Corporation, Palo Alto, CA, USA, Tech. Rep. 1001678, 2003.