

SISTEMA ELÉCTRICO EN TRANSFORMACIÓN





1

SEAL prepara la implementación de transformadores amorfos en alimentadores seleccionados de la SET Cono Norte

En el Perú existen 23 empresas de distribución de energía eléctrica (EDEs) que son responsables de construir, operar y mantener las redes de media y baja tensión; además de actuar como comercializadoras tanto en el segmento del mercado regulado –donde suministran electricidad a precios regulados por OSINERGMIN–, como en el segmento del mercado libre, donde compiten con los generadores.

De las 23 EDEs, 11 son empresas de propiedad estatal y el resto son privadas. Existe gran diversidad de tamaños de las EDEs –según la cantidad de clientes que atienden– y operan, a su vez, también en una gran diversidad de contextos geográficos, atendiendo usuarios tanto de las zonas urbanas como rurales en las regiones de costa, sierra y selva.

Para distribuir la energía eléctrica mediante las redes de distribución es necesario el uso de transformadores, los cuales permiten reducir la tensión usada en los circuitos de distribución al nivel de tensión usado por el cliente. El transformador, por tanto, es un elemento esencial en el sistema de suministro de electricidad; sin embargo, en él se producen grandes pérdidas de energía. A nivel mundial, se estima que estas pérdidas pueden representar del 2 al 3 por ciento de la producción total de energía eléctrica.

En ese sentido, y en el marco de los programas de ahorro de energía, mayores exigencias en eficiencia energética y compromisos de reducción de emisiones de CO₂, se viene adoptando la tecnología de transformadores de metal amorfo de manera creciente y sostenida en los sistemas eléctricos de distribución de varios países del mundo desde la década de los 80.

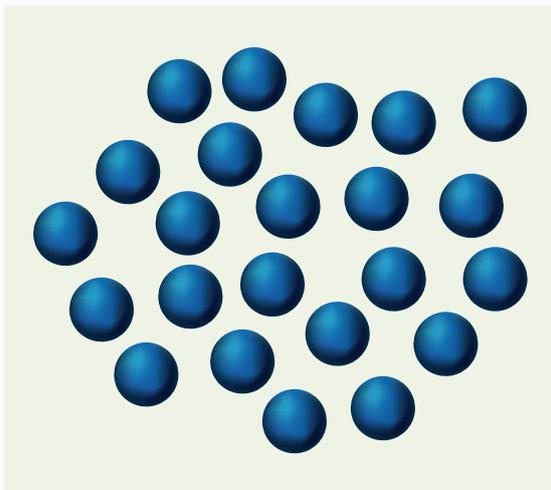
Precisamente, el uso más extendido del metal amorfo es en la construcción de núcleos para transformadores de distribución de energía eléctrica. Los materiales amorfos ofrecen, en conjunto,

2

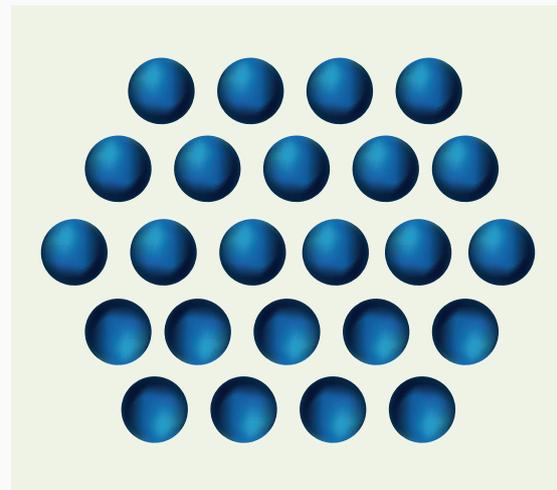
excelentes características magnéticas y de ahorro en los costos de producción, permitiendo reducir considerablemente las pérdidas sin carga en comparación con los materiales empleados en núcleos convencionales. Para las EDEs, la reducción de las pérdidas sin carga es prioritaria, ya que la carga media de un transformador de distribución suele ser relativamente baja.

El metal amorfo es una aleación metálica de hierro, boro y silicio (Fe-B-Si) producida por solidificación de la aleación fundida con una rapidez suficiente (velocidades de solidificación de 10^6 K/s) para impedir la cristalización del metal. Esta solidificación rápida genera un sólido vitrificado con una estructura atómica aleatoria (amorfa) esencialmente igual a la propia de la fase líquida. Esto difiere de la estructura atómica del acero al silicio convencional de grano regular orientado (RGO) (una aleación Fe-Si), que tiene una estructura cristalina organizada. Asimismo, la alta velocidad de extracción de calor limita el sólido obtenido a la forma de una cinta delgada, de unos 25 μm de grosor, por lo que la aplicación del metal amorfo se limita a los núcleos de transformador arrollados.

Estructura atómica del acero amorfo vs estructura cristalina del acero de grano regular orientado



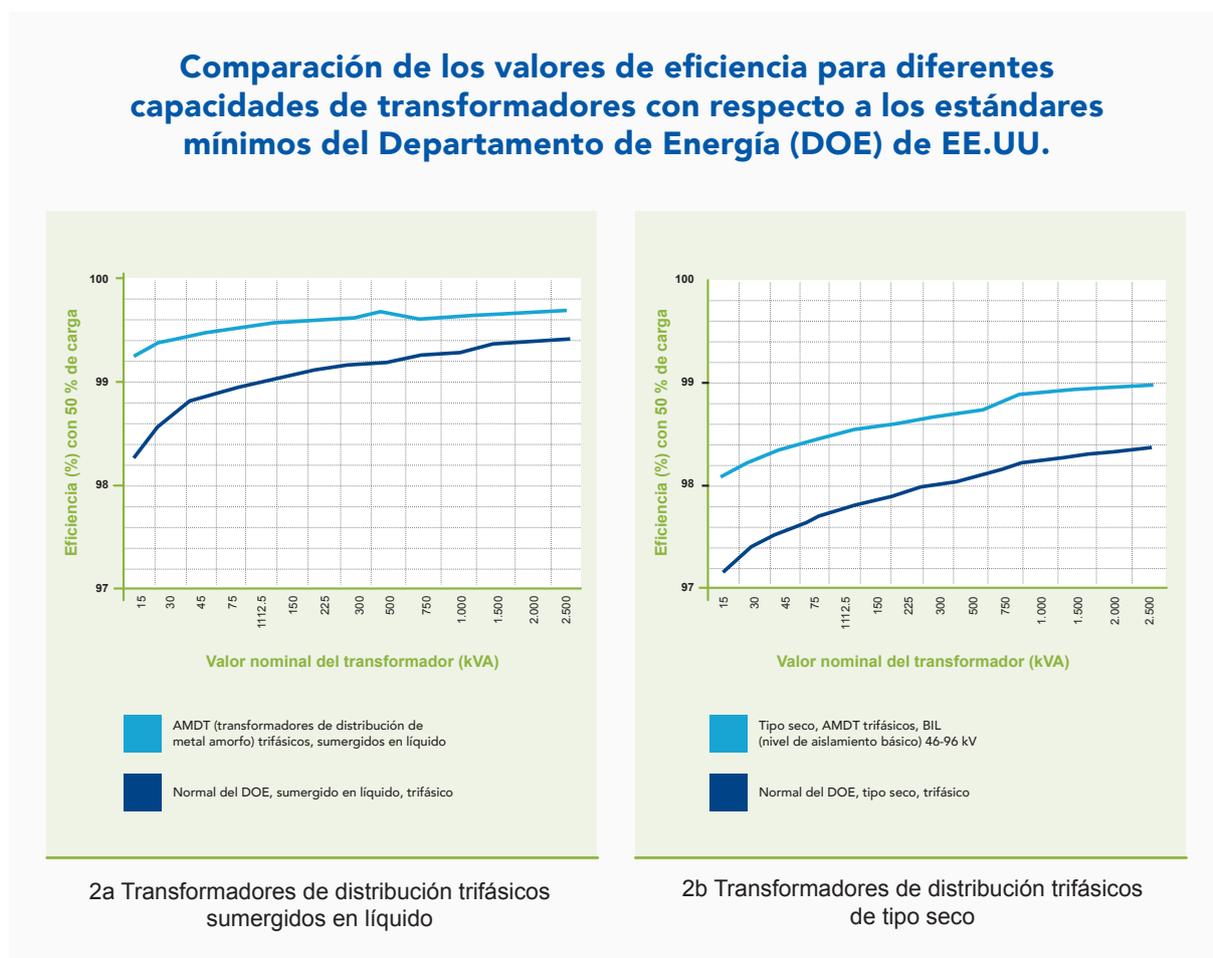
1a Acero amorfo



1b Acero de grano regular orientado

La característica más notable de un metal amorfo en un transformador es que las pérdidas en el núcleo son hasta 70-80% menores que las que se obtendrían incluso en transformadores que cuenten con las mejores calidades de acero RGO en sus núcleos. En el material del núcleo de un transformador se producen dos tipos principales de pérdidas: las pérdidas por histéresis y las pérdidas por corrientes de Foucault. El primer tipo refleja la facilidad de magnetización del material cuando se suministra energía al núcleo, y el segundo es consecuencia de las corrientes internas generadas en el material. La ausencia de una estructura cristalina en el metal amorfo permite la fácil magnetización del material, con la consiguiente disminución de las pérdidas por histéresis. Las pérdidas por corrientes de Foucault también son menores en el metal amorfo debido a la combinación de su delgadez y su elevada resistividad eléctrica.

Con relación a la eficiencia energética alcanzada de los transformadores de núcleo amorfo, para diferentes capacidades nominales de transformadores, con respecto al estándar definido por el Departamento de Energía (DOE) de los EE. UU., es apreciable las mejoras de eficiencia obtenidas con dicha tecnología. Esto es particularmente relevante si se tiene en cuenta que, en diciembre de 2022, el DOE ha propuesto nuevos estándares que significarán que casi todos los transformadores producidos a partir del año 2027 contarán con núcleos de acero amorfo, lo que será un fuerte incentivo para la masificación de esta tecnología.



SEAL, como resultado del proceso de fijación del VAD 2019 – 2023, se encuentra iniciando la ejecución de su proyecto piloto de reemplazo de transformadores convencionales por transformadores de núcleo amorfo. Para identificar los activos que serán reemplazados, la empresa ha establecido como criterios que los transformadores: (i) hayan alcanzado su vida útil; (ii) se ubiquen en alimentadores que presenten el mayor porcentaje de pérdidas en transformadores; (iii) la potencia nominal sea mayor o igual a 100 kVA.

En ese sentido, se seleccionaron los alimentadores Yura y Ciudad Municipal, pertenecientes a la SET San Lázaro, en los cuales serán reemplazados un total de 78 transformadores. Asimismo, en caso de que los transformadores convencionales a reemplazar no hayan alcanzado aún su vida útil, la intervención tendrá en cuenta su reubicación en otros circuitos.

ALIMENTADOR	SET	NIVEL DE TENSIÓN [kV]	PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES [%]	CANTIDAD DE SED EN ALIMENTADOR [#]	CANTIDAD DE TRANSFORMADORES A REEMPLAZAR [#]
Ciudad Municipal	Cono Norte	10,0	9,0%	209	38
Yura	Cono Norte	22,9	7,7%	108	40
TOTAL					78

Desde el Proyecto Distribución Eléctrica 4.0 se ha venido acompañando técnicamente a SEAL en la implementación de este proyecto piloto, colaborando en la definición de las especificaciones técnicas de los transformadores, así como brindando apoyo en el proceso de identificación de la base de proveedores de esta tecnología.

Asimismo, durante el presente año, el Proyecto acompañará en el proceso de despliegue de la tecnología, brindando soporte en la evaluación técnica y económica del piloto y en la elaboración de la información que sustente su cumplimiento.



2

SEAL inicia la implementación de su proyecto piloto de Sistemas de Medición Inteligente (SMI)

Uno de los primeros pasos fomentados desde la regulación y orientado a la digitalización de la red eléctrica, es la realización de pilotos de sistemas de medición inteligente (SMI), a través de los cuales las EDEs podrán evaluar tecnologías y sus funcionalidades, identificar la infraestructura necesaria, definir criterios para los planes de implementación masiva, determinar la factibilidad de los despliegues, entre otros. Todo esto con el objetivo de preparar la masificación de los SMI para que los usuarios del servicio de energía eléctrica entren a una fase de transformación y puedan aprovechar los beneficios que les brindan este tipo de sistemas; como, por ejemplo, poder conocer sus consumos, hacer un uso eficiente del servicio, integrar sistemas de autogeneración a pequeña escala a la red y percibir mejoras en la calidad del servicio.

En ese sentido, SEAL presentó al proceso de fijación del VAD 2019-2023 su proyecto piloto de SMI con el objetivo de desplegar 7 528 medidores inteligentes en tres alimentadores de la SET San Lázaro para optimizar la toma de lecturas de manera remota desde los servidores de SEAL y gestionar los cortes y reconexiones en tiempo cercano al real. La empresa seleccionó emplear comunicación por la Línea de Potencia (PLC).

UBICACIÓN	ALIMENTADOR	TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN	SEDs	MEDIDORES MONOFÁSICOS	MEDIDORES TRIFÁSICOS	TOTAL
Arequipa	Estadio	PLC	16	1 864	96	1 960
	Mercaderes	PLC	14	1 426	149	1 575
	Perú	PLC	23	3 754	239	3 933
TOTAL			53	7 044	484	7 528

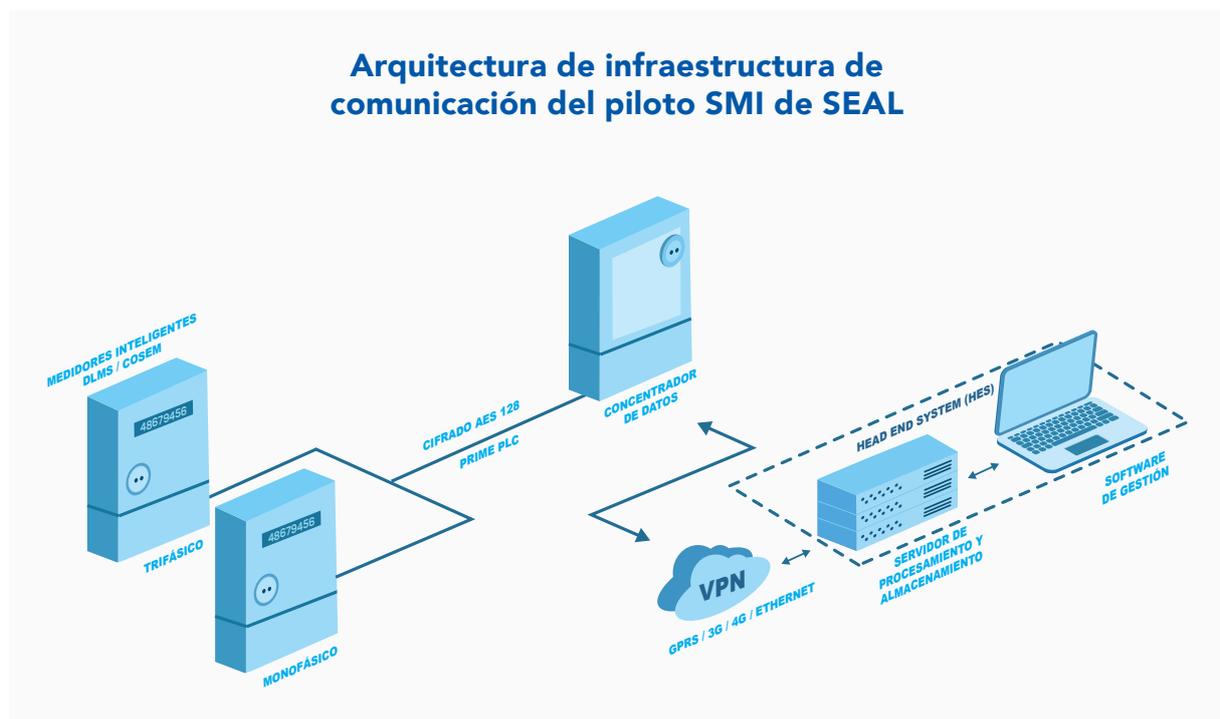
La tecnología PLC aprovecha el cableado eléctrico para el intercambio de información, convirtiendo a la red eléctrica en una línea digital para la transmisión de datos. La información por transmitir se modula digitalmente sobre una portadora de alta frecuencia, la cual se superpone a la señal de la red eléctrica. De esta manera, la señal

modulada se propaga a través de la infraestructura de la red eléctrica, pudiendo ser recibida y decodificada de forma remota por cualquier receptor PLC que se encuentre en la misma red eléctrica.

La arquitectura de la infraestructura de comunicación a utilizar en el piloto está conformada por dos tipos de redes: la red de vecindario (NAN) que proporciona comunicación entre los medidores de energía y los concentradores ubicados en las subestaciones de distribución (SEDs); y la red de área amplia (WAN) que proporciona comunicación entre los concentradores y el Head-End System (HES).

Para las comunicaciones de medidores instalados se utilizará el estándar PRIME PLC, que gracias a sus características permite establecer enlaces robustos sobre la línea de potencia, incluso para los medidores instalados en interiores y que son de difícil acceso. Desde el punto de vista de interoperabilidad, este estándar es promovido por la Alianza PRIME que, al contar con procesos de certificación rigurosos, permite garantizar la compatibilidad y funcionamiento entre dispositivos que soportan la misma tecnología. Adicionalmente este estándar cuenta con perfiles de comunicación avalados por la asociación de usuarios DLMS/COSEM, lo que garantiza interoperabilidad a nivel de capa de aplicación en el intercambio de datos con los medidores de energía. Desde el punto de vista de seguridad, esta tecnología implementa protección del canal a nivel de capa de control de acceso al medio, a través del cifrado AES 128. Adicionalmente cuenta con mecanismos robustos de autenticación en la red de comunicación.

Para las comunicaciones WAN establecidas entre los concentradores de datos PLC y el HES se utilizará la red celular –o la red TROPOS de estar disponible– para establecer los enlaces. Cada concentrador puede gestionar como mínimo 400 medidores de energía, cuenta con un totalizador y dispone de la capacidad de implementar redes privadas virtuales (VPN) para asegurar los canales de comunicación establecidos en la red WAN.



El Proyecto Distribución Eléctrica 4.0, en el marco de la cooperación técnica que brinda a SEAL, ha venido acompañando el proceso de selección para la contratación de la empresa especializada que proveerá e instalará los componentes de campo, realizará el despliegue de la infraestructura de comunicación, así como las integraciones a los sistemas de información y gestión empresarial de SEAL.

Para ello, a través de los especialistas del Proyecto, se ha brindado apoyo técnico en la revisión e identificación de propuestas de mejora a los Términos de Referencia del proceso, y brindado asesoramiento tanto en la resolución de las consultas técnicas formuladas por parte de los oferentes como en la evaluación de las tecnologías ofertadas. Entre los principales temas en que se centró la asesoría destacan los relacionados al protocolo de intercambio de datos DLMS/COSEM, la homologación de módulos de comunicación PRIME PLC, la integración de sistemas de información de la empresa al HES, la interoperabilidad entre marcas de medidores, entre otros.

En el presente año, dado que se ha culminado el proceso de contratación del proveedor de la tecnología, el Proyecto brindará acompañamiento en el despliegue y evaluación del piloto, apoyando en la definición de indicadores de evaluación y casos de pruebas; y en la evaluación de resultados, fortalezas y limitaciones, así como en la identificación de oportunidades y lecciones aprendidas, entre otros.



3

OSINERGMIN y Proyecto Distribución Eléctrica 4.0 revisan guía metodológica para la identificación, preparación y evaluación de proyectos PITEC, MCS y SMI

El Proyecto Distribución Eléctrica 4.0 viene desarrollando un trabajo colaborativo con OSINERGMIN, en el sentido de poder contar con una guía metodológica que proporcione un marco de referencia que apoye a las empresas de distribución eléctrica del país (EDEs) en la identificación, preparación y evaluación de propuestas de proyectos en las temáticas de innovación tecnológica y/o eficiencia energética (PITEC), mejora de calidad de suministro (MCS) y sistemas de medición inteligente (SMI), que puedan ser presentados en los nuevos procesos de fijación tarifaria.

En ese sentido, el viernes 17 de febrero, en la sede institucional de OSINERGMIN, se realizó una reunión de trabajo en la que el equipo de Proyecto presentó el enfoque, alcance y desarrollo de las diferentes herramientas que componen la guía, cuya aplicación permitirá que los futuros proyectos presentados por las EDEs tengan uniformidad en su estructuración, y que el nivel de documentación presentada al Regulador demuestre coherencia entre los siguientes aspectos clave:

- La descripción del problema o necesidad.
- El estado del arte de las tecnologías.
- El desafío u oportunidad de mejora a abordar.
- Los objetivos del proyecto.
- La metodología utilizada.
- El análisis beneficio/costo.
- Las actividades a ser desarrolladas.
- Los resultados esperados.
- El presupuesto definido.

La guía está basada en la Metodología de Marco Lógico, diseñada como una herramienta para facilitar el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos; y cuyo énfasis está centrado en la orientación por objetivos, la orientación hacia grupos beneficiarios y el facilitar la participación y la comunicación entre las partes interesadas.



Para la evaluación económica, la guía utilizó la metodología de análisis beneficio costo propuesta por el EPRI (Electric Power Research Institute) e IRENA (International Renewable Energy Agency), cuyo valor no solamente reside en el resultado que proporciona sino también en la forma en que orienta la etapa de identificación, cuantificación y monetización de los beneficios y de los costos de un proyecto.

En la reunión de trabajo participación el Ing. Miguel Révolo Acevedo, Gerente de Regulación de Tarifas de OSINERGMIN, quien enfatizó en la importancia de poder disponer de este tipo de instrumentos, brindando aportes y comentarios que serán incorporados en la versión final de la guía.

Proyecto:
Distribución Eléctrica 4.0
Guía de identificación, preparación y evaluación de proyectos PITEC, MCS y SMI en los procesos de fijación tarifaria del VAD

Reunión | Microsoft Teams
teams.microsoft.com/_/pre-join-calling/19:meeting_NjFHNTz2Mw1MzOSNS00TFLWzZDYiZDU0YjA4Mw15NjB@thread.t2v2
Español LAA 9:40 a. m. 17/02/2023



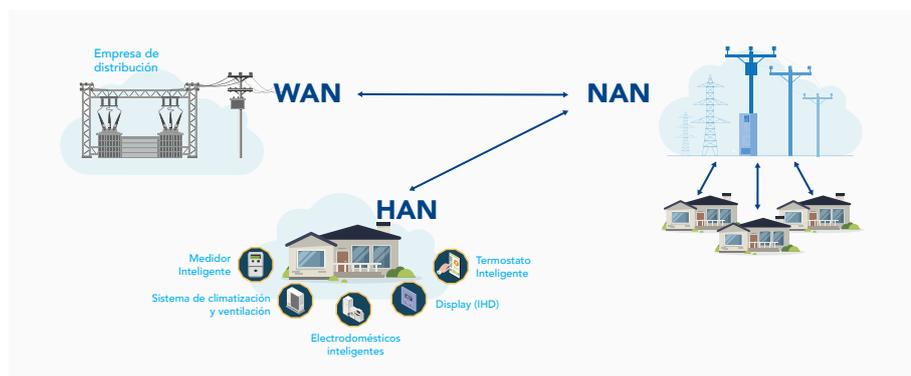
4

La infraestructura de comunicación en el desarrollo de las Smart Grid: Tecnologías de comunicación inalámbrica

Las Smart Grid utilizan tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia, fiabilidad y seguridad de la distribución de energía eléctrica. Las tecnologías de comunicación son un componente esencial de las Smart Grid, ya que permiten la comunicación entre los diferentes dispositivos de la red, incluyendo medidores inteligentes, interruptores, sensores y sistemas de control, entre otros. Las tecnologías de comunicación se pueden clasificar, según el medio de transmisión utilizado, como tecnologías cableadas o inalámbricas

Las tecnologías de comunicación inalámbricas representan una de las mejores opciones para la implementación de las redes tipo:

- HAN (Home Area Network), que interconectan los diferentes dispositivos que componen la instalación, como cargas inteligentes, controladores y sensores;
- NAN (Neighborhood Area Network), que son redes de vecindad que le permiten a un dispositivo concentrador de datos recopilar e intercambiar la información con los dispositivos pertenecientes a múltiples redes HAN; y
- WAN (Wide Area Network), que es la red encargada de soportar el intercambio de datos con los centros de control o sistemas de información empresariales.



Se destaca la capacidad de coexistencia de diversas tecnologías sin afectar la disponibilidad de la comunicación. La radio frecuencia (RF) es una tecnología de comunicación inalámbrica en donde el intercambio de datos se realiza modulando y transmitiendo ondas de radio y microondas (energía electromagnética). La transmisión por radio frecuencia es especialmente útil para comunicar datos a grandes distancias.

Entre las tecnologías de comunicación por RF utilizadas en las Smart Grid destacan:

- **Red celular (2G/3G/4G):** Conformada por una red de estaciones base que cubren un área delimitada (celda) y establecen comunicaciones en forma de ondas de radio desde y hasta los terminales de los usuarios.
- **IEEE 802.15.4 (WPAN):** IEEE 802.15.4 es un estándar que especifica la capa física y la capa de control de acceso al medio (MAC) para redes personales (PAN) inalámbricas de baja velocidad (LR-WPAN). Su objetivo es establecer comunicaciones ubicuas de baja velocidad y bajo costo entre dispositivos, con distancias de comunicación entre los 10 y 75 metros a tasas de transferencia máximas de 20kbps, 40kbps, 100kbps y 250kbps. Especifica tres bandas diferentes de operación entre las frecuencias ISM disponibles: 868–868.6 MHz (1 canal, 20 kb/s), 902–928 MHz (10 canales, 40 kb/s) y 2.40–2.48 GHz (16 canales, 250 kb/s), y más recientemente 779–787 MHz (802.15.4c) y 950-956 MHz (802.15.4d).
- **IEEE 802.15.1 (Bluetooth):** Es un protocolo inalámbrico abierto diseñado para el intercambio de datos en corta distancias y entre dispositivos fijos o móviles, creando redes de área personal. Originalmente fue concebido como una alternativa inalámbrica a las comunicaciones cableadas utilizando RS-232. El estándar Bluetooth fue diseñado para comunicaciones con bajo consumo de potencia y de corto rango (entre 10 y 100 metros) en la banda de 2.4GHz. El proyecto Bluetooth Low Energy (BLE) incluye aplicaciones de domótica y control remoto.
- **ZigBee:** Es un protocolo de comunicación (capas de aplicación y red) basado en las capas MAC y PHY definidas por el estándar IEEE 802.15.4, que provee la infraestructura de comunicaciones requerida para aplicaciones de red de sensores. Las redes ZigBee Mesh (malla) son ideales para algunas aplicaciones de medición, gracias a su redundancia inherente, así como por sus capacidades de auto recuperación y autoconfiguración y seguridad.
- **Perfil ZigBee Smart Energy:** ZigBee dispone de un perfil diseñado para dar soporte a las redes inteligentes NAN y HAN, para la telemedida de medidores, así como para la gestión eficiente de energía.
- **6LoWPAN:** IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network es un estándar que optimiza el uso de IPv6 sobre tecnologías de comunicación de ancho de banda bajo y bajo consumo de potencia, tales como el IEEE 802.15.4. 6LoWPAN adiciona las ventajas del protocolo IP como su estabilidad, escalabilidad y robustez, e inclusive puede ser complementario a ZigBee.
- **LoRa:** tecnología LPWAN (Low-Power Wide Area Networks) de largo alcance (15-20 km) desarrollada por Semtech. Proporciona comunicaciones en dos vías con tasas de transmisión entre 0.3 y 50kbps, carga útil de 256 bytes máximo y múltiples niveles de encriptación.

- **WIMAX:** La tecnología de acceso por microondas (WIMAX) hace parte del estándar IEEE 802.16 (WLAN). El principal objetivo de WIMAX es lograr la interoperabilidad para el acceso a la comunicación por microondas. Se estableció su rango de frecuencias de operación entre 10 y 66 GHz. Ofrece velocidad de datos de hasta 70Mbps y la distancia hasta 48km. Sin embargo, la distancia y velocidad de la red son inversamente proporcionales entre sí.
- **Wi-Fi IEEE 802.11 (Redes WLAN):** Utilizado en la conexión punto a punto y punto a multipunto de redes inalámbricas de área local (LAN). Define tres tecnologías (no interoperables): Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), y de infrarrojos (IR). Se caracteriza por su robustez, alta velocidad, enrutamiento, seguridad, calidad de servicio y eficiencia. Las conexiones LAN inalámbrica pueden ser consideradas para diversas aplicaciones de redes inteligentes, como redes HAN, la automatización de subestaciones de distribución, protección y control de los recursos energéticos distribuidos. Sin embargo, dado su alto consumo de potencia comparado con otras tecnologías inalámbricas, Wi-Fi no es popular en el campo de la automatización del hogar.
- **Comunicación con Luz Visible (VLC):** Utiliza la luz como medio para enviar datos a corta distancia, permitiendo comunicaciones ubicuas dentro de las instalaciones. Se caracteriza por manejar bajas potencias de transmisión y altos anchos de banda, bajo ruido, seguridad mejorada y bajo costo. El estándar 802.15.7 define las capas físicas y de enlace para este tipo de comunicaciones.

Las tecnologías de comunicación inalámbricas tienen la ventaja de ser más flexibles, móviles y económicas que las tecnologías de comunicación cableadas. Sin embargo, también presentan desventajas en cuanto a interferencia, seguridad y limitaciones de ancho de banda. En ese sentido, la selección final de la tecnología de comunicación dependerá de las necesidades específicas de la aplicación Smart Grid y de los requerimientos de la red en términos de seguridad, confiabilidad y rendimiento.

OSCAR ELECTO VERA GARGUREVICH

Ministro de Energía y Minas

JAIME EULOGIO LUYO KUONG

Viceministro de Electricidad

JOSÉ NEIL MEZA SEGURA

Director General de Eficiencia Energética

Equipo Responsable:

Claudia Espinoza

Coordinadora de Eficiencia Energética

Carlos Cervantes

Proyecto Distribución Eléctrica 4.0

Ana Moreno

Proyecto Distribución Eléctrica 4.0

Undécima Edición - Lima - Febrero de 2023

Este Boletín se realizó con el apoyo de la cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, a través del proyecto Distribución Eléctrica 4.0



PERÚ Ministerio de Energía y Minas



Implementada por **giz**
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit