Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

Resiliencia energética en instalaciones críticas: integración de generación solar, almacenamiento y grupos electrógenos.

Resiliencia energética en instalaciones críticas: integración de generación solar, almacenamiento y grupos electrógenos.
Resiliencia energética en instalaciones críticas: integración de generación, almacenamiento y generadores solares.

Adriano César Notario

Ingeniero eléctrico, ingeniero civil, especialista en instalaciones e ingeniería eléctrica.
Seguridad en el lugar de trabajo

Resumen

Este artículo examina los fundamentos del diseño, dimensionamiento, protección y operación de sistemas híbridos destinados a la continuidad de instalaciones críticas. La revisión narrativa integra literatura científica, informes de organizaciones internacionales y guías técnicas relevantes para el tema. Se analiza la complementariedad entre la generación fotovoltaica, el almacenamiento electroquímico, las unidades generadoras y la red eléctrica pública, prestando atención a los perfiles temporales, la incertidumbre, las fallas de componentes, la calidad de la energía, la puesta a tierra, el mantenimiento y la gobernanza. El análisis sostiene que la resiliencia no resulta de la suma de los equipos, sino de la coordinación verificable entre fuentes, controles, protecciones y procedimientos. El trabajo no presenta pruebas experimentales ni un protocolo universal; ofrece una síntesis crítica para respaldar las decisiones de ingeniería y define las condiciones necesarias para la interpretación responsable de las métricas de autonomía y disponibilidad.

Palabras clave: resiliencia energética; microrredes; generación fotovoltaica; almacenamiento de energía; grupos electrógenos; instalaciones críticas

Abstracto

Este artículo examina el diseño, el dimensionamiento, la protección y los fundamentos operativos de los sistemas híbridos destinados al mantenimiento de instalaciones críticas. La revisión narrativa integra literatura científica, informes de organizaciones internacionales y guías técnicas relevantes para el tema. Analiza las funciones complementarias de la generación fotovoltaica, el almacenamiento electroquímico, los grupos electrógenos y la red eléctrica pública, prestando especial atención a los perfiles horarios, la incertidumbre, las fallas de los componentes, la calidad de la energía, la puesta a tierra, el mantenimiento y la gobernanza. El análisis sostiene que la resiliencia no se logra simplemente añadiendo equipos, sino mediante una coordinación verificable entre fuentes, controles, protecciones y procedimientos. El artículo no presenta una prueba experimental ni un protocolo universal; ofrece una síntesis crítica para respaldar las decisiones de ingeniería y define las condiciones necesarias para una interpretación responsable de las métricas de autonomía y disponibilidad.
Palabras clave: resiliencia energética; microrredes; generación fotovoltaica; almacenamiento de energía; grupos electrógenos; instalaciones críticas

Introducción

La continuidad del suministro eléctrico se ha convertido en un requisito estructural para los servicios de salud.

Telecomunicaciones, tratamiento de agua, procesamiento de datos, seguridad y fabricación.

La dependencia de los controles electrónicos y las redes de comunicación ha aumentado la probabilidad de interrupciones.

Al mismo tiempo, fenómenos meteorológicos extremos, incendios, fallos técnicos y amenazas digitales...

Desafían los sistemas diseñados únicamente para condiciones promedio. La Agencia Internacional de Energía

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
ICMOS – Revista Científica Multidisciplinaria
Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

Se hace hincapié en que la seguridad eléctrica requiere adecuación, flexibilidad, estabilidad y capacidad institucional.

especialmente en sistemas con una proporción creciente de recursos variables (IEA, 2021).

Históricamente, los grupos electrógenos han sido la solución de respaldo más común, pero su fiabilidad...

Depende del arranque, el combustible, el mantenimiento, la ventilación y las condiciones transitorias. La difusión de

La generación fotovoltaica y las baterías han dado lugar a nuevas arquitecturas. Estos recursos pueden reducir el consumo y las emisiones.

y, cuando se configura para funcionamiento independiente, soporta las cargas durante los fallos. Sin embargo, la integración

Introduce requisitos de control, protección, puesta a tierra y gestión que no aparecen cuando

El equipo se evalúa por separado.

La literatura utiliza diferentes definiciones de resiliencia. En este artículo, el término indica la capacidad de

Anticipar, absorber, adaptarse y recuperarse de las perturbaciones, manteniendo al mismo tiempo las funciones prioritarias.

La definición evita reducir la resiliencia a la fiabilidad histórica o la autonomía nominal. Rendimiento

Depende del evento, la carga y el estado del sistema en el momento de la interrupción. Una arquitectura

Si bien es adecuado para interrupciones de corta duración, puede resultar insuficiente ante una indisponibilidad regional prolongada.

El objetivo es sintetizar los criterios para el diseño y la gestión de sistemas híbridos en instalaciones críticas.

Distinguir los beneficios potenciales de las condiciones necesarias. La pregunta que guía es: ¿qué elementos

Los factores técnicos y organizativos permiten la generación, el almacenamiento y los grupos electrógenos solares.

¿Cómo pueden contribuir de manera coordinada a la resiliencia? El texto aborda métricas, arquitectura,

dimensionamiento, expansión solar, protección, mantenimiento y gobernanza, sin convertir la revisión en

receta universal.

Metodología

Se realizó una revisión narrativa y crítica de la literatura, adecuada para integrar conceptos de...

ingeniería eléctrica, microrredes, almacenamiento, confiabilidad y gestión de activos.

Se da prioridad a los artículos revisados por pares y a las publicaciones de la Agencia Internacional de Energía.

La Comisión Internacional de Energías Renovables y el Laboratorio Nacional de Energías Renovables, además de las normas conocido.

La búsqueda conceptual consideró combinaciones de términos relacionados con la resiliencia eléctrica y las microrredes.

Sistemas híbridos, generación fotovoltaica, baterías, generadores diésel, instalaciones críticas, protección y operación.

La selección priorizó los documentos con una metodología descrita, un alcance identificable y relevancia para...

Decisiones de diseño. Se han excluido las fuentes comerciales y los textos sin autoría técnica. Datos

Las cifras cuantitativas se utilizaron únicamente cuando iban acompañadas de la unidad, el período y la institución.

responsable.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

La síntesis se organizó por función de ingeniería. Cada evidencia se interpretó según su...
Contexto, estudios de caso distintivos, modelado, revisión y estadísticas globales. Resultados de un
Las tasas de instalación no se generalizaron como tasas universales. El gráfico utiliza valores publicados por
La IRENA para la capacidad solar global es de carácter descriptivo. No demuestra una relación causal.
entre la expansión fotovoltaica y la resiliencia de una instalación.
Como limitaciones, cabe señalar que la revisión no realizó metaanálisis, experimentación ni validación de ningún método.
Dimensionamiento. Las normas nacionales y los requisitos de las empresas de servicios públicos varían según la jurisdicción y deben...
Se verificará en cada proyecto. Las conclusiones representan convergencias con la literatura y los criterios establecidos.
analítico, no sustituyendo estudios eléctricos, evaluación de riesgos, responsabilidad técnica o
puesta en marcha específica.

1. La resiliencia energética como atributo de diseño medible.

La resiliencia energética no debe confundirse con la disponibilidad promedio observada durante períodos de
Operación regular. Describe la capacidad de una instalación para anticipar perturbaciones, resistir las
pérdida parcial o total del suministro externo, mantener la carga prioritaria y recuperar las funciones dentro
límites de tiempo definidos. La literatura sobre microrredes recomienda que se evalúe el rendimiento.
por escenarios de interrupción, duración probable del evento, perfil de carga horaria y consecuencia de
indisponibilidad. Este enfoque aleja el diseño de una lógica centrada únicamente en la energía.
nominal para un análisis orientado hacia la continuidad funcional y el riesgo (ANDERSON et al., 2019;
NELSON et al., 2020).1
En instalaciones críticas, la clasificación de la carga es la primera decisión analítica relevante.
Sistemas de protección, comunicación, iluminación de emergencia, refrigeración esencial, bombeo.
El procesamiento y la gestión de datos pueden presentar requisitos distintos en cuanto a calidad y autonomía. (Añadir más información aquí).
Potencia instalada sin considerar la simultaneidad, la corriente de arranque, el factor de potencia ni la secuencia.
Los esfuerzos de restauración suelen generar soluciones sobredimensionadas o incapaces de abordar el problema.
Evento del mundo real. La ingeniería de resiliencia requiere curvas de carga, inventario funcional y criterios.
prioridades explícitas, ya que la energía disponible durante una contingencia debe asignarse de acuerdo con
la criticidad del servicio.
La medición puede combinar indicadores como energía no suministrada, tiempo máximo tolerable de
interrupción, autonomía para cargas críticas y probabilidad de supervivencia durante una interrupción del servicio.
con una duración definida. Ningún indicador individual reemplaza el análisis sistémico. Un acuerdo puede

1En este artículo, una instalación crítica se define como aquella cuya pérdida de energía tiene consecuencias significativas para la seguridad, la salud, el medio ambiente, la información o la continuidad del servicio.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

exhibir una alta autonomía teórica y, al mismo tiempo, fallar debido a la indisponibilidad del dispositivo.
transferencia, degradación de la batería, falta de combustible o error de coordinación de la protección.
Por lo tanto, las métricas de energía deben asociarse con los modos de falla, las pruebas periódicas y las condiciones.
Medio ambiente y mantenimiento.

La Agencia Internacional de Energía señala que la seguridad eléctrica ha cobrado mayor importancia a medida que...
Las economías y los servicios dependen cada vez más de la electricidad. La digitalización, el aire acondicionado,
La movilidad eléctrica y la automatización amplifican las consecuencias de las disrupciones, incluso cuando...
La frecuencia de fallas sigue siendo baja. Este cambio hace que abordar el suministro sea insuficiente.
Surgimiento como elemento periférico. La arquitectura de la fuente de alimentación, los medios de transferencia, el
La selectividad y la observabilidad operativa se convierten en elementos centrales del rendimiento de los activos.
(AIE, 2020).

La decisión técnica también debe reconocer que la resiliencia tiene un costo y un valor que dependen del contexto.
La interrupción de una carga de trabajo administrativa puede posponerse, mientras que la pérdida de ventilación,
Las telecomunicaciones o el control de procesos pueden producir efectos inmediatos. La comparación entre
Las alternativas deben considerar la inversión, la operación, el combustible, el reemplazo de componentes,
Costos por emisiones, mantenimiento y tiempo de inactividad evitado. Por lo tanto, la solución más resiliente no es...
necesariamente el que tenga la mayor capacidad instalada, pero el que admita funciones prioritarias con
Fiabilidad demostrable y coste de ciclo de vida constante.

2. Arquitectura híbrida y coordinación entre fuentes

Una arquitectura híbrida combina recursos con respuestas temporales y características complementarias.
La generación fotovoltaica reduce el consumo de la red y puede contribuir durante eventos diurnos, pero depende
de irradiancia y la capacidad de operar en modo aislado. Las baterías responden rápidamente,
Estabilizan las transiciones y gestionan las variaciones de corta duración. Los grupos electrógenos proporcionan energía.
Despachado siempre que haya combustible y condiciones mecánicas adecuadas. La red pública, cuando
disponible, permanece como fuente primaria o suplementaria. El valor del conjunto proviene de
coordinación entre estos elementos, y no simplemente la presencia física de cada tecnología.2

El punto central de coordinación es el equilibrio instantáneo entre generación y carga. En modo enchufado,
Los inversores pueden funcionar siguiendo la frecuencia y el voltaje de la red. En modo aislado, algunas características
Necesita establecer referencias eléctricas y mantener la estabilidad ante cambios de carga.
Los inversores formadores de red, las baterías y las máquinas síncronas tienen respuestas distintas. La transición

2. La capacidad nominal de la batería no se corresponde totalmente con la energía utilizable debido a los límites de descarga, la eficiencia, la temperatura, el envejecimiento y la reserva operativa.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

Debe estudiarse en términos de tiempo de transferencia, caídas de tensión, frecuencia y corriente.
Capacidad de protección contra cortocircuitos y arranque de motores. La arquitectura de control debe ser compatible.
con las protecciones y limitaciones de cada pieza de equipo.

La adición de almacenamiento altera la lógica de despacho. La batería puede permanecer reservada para
Contingencias, implementar la reducción de picos de demanda, absorber el excedente de energía solar o proporcionar más de un servicio.
Según una jerarquía. Las estrategias agresivas de arbitraje económico pueden debilitar al Estado.
de carga disponible cuando se produce una interrupción. Por otro lado, mantener una reserva total reduce la
explotación económica del activo. La literatura recomienda una optimización que incorpore la incertidumbre de
Fallos y preservar un margen de energía asociado con la criticidad, el pronóstico del tiempo y el tiempo.
movilización prevista de generadores (AIE, 2024).

El grupo electrógeno sigue siendo relevante en eventos prolongados, pero su fiabilidad depende de...
Factores que los cálculos de potencia no revelan: arranques fallidos, combustible degradado, averías.
El retraso en el mantenimiento y el funcionamiento prolongado a baja carga pueden reducir la vida útil de la batería de arranque.
rendimiento. Los estudios comparativos muestran que las microrredes con generación fotovoltaica,
Los sistemas de almacenamiento y generación de energía conectados en red pueden superar en resiliencia a las instalaciones que solo utilizan diésel.
y el costo del ciclo de vida, siempre que el proyecto tenga en cuenta las fallas de los componentes y la logística de
combustible (MARQUSEE; BECKER; ERICSON, 2021).

La coordinación debe prever estados operativos claros, condiciones de entrada y salida, prioridades y
Respuesta a fallas internas. Modos como operación normal, carga preventiva, contingencia,
El funcionamiento en isla, la restauración y el retorno a la red deben documentarse. Enclavamientos eléctricos y
Los controladores lógicos deben evitar la conexión en paralelo incorrecta y el suministro de energía inseguro. La supervisión debe registrar esto.
Magnitudes, alarmas y comandos suficientes para su posterior análisis. Esta disciplina reduce las ambigüedades.
y transforma un conjunto de equipos en un sistema energético que se puede gestionar eficazmente.

3. Dimensionamiento técnico bajo incertidumbre

El dimensionamiento convencional basado en un solo día típico no representa adecuadamente la
Resiliencia. La irradiancia, la temperatura, la carga y la duración de la interrupción varían, mientras que la degradación
Esto modifica la energía útil de la batería a lo largo de los años. Un análisis riguroso utiliza series de datos.
escenarios temporales y estacionales, y eventos extremos plausibles. El objetivo es verificar cuántas horas o
¿En qué días se puede dar servicio a las cargas críticas y qué combinaciones de fallos provocan la pérdida del servicio?
Los modelos deterministas son útiles para la selección, pero la incertidumbre debe indicarse explícitamente cuando...
Las consecuencias del fracaso son graves.

La potencia fotovoltaica debe estimarse teniendo en cuenta las pérdidas debidas a la temperatura, la suciedad, el sombreado,
Conversión, indisponibilidad y orientación. La energía anual proyectada no garantiza la contribución durante

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

una contingencia específica. En un evento nocturno, la fuente solar no proporciona energía inmediata;
En días nublados, la producción puede permanecer por debajo del promedio. Por lo tanto, la participación de la energía fotovoltaica en
La resiliencia debe calcularse utilizando perfiles horarios, no promedios mensuales. El uso de datos
Los datos meteorológicos representativos permiten cuantificar los rangos de rendimiento y evitan hacer promesas vacías.
autonomía sin fundamento.

En el almacenamiento, la potencia y la energía son variables diferentes. La potencia determina la capacidad.
para gestionar la demanda máxima y formar la red, mientras que el suministro de energía determina la duración del servicio. Profundidad
La capacidad de descarga, la eficiencia, la temperatura, la tasa de descarga y el envejecimiento reducen la capacidad.
Disponible. La reserva operativa también limita su uso. La especificación debe incluir criterios para el fin de su vida útil.
Vida útil, expansión, seguridad térmica, protección, ventilación y estrategia de reemplazo. Dimensionamiento
Utilizar únicamente la capacidad nominal inicial transfiere un riesgo a la operación que debería haberse abordado.
en el proyecto.

El grupo electrógeno se selecciona teniendo en cuenta las condiciones de servicio, las características transitorias, la altitud,
Temperatura, combustible, ruido, emisiones y mantenimiento. Cargas con motores, ascensores,
Los transformadores o la electrónica de potencia pueden imponer condiciones diferentes a las indicadas por
Potencia activa total. La secuencia de entrada de carga reduce los pasos y puede permitir que el equipo
Más pequeño, pero requiere automatización fiable. Su funcionamiento en paralelo con otros recursos exige un estudio más profundo.
sincronización, reparto de carga, protección y puesta a tierra. Estos requisitos demuestran
Porque los catálogos no sustituyen a la ingeniería de aplicaciones.

Las herramientas de optimización pueden comparar miles de combinaciones, pero el resultado depende
de las instalaciones. Costos de combustible, tasa de descuento, valor de la energía no suministrada, vida útil y
Las restricciones operativas deben ser transparentes. Un valor matemáticamente óptimo puede ser técnicamente...
Frágil si se ignoran el mantenimiento, la disponibilidad de repuestos o la competencia del equipo. La decisión debe
Se somete a un análisis de sensibilidad y a una revisión de ingeniería. El modelado sirve para tomar decisiones.
auditable, no para eliminar el juicio profesional.

4. Expansión de la energía solar y el papel del almacenamiento

La expansión de la energía fotovoltaica ha alterado la escala del problema de la integración. Según la Agencia Internacional
En el sector de las energías renovables, la capacidad solar fotovoltaica mundial ha aumentado desde aproximadamente 710 GW.
Para finales de 2020, este crecimiento aumentará a 1.865 GW para finales de 2024. Este crecimiento amplía la disponibilidad de capacidad de generación.
bajo costo, pero también aumenta la necesidad de flexibilidad, redes adecuadas, control y
almacenamiento. Sin embargo, los datos globales no determinan la solución para una instalación específica.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

Esto demuestra que las tecnologías que antes eran secundarias se han convertido en elementos centrales de las decisiones sobre infraestructura.
energía (IRENA, 2025).3

Las baterías pueden reducir las pérdidas y la congestión, distribuir la energía a lo largo del tiempo y facilitar la integración.
de fuentes variables. La Agencia Internacional de Energía estima que la capacidad global de

Será necesario aumentar significativamente la capacidad de almacenamiento para poder respaldar de forma segura la expansión de las energías renovables.

En instalaciones críticas, la misma tecnología puede aportar continuidad y calidad, siempre que...
Estrategia: Reservar energía para imprevistos. El beneficio energético no elimina los riesgos de seguridad.
degradación o cadena de suministro, que deben incorporarse a la especificación y operación.
(AIE, 2024).

El gráfico presentado resume solo dos puntos observados de la serie internacional y no constituye...
Proyección. Su propósito es resaltar el cambio en la escala de generación de energía solar a lo largo de cuatro años. Comparaciones.
Los proyectos temporales requieren coherencia y un alcance uniforme, por lo que se utiliza la capacidad instalada global.
expresado en gigavatios. La interpretación correcta no es que toda la capacidad pueda operar de una manera
aislado, pero la planificación de redes y activos debe dar cabida a una creciente participación de
Recursos basados en inversores.

El uso local de la generación solar para la resiliencia depende de los requisitos de aislamiento. Muchos sistemas
Los dispositivos conectados se desconectan durante una interrupción de la red para proteger a los trabajadores y los equipos.
La continuidad requiere una arquitectura capaz de aislar eléctricamente la instalación, establecer el voltaje y...
Responden a la frecuencia, coordinan las protecciones y gestionan el equilibrio de potencia. Sin estas funciones, los paneles...
Los sistemas instalados pueden permanecer no disponibles precisamente durante la interrupción. Esta distinción entre
La generación distribuida y las microrredes son esenciales para evitar interpretaciones simplistas.

La combinación del crecimiento de la energía solar y el almacenamiento crea oportunidades, pero no elimina el papel de la energía solar.
de fuentes gestionables en eventos prolongados o en lugares con baja disponibilidad de energías renovables.
Una solución híbrida permite la distribución de funciones entre los recursos y reduce la dependencia de un único modo de...
fracaso. Su rendimiento debe demostrarse mediante simulación, pruebas y monitorización. La transición
Desde esta perspectiva, la eficiencia energética no solo significa reemplazar equipos, sino también reorganizar...
Arquitectura de confiabilidad y gestión de activos.

3. El término microrred implica la capacidad de controlar recursos y cargas dentro de límites eléctricos definidos, con la posibilidad de operación conectada o aislada según lo planificado.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

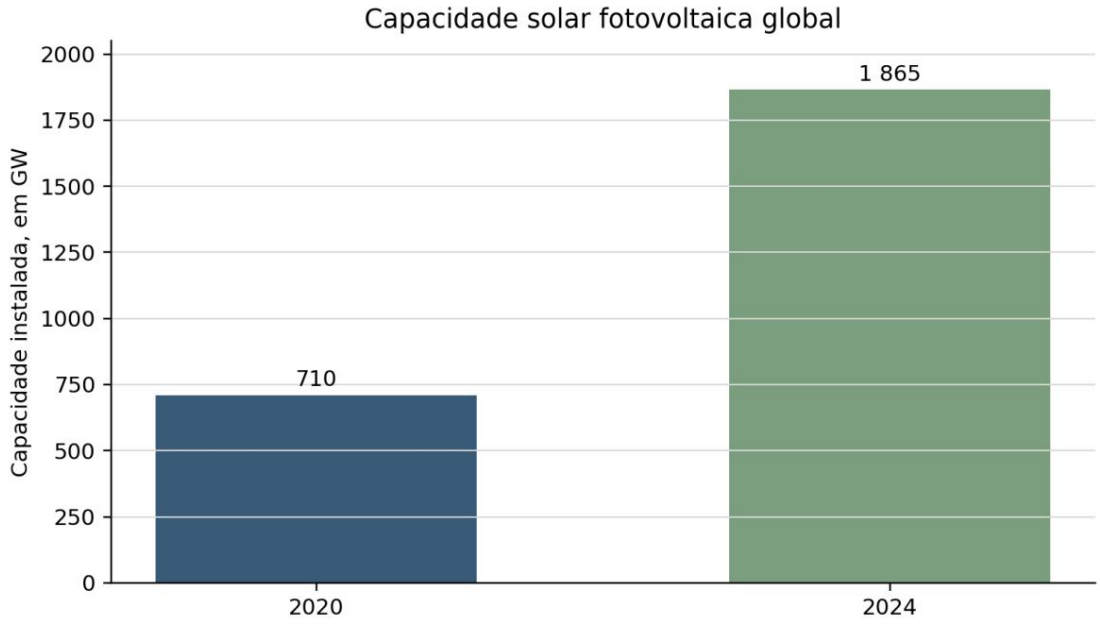

Figura 1. Capacidad solar fotovoltaica global en 2020 y 2024. Fuente: elaboración propia con datos.
IRENA (2025).

5. Protección, seguridad y calidad de la energía

Las microrredes y los sistemas híbridos modifican los niveles y direcciones de corriente. Protecciones diseñadas para
El flujo unidireccional puede perder sensibilidad o selectividad durante el funcionamiento en modo isla. Inversores
Por lo general, limitan la corriente de falla, mientras que los generadores síncronos contribuyen de manera diferente.
Los estudios de cortocircuito deben tener en cuenta los posibles estados de funcionamiento y ajustar los dispositivos en consecuencia.
comprometiendo la protección de las personas o los equipos. La coordinación debe abarcar las sobrecorrientes,
falla a tierra, voltaje, frecuencia, potencia inversa y condiciones de sincronización.4
El esquema de puesta a tierra puede cambiar entre operación conectada y aislada. La posición del conductor
La neutralidad, la existencia de una fuente derivada por separado y la conmutación de polos influyen en la detección.
Debido a faltas y tensiones por contacto, una transferencia técnicamente funcional puede resultar insegura.
Si no se ha analizado la referencia al terreno, el proyecto debe representar cada modalidad y documentarla.
Se revisan las rutas actuales y se verifica el cumplimiento de las normas aplicables. La seguridad eléctrica es un atributo.
de arquitectura, no un suplemento documental.
La calidad de la energía incluye variaciones en el voltaje, la frecuencia, los armónicos, el desequilibrio, el parpadeo y...
Transitorios. Las cargas electrónicas sensibles y los convertidores pueden interactuar, especialmente en redes de
Baja potencia de cortocircuito. El modelado debe evaluar la estabilidad y la distorsión, mientras que la

4. Las normas y requisitos de interconexión deben verificarse en la edición vigente y en la jurisdicción del proyecto.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

La puesta en marcha confirma los parámetros reales. La presencia de baterías no garantiza la calidad.
Automáticamente. Un control inadecuado, filtros mal dimensionados o resonancias pueden introducir...
nuevos problemas. La medición continua permite identificar tendencias antes de que se conviertan en problemas.
indisponibilidad.
La seguridad del almacenamiento requiere evaluación de la química, propagación térmica, detección,
Ventilación, supresión, despejes, acceso y respuesta ante emergencias. La probabilidad de un incidente.
Puede que sea bajo, pero las consecuencias justifican barreras independientes. El proyecto debería considerar
Información del fabricante, normas técnicas y condiciones ambientales. Planes de inspección y capacitación.
Deben supervisar el activo durante toda su vida útil. El departamento de ingeniería no debería transferir toda esa responsabilidad.
Gestión de riesgos para el sistema de baterías electrónicas.
Las pruebas de puesta en servicio integradas realizan funciones que la verificación individual no puede lograr. Deben ser
pérdida de red simulada, fallo de arranque, indisponibilidad de la batería, retorno de la fuente de alimentación, rechazo de
La carga y la comunicación se interrumpen. Las pruebas deben planificarse de manera que no se exponga a las personas o
Procesos que conllevan un riesgo indebido. Los resultados, ajustes y limitaciones deben documentarse. Repetición
Las pruebas críticas periódicas son necesarias porque el software, la carga, el combustible y el estado de
Los componentes cambian con el tiempo.

6. Gobernanza de la operación, el mantenimiento y el rendimiento

La capacidad de adaptación prevista solo sigue siendo válida cuando la operación respeta los supuestos esenciales.
Los cambios en la carga, las ampliaciones, los nuevos equipos y las modificaciones en el uso pueden reducir los márgenes de beneficio.
sin revisión formal. Un proceso de gestión del cambio debe evaluar el impacto en el poder,
Secuencia de autonomía, protección y restauración. Se necesitan diagramas, listas de carga y lógica.
Reflejar la configuración real. Las discrepancias entre la documentación y el rendimiento en campo reducen la fiabilidad.
Esto dificulta las maniobras y obstaculiza la respuesta ante incidentes.
El mantenimiento basado en calendarios puede complementarse con consideraciones sobre el estado y la criticidad.
Temperatura del módulo, resistencia interna, número de ciclos, calidad del combustible, vibración,
La presión, las alarmas y el historial de partidos ayudan a anticipar fallos. Los indicadores deben ser pocos.
Datos fiables y relevantes para la toma de decisiones. Recopilar datos sin criterios de interpretación aumenta la complejidad.
sin mejorar el rendimiento. La gobernanza define las responsabilidades, los umbrales de alerta y los plazos.
Intervención y evidencia de cierre.
Las pruebas de autonomía deben tener en cuenta que descargar completamente una batería o hacer funcionar un
El funcionamiento de un generador durante un período prolongado puede generar costos y riesgos. Métodos de prueba parciales, análisis de tendencias.
Las simulaciones pueden reducir la exposición, pero no reemplazan toda verificación física. La frecuencia debería

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
KOMOS - Revista Científica Multidisciplinaria
Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

Refleje la criticidad y el contexto histórico. Cuando una prueba detecta un fallo, la corrección debe incluir la causa y el efecto.

En cuanto a otras funciones y la necesidad de revisar los supuestos de diseño, se concluye el aprendizaje operativo.

el ciclo de ingeniería.

La logística de combustible sigue siendo crucial en los eventos regionales. Carreteras bloqueadas, alta

Las restricciones de demanda y almacenamiento pueden limitar el reabastecimiento. La autonomía nominal debería ser

interpretado en función de la cantidad utilizable, el consumo de carga variable y la calidad del producto.

Las estrategias híbridas pueden reducir el consumo y extender el inventario, mientras que los contratos y planes de

Las medidas de emergencia mejoran el reabastecimiento. Ninguna medida por sí sola garantiza la continuidad; la solidez resulta de...

Diversidad técnica y preparación organizativa.

La gobernanza también debería incluir la ciberseguridad, ya que los controladores, inversores y sistemas...

Los sistemas de supervisión y las plataformas remotas amplían la superficie digital. Privilegios de acceso, actualizaciones,

Se requiere el registro de eventos, la segmentación y la recuperación de la configuración. Un incidente

La ciberseguridad puede impedir la ejecución de comandos o el cambio de parámetros sin causar daños físicos iniciales. Integre la seguridad.

La digitalización del mantenimiento eléctrico impide que la automatización, creada para aumentar la resiliencia, se convierta en...

en un nuevo punto único de fallo.

7. Evaluación económica y toma de decisiones a lo largo del ciclo de vida

La evaluación económica de los sistemas resilientes debe combinar los flujos monetarios y las consecuencias.

Costos operativos. Inversión inicial, reemplazo de baterías, consumo de combustible, mantenimiento,

Los aranceles, las pérdidas y el valor residual conforman el costo del ciclo de vida. Ahorro en la factura de energía.

Esto por sí solo no representa el valor de la continuidad. Para cargas críticas, deben analizarse los costos.

Se evitaron interrupciones, pérdida de producción, recuperación de datos, deterioro del producto y

movilización de emergencia. Dado que estos valores tienen incertidumbre, es aconsejable trabajar con intervalos y

escenarios, evitando convertir una estimación en una precisión aparente.

El horizonte de análisis debe reflejar diferentes duraciones de vida. Módulos fotovoltaicos, inversores, baterías,

Los generadores y los sistemas de control no envejecen al mismo ritmo. Los reemplazos deben ser...

posicionado en el flujo de caja, con supuestos consistentes de depreciación e inflación. La tasa de descuento

Influye en la comparación entre una inversión inicial elevada y los gastos futuros. Una decisión

Transparente, presenta los valores utilizados y muestra cómo cambia el resultado en respuesta a las variaciones.

El análisis de sensibilidad es especialmente importante en tecnologías donde el precio y el rendimiento son cruciales.

Evolucionan rápidamente.

Las tarifas basadas en la demanda, los plazos y las penalizaciones pueden hacer que el almacenamiento sea económicamente viable.

Atractivo incluso sin interrupción. Sin embargo, el despacho para la reducción de costos puede competir con

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

la reserva de resiliencia. La optimización debe priorizar explícitamente la continuidad o calcular la
El valor de mantener un estado de carga determinado. Las reglas adaptativas pueden tener en cuenta la previsión.
Tormenta o riesgo de fallo de red, pero requieren datos y monitorización. La economía operativa no es
Debería consumir discretamente el margen asignado para eventos críticos.
Las externalidades ambientales también forman parte de la decisión. Reducir las horas de funcionamiento del generador disminuye
El consumo local, el ruido y las emisiones son factores a tener en cuenta, mientras que las baterías y los paneles tienen repercusiones en su fabricación.
transporte y fin de vida. Una comparación responsable utiliza límites consistentes y reconoce que
Las emisiones varían según el tipo de combustible, la eficiencia, la combinación de fuentes de electricidad y el reciclaje. El objetivo no es...
Declarar una tecnología como universalmente limpia, pero elegir una combinación que reduzca los impactos.
mantener la funcionalidad y la seguridad.
Los criterios multicriterio pueden organizar la confiabilidad, el costo, las emisiones, el espacio, el ruido, el mantenimiento y
Disponibilidad del proveedor. Los pesos deben ser definidos por los responsables y las partes afectadas, porque
Estas no son propiedades naturales del equipo. El resultado sirve para documentar preferencias y
Los conflictos no producen una verdad automática. Las decisiones sólidas tienden a perdurar.
aceptables en diferentes escenarios, incluso cuando no son óptimos en una sola previsión.

8. Discusión crítica y agenda de desarrollo

La bibliografía coincide en reconocer que la diversidad de recursos puede aumentar la resiliencia, pero también presenta divergencias.
En cuanto a cómo medir el beneficio, los estudios utilizan la duración de las fallas, los perfiles de carga, el clima y los costos.
distinto. Comparar resultados sin estas condiciones puede llevar a conclusiones erróneas. Uno
Una agenda de investigación útil debería publicar conjuntos suficientes de supuestos, modelos y datos para...
reproducción, además de incluir fallos de componentes y comportamiento operativo.
Otra brecha radica en la validación a largo plazo. Muchos estudios simulan el rendimiento, mientras que
Pocas personas supervisan los sistemas durante años para correlacionar la degradación, el mantenimiento y los sucesos del mundo real.
Los datos operativos anonimizados podrían mejorar los parámetros de confiabilidad. Sin embargo,
Las instalaciones críticas tienen restricciones de seguridad y confidencialidad. Protocolos de
Compartir información debe equilibrar el conocimiento y la protección.
El uso cada vez mayor de inversores exige mejores métodos de estabilidad y protección.
Los modelos agregados pueden no representar controles propietarios y actualizaciones de firmware.
Modifican el comportamiento. Pruebas de conformidad, modelos validados y documentación de parámetros.
La cooperación entre fabricantes, diseñadores, operadores e investigadores cobra gran importancia.
Reducir la incertidumbre sin exponer información sensible.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

En países y regiones con infraestructuras desiguales, las soluciones deben tener en cuenta la capacidad local para...

mantenimiento. Un sistema sofisticado puede presentar menor resistencia práctica si las piezas, el soporte y

No hay capacitación disponible. Proyectos modulares, documentación clara y estrategias para

El funcionamiento degradado puede aumentar la robustez. La ingeniería debe adaptar la tecnología al contexto en

En lugar de asumir condiciones institucionales uniformes.

La principal implicación es que la resiliencia debe tratarse como un desempeño verificable. Requisitos

Estos requisitos deben definirse antes de la selección, demostrarse durante la puesta en marcha y supervisarse durante todo el proceso.

la vida útil. Las investigaciones futuras deberían reunir modelos, datos de campo, factores humanos y

economía. Esta integración permitirá una comparación más rigurosa de las soluciones y evitará que la resiliencia se vea comprometida...

utilizado únicamente como expresión genérica de valor.

Conclusión

La resiliencia energética de las instalaciones críticas es una propiedad de todo el sistema.

La capacidad de la batería instalada y el volumen de combustible son insuficientes cuando los controles,

La protección, la transferencia y la operación no estaban coordinadas. El proyecto debería comenzar con las funciones.

prioridades, plazos aceptables y consecuencias del fracaso.

La complementariedad entre la generación fotovoltaica, el almacenamiento y las unidades generadoras se amplía.

Alternativas. La batería ofrece una respuesta rápida y flexibilidad, y la fuente solar aporta energía.

La fuente de energía renovable y el generador permiten el funcionamiento durante periodos prolongados. Esta combinación reduce la dependencia de una única fuente.

Es una función excelente, pero crea interfaces que requieren una ingeniería detallada.

El dimensionamiento debe tener en cuenta las series temporales, la estacionalidad, la degradación y las fallas. Promedios

Los plazos anuales no determinan la autonomía durante las contingencias. Análisis de sensibilidad y escenarios.

Nos permiten comprender qué supuestos predominan en el resultado y dónde es necesario hacer reservas.

La expansión global de la energía solar confirma la relevancia de integrar recursos basados en inversores.

Sin embargo, la generación conectada no equivale a la capacidad de funcionamiento aislado. La continuidad requiere

La separación, la referencia eléctrica, el control y la protección son compatibles.

La seguridad y la calidad de la energía no pueden abordarse después de la selección del equipo.

Puesta a tierra, corrientes de falla, armónicos, riesgos de almacenamiento y transiciones operativas.

Determinan si el sistema puede funcionar sin generar nuevas exposiciones.

La puesta en marcha integrada constituye una evidencia esencial. Pruebas de pérdida y retorno de la red, fallo de

El rechazo de carga y el análisis de recursos revelan interacciones que las pruebas aisladas no muestran. La documentación

Los resultados preservan el conocimiento para su mantenimiento.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
KOMOS - Revista Científica Multidisciplinaria
Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 22/12/2025 | Aceptado: 25/12/2025 | Publicación: 28/12/2025

A lo largo del ciclo de vida del producto, la gestión de cambios, los datos de estado, la logística de combustible y...

La ciberseguridad es fundamental para el rendimiento. La instalación evoluciona y sus premisas deben revisarse.

La resiliencia es una práctica continua, no una cualidad permanente que se adquiere al dar a luz.

Se puede concluir que los sistemas híbridos pueden aumentar la continuidad y la eficiencia cuando se someten a

Criterios medibles, arquitectura coherente y gobernanza. La toma de decisiones responsable combina...

Modelado, estándares, pruebas y criterio profesional, teniendo en cuenta las limitaciones de cada uno.

la fuente y cada una de las pruebas.

Referencias

ANDERSON, K. et al. Microrredes para la resiliencia energética: una guía para el diseño conceptual y lecciones de proyectos de defensa. Golden: Laboratorio Nacional de Energías Renovables, 2019.
HIRSCH, A.; PARAG, Y.; GUERRERO, J. Microrredes: una revisión de tecnologías, factores clave y problemas pendientes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 90, págs. 402 a 411, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2018.03.040.

HERVÁS ZARAGOZA, J. et al. Microrredes como mecanismo para mejorar la resiliencia energética durante cortes de suministro eléctrico: un estudio de caso posterior a la COVID-19 para hospitales. Renewable Energy, vol. 199, págs. 308 a 319, 2022. DOI: 10.1016/j.renene.2022.08.132.
HWANG, S.; TONGSOPIT, S.; KITTNER, N. Transición de generadores diésel de respaldo a microrredes fotovoltaicas con almacenamiento en edificios públicos de California. Sustainable Production and Consumption, vol. 38, págs. 252 a 265, 2023. DOI: 10.1016/j.spc.2023.04.001.
AIE. Sistemas eléctricos en transición: retos y oportunidades para la seguridad del suministro eléctrico. París: Agencia Internacional de Energía, 2020.
AIE. Transiciones energéticas seguras en el sector eléctrico. París: Agencia Internacional de Energía, 2021.
AIE. Baterías y transiciones energéticas seguras. París: Agencia Internacional de Energía, 2024.
AIE. Inversión energética mundial 2025. París: Agencia Internacional de Energía, 2025.
IRENA. Estadísticas de capacidad renovable 2025. Abu Dabi: Agencia Internacional de Energías Renovables, 2025.

MARQUSEE, J.; BECKER, W.; ERICSON, S. Resiliencia y economía de las microrredes con generación fotovoltaica, almacenamiento en baterías y generadores diésel en red. Advances in Applied Energía, vol. 3, 100049, 2021. DOI: 10.1016/j.adapen.2021.100049.
NELSON, JR; JOHNSON, NG Desarrollo estadístico de la resiliencia de las microrredes durante operaciones en modo isla. Applied Energy, vol. 279, 2020. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115724.
SEPÚLVEDA MORA, SB; Hegedus, S. Análisis de resiliencia de microrredes renovables para edificios comerciales con diferentes patrones de uso y condiciones climáticas. Renewable Energy, vol. 192, págs. 731 a 744, 2022. DOI: 10.1016/j.renene.2022.04.090.
TON, DT; SMITH, MA. La experiencia de Estados Unidos con el desarrollo y despliegue de microrredes. The Electricity Journal, vol. 25, n.º 8, págs. 84 a 94, 2012. DOI: 10.1016/j.tej.2012.09.013.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.