

## ESPECIAL TÉCNICO



## GENERADORES Y TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS: COLUMNNA VERTEBRAL EN LA MINERÍA MODERNA

Al interior de faenas mineras y otros entornos industriales remotos, estos equipos no solo aseguran la continuidad operativa ante fallas del suministro, sino que hoy protagonizan una transformación tecnológica. *Por Horacio Acuña*

**E**n la minería de superficie y otros rubros industriales estratégicos, los generadores y transformadores eléctricos cumplen un rol fundamental: permiten mantener en operación equipos críticos, asegurar la continuidad de procesos productivos y responder con flexibilidad a las exigencias energéticas de cada faena.

Más allá de su uso tradicional, estos equipos están experimentando una transformación acelerada, impulsada por el avance de tecnologías como la inteligencia artificial (IA), los sistemas Scada (Supervisory Control and Data Acquisition), y la creciente demanda por eficiencia energética y sostenibilidad.

De acuerdo con Víctor Ballivian, presidente del Comité Chileno de la International Electrotechnical Commission (IEC), los generadores y transformadores eléctricos

son componentes esenciales en los sistemas eléctricos industriales. A su juicio, juegan un rol fundamental en garantizar la continuidad operativa durante emergencias o interrupciones del suministro eléctrico, especialmente en zonas remotas como las operaciones mineras, instalaciones industriales aisladas o regiones rurales.

Al respecto, Ballivian afirma que "los generadores eléctricos actúan como fuentes de respaldo o fuentes primarias en ausencia de conexión a la red, permitiendo el funcionamiento continuo de procesos críticos (ventilación, bombeo, sistemas de comunicación y seguridad)". Y en el caso de los transformadores, destaca el experto, "aseguran la adecuación del voltaje generado para ser utilizado de manera segura y eficiente por los equipos, manteniendo la estabilidad del sistema eléctrico interno".



Foto: Conedlec

■ **Víctor Ballivian,** presidente del IEC.



Foto: Duoc UC

■ **David Vásquez,** académico de Duoc UC.



Foto: IIMCh

■ **Eduardo Bobenrieth,** gerente (I) del IIMCh.

Resalta, además, que ambos permiten reducir el riesgo operativo y protección de personas y activos. "Las normas IEC exigen que estos equipos cuenten con protecciones térmicas, de sobrecarga, aislamiento y resistencia ambiental (IEC 60034 para generadores, IEC 60076 para transformadores). Dichos estándares aseguran que los equipos funcionen correctamente bajo condiciones adversas (polvo, humedad, vibraciones, temperaturas extremas), comunes en zonas remotas".

#### ZONAS REMOTAS

En la misma línea, David Vásquez, docente de la Escuela de Ingeniería en Electricidad y Automatización Industrial de Duoc UC, sede Puente Alto, asegura que los generadores y transformadores son la "columna vertebral" de la resiliencia operativa en industrias ubicadas en zonas remotas o con infraestructura eléctrica débil. "Durante emergencias, como tormentas eléctricas, terremotos o fallas en la red principal, su función es evitar paradas inesperadas que pueden traducirse en millones de dólares en pérdidas", explica.

Al respecto, recuerda un hito que sirve para graficar su importancia crítica: "Un caso emblemático ocurrió en una mina de cobre a gran escala en el norte de Chile. En 2019, un sismo de magnitud 6,8 interrumpió el suministro eléctrico regional por más de 12 horas. Gracias a un sistema de respal-

do compuesto por generadores diésel sincronizados y transformadores de transferencia automática, la operación pudo continuar en modo reducido, pero funcional, evitando la pérdida de producción y garantizando la seguridad del personal".

A su vez, Eduardo Bobenrieth, gerente (i) del Instituto de Ingenieros de Minas de Chile (IIMCh), concuerda con Ballivian y Vásquez en cuanto al aporte de estos equipos en las zonas remotas. "Los sistemas de generación de respaldo (grupos electrógenos) proporcionan energía eléctrica inmediata ante interrupciones del suministro principal, evitando paradas en procesos críticos como ventilación, bombeo de agua o sistemas de seguridad. Esto es especialmente relevante en minas a cielo abierto donde un corte prolongado puede significar pérdidas millonarias en producción", señala.

Agrega que, por otro lado, los transformadores permiten adaptar los niveles de tensión para distribuir eficientemente la energía en distintas áreas operativas, garantizando que los equipos críticos reciban el voltaje adecuado incluso en condiciones adversas.

"En zonas remotas, estos equipos suelen estar configurados en sistemas redundantes con commutación automática, permitiendo una transición fluida entre la red principal y los sistemas de respaldo, minimizando tiempos de inactividad", detalla el líder gremial.

■ "Los generadores y transformadores eléctricos son componentes esenciales en los sistemas eléctricos industriales, incluyendo aplicaciones específicas en la minería de superficie y otros sectores industriales", afirma Víctor Ballivian, presidente del IEC.

Foto: Transformadores Tusan



■ Hoy, la integración de tecnologías como la IA, los sistemas Scada y otras herramientas digitales, se ha traducido en una optimización operativa de generadores y transformadores eléctricos en la minería de superficie y en otras industrias.

■ “Los sistemas Scada permiten monitorear en tiempo real parámetros críticos como temperatura, carga y eficiencia, facilitando la detección temprana de anomalías y optimizando los ciclos de mantenimiento preventivo”, destaca Eduardo Bobenrieth, gerente (i) del IIMCh.

### INNOVACIONES

Con el tiempo, se han desarrollado innovaciones o tendencias que están marcando el desarrollo y uso de los generadores y transformadores. Según Víctor Ballivian, estos progresos y transformaciones están fuertemente orientados a la eficiencia energética (EE), la sostenibilidad ambiental y la resiliencia operativa. “La IEC promueve estos avances a través de estándares que impulsan la adopción de tecnologías más limpias, inteligentes y seguras”, asevera.

En este ámbito, subraya el empleo de transformadores de alta eficiencia (Low-loss transformers). “Regidos por normas como la IEC 60076-20, estos transformadores reducen significativamente las pérdidas por efecto Joule y por histéresis, lo que permite ahorrar energía y reducir emisiones indirectas de CO<sub>2</sub>”, explica.

Asimismo, menciona los generadores con mayor eficiencia térmica y rendimiento a carga parcial, diseñados conforme a IEC 60034-30, que clasifica los niveles de eficiencia energética para máquinas rotativas. “Los nuevos modelos operan con menor consumo de combustible o mejor aprovechamiento de energías renovables.

A su vez, Eduardo Bobenrieth, destaca los progresos desarrollados en materia de digitalización y conectividad. Entre estos, destaca la incorporación de

equipos con capacidades de autodiagnóstico y comunicación que facilitan su integración en redes eléctricas inteligentes; sistemas modulares y escalables que permiten ajustar la capacidad según necesidades cambiantes, e integración con microrredes que facilitan la incorporación progresiva de energías renovables en operaciones mineras.

### TECNOLOGÍA Y OPTIMIZACIÓN OPERATIVA

Por otro lado, la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, los sistemas Scada u otras herramientas digitales recientes, también se ha traducido en una optimización operativa de generadores y transformadores eléctricos en la minería de superficie y otras industrias.

Según David Vásquez, la digitalización ha transformado radicalmente la gestión y mantenimiento de equipos eléctricos. En particular, precisa que los sistemas Scada “permiten el monitoreo en tiempo real de parámetros eléctricos (tensión, corriente, temperatura, factor de potencia, entre otros), los cuales facilitan la operación remota de generadores y transformadores, reduciendo riesgos operativos y tiempos de respuesta”. Añade Vásquez que la inteligencia artificial y el machine learning “analizan grandes volúmenes de datos para predecir fallas o anomalías en equipos eléctricos, optimizando la carga entre generadores, lo que permite reducir consumo de combustible y desgaste mecánico. En minería, se ha aplicado IA para determinar los momentos óptimos de mantenimiento, extendiendo la vida útil de transformadores de potencia en ambientes de alta polución”. Concordando con el docente, Víctor Ballivian señala que “la inteligencia artificial ha introducido capacidades predictivas que analizan patrones de consumo energético y comportamiento de equipos para anticipar fallos antes de que ocurran. Estos algoritmos pueden, por ejemplo, predecir sobre-calentamientos en transformadores basándose en datos históricos y condiciones operativas actuales”.