



Propuesta de Lineamientos para la selección de medidores inteligentes en Perú



PERÚ

Ministerio de Energía y Minas



Implementada por
giz
Instituto Especializado
de Cooperación
Desarrollo y
Asesoría



Siempre con el pueblo



BICENTENARIO DEL PERÚ
2021 - 2024

PROPUESTA DE LINEAMIENTOS PARA LA SELECCIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES EN PERÚ

DOCUMENTO DE TRABAJO



Dirección General de Eficiencia Energética - DGEE

Proyecto

Este documento 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.

Estudio

Propuesta de Lineamientos para la selección de medidores inteligentes en Perú

Informe final

Lima - Perú, junio 2022

CONTENIDO

Introducción	7
Resumen ejecutivo	10
1. Generalidades de la medición inteligente.....	13
1.1 Infraestructura de medición avanzada	15
1.2 Tecnología y protocolos de comunicación	16
2. Lineamientos para la selección de medidores inteligentes	22
2.1 Factores por tomar en cuenta	22
2.1.1 Objetivo del despliegue del equipo	22
2.1.2 Intercambio de información	23
2.1.3 Características del cliente	23
2.1.4 Características del medidor	23
2.1.5 Funcionalidades.....	24
2.1.6 Costos	24
2.1.7 Normativa	24
2.1.8 Tecnología de comunicación	25
2.1.9 Características del lugar de despliegue	25
2.1.10 Características del proveedor.....	26
2.2 Selección por tipo de aplicación y tamaño de usuario	26
2.2.1 Selección por tipo de servicio	26
2.2.2 Definición de objetivos de implementación.....	27
2.2.3 Requisitos mínimos de los medidores.....	27
2.2.4 Evaluación adicional medidor inteligente.....	29
3. Riesgos y recomendaciones del despliegue de medidores inteligentes	31
3.1 Riesgos	31
3.1.1 Ciberseguridad	31
3.1.2 Obsolescencia tecnológica	32
3.1.3 Riesgos de integración e implementación	32
3.1.4 Comportamiento del consumidor.....	33
3.2 Recomendaciones.....	33

4. Recomendaciones para la normativa de medidores inteligentes en Perú.....	36
4.1 Revisión literatura	37
4.2 Considerar la interoperabilidad y la ciberseguridad	38
4.3 Establecer las funcionalidades mínimas que debe tener un medidor inteligente.....	38
4.4 Exigir un estudio de costo-beneficio para cualquier proyecto AMI	38
Referencias.....	36

INTRODUCCIÓN

La República del Perú, a través del Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), ha iniciado actividades diversas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector energético (así como en otros sectores). El Inventario Nacional de GEI (INGEI) del año 2016 (MINAM, 2021) resalta la participación del sector energía (incluido el sector transporte) en las emisiones de GEI totales del país, situando al sector en la segunda casilla de participación, por debajo del sector agricultura, forestal y otros usos del suelo (AFOLU por sus siglas en inglés).

La actualización de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDCs por sus siglas en inglés) presentada en diciembre de 2020 a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático [CMNUCC, (Gobierno del Perú, 2020)] resalta el compromiso del Gobierno del Perú en limitar sus emisiones de GEI a un máximo de 179 MtCO₂eq en el año 2030. Tres de las 18 medidas en el sector energía se refieren directamente a las empresas de distribución eléctrica: Recambio de alumbrado público por LED, generación distribuida (GD), y promoción de vehículos eléctricos (VEs).

Así mismo, el Gobierno de Perú presentó el estudio de costos y beneficios de la carbono neutralidad (Quirós-Tortós et al., 2021) en el cual se resalta los diversos beneficios de la transición del sector energético hacia una economía baja en emisiones que incluye la incursión de la GD en el sector energético y el despliegue de las redes eléctricas inteligentes. A lo anterior, y planeando la transición que vivirá el sector energético en los próximos años, es importante que se brinden insumos a los diferentes actores del sector energético para avanzar con nuevos lineamientos e insumos para aumentar el despliegue de la medición inteligente e incrementar la penetración de la GD en las redes eléctricas de Perú.

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) de la República del Perú cerró el año 2020 con una capacidad instalada de energía solar de cerca de 265 MW, la mayoría de la cual se ha instalado en media tensión con baja penetración a nivel de los clientes finales. Este número de GDs conectados en media tensión, también conocidos como utility-scale, se espera que aumente en los próximos años. Además, los decrecientes costos tecnológicos conllevarán a una mayor adquisición por parte de los usuarios finales; es decir, se espera un aumento del número de instalaciones en los puntos de conexión de los clientes (behind the meter). El gran reto para los planificadores de las empresas de distribución eléctrica (EDE) es que no se sabe dónde se realizarán las futuras conexiones en las redes, lo cual introduce un mayor grado de incertidumbre. A su vez, se deben definir lineamientos sobre los sistemas de medición que permitirán conocer con buena precisión la producción de estos sistemas.

Existe una clara segmentación de actividades entre generación, transmisión y distribución. La electricidad es generada por empresas públicas y privadas, es transmitida por empresas privadas y en el sector distribución existen 25 empresas (entre públicas y privadas) que se les fija el Valor Agregado de Distribución. Las 3 empresas privadas de electricidad más grandes abastecen a Lima metropolitana (ENEL y Luz del Sur) y cuenta con concesiones de distribución en territorios ubicados en los departamentos de Ica, Huancavelica y Ayacucho (Electrodunas) y en conjunto tienen una participación de mercado a nivel nacional de aproximadamente el 60%, mientras que las otras abastecen al resto de las

regiones del Perú. Cabe resaltar que son 11 empresas (Hidrandina, Electrocentro, Electro Sur Este, Electronoroeste, Electro Oriente, SEAL, Electronorte, Electro Puno, Electrosur, Electro Ucayali y ADINELSA) gestionadas por el Fondo Nacional de Funcionamiento de la Actividad Empresarial del Estado (FONAFE).

La Ley 28832 (Gobierno del Perú, 2006) establece pautas para la venta de energía al sistema eléctrico del país de aquellos actores con GD de mediana o gran escala, incluso para ventas al mercado de corto plazo administrado por el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES). Por otro lado, la GD para autoconsumo, que suele referirse a aquella que es instalada por los clientes finales, suele ser primordialmente solar fotovoltaico, y su fin primordial es satisfacer parcial o totalmente su consumo eléctrico, se define en el Decreto Legislativo N° 1221 (Gobierno del Perú, 2015). Sin embargo, ambas normas son aún inaplicables ya que falta establecer el reglamento, por ejemplo, la capacidad límite y otras condiciones técnico-comerciales deben ser aprobadas en el reglamento de GD, el cual está en revisión.

Dicho reglamento en revisión fue elaborado por el MINEM y pre-publicado en agosto del 2018 mediante la Resolución Ministerial N° 292-2018-MEM/DM (MINEM, 2018). Este reglamento recoge los alcances establecidos para la GD en la Ley 28 832 y el Decreto Legislativo 1221. El mismo define la GD de mediana escala a sistemas entre 200 kW y 10 MW que se conectan a redes eléctricas de media tensión y no distingue por tipo de tecnología. De igual forma, se define GD para autoconsumo, llamada micro GD, a sistemas de hasta 200 kW conectada a redes de media o baja tensión aplicable a energías renovables con opciones de inyección de excedentes a la red de distribución en la modalidad de net-metering, como créditos de consumo que tendrán una vigencia de recuperación de un año calendario. Por su tamaño, más allá de los requerimientos de conexión no se le exige a los usuarios coordinación ni con las EDE ni con el COES.

La cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la GIZ, por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ), y tiene planeada una intervención en el sector energía del Perú, en la cual propone mejorar las condiciones regulatorias, institucionales y técnicas para la integración de Energías Renovables (ER) y el incremento de la Eficiencia Energética (EE) en sistemas de distribución, adaptar las directrices de inversión para las EDE, pilotear tecnologías innovadoras, implementar nuevos modelos de negocio y difundir el conocimiento generado a los diferentes actores.

El módulo de Cooperación Técnica (CT) propuesto, forma parte del programa de cooperación “Desarrollo Urbano Sostenible en Tiempos de Cambio Climático en Perú” que promueve el suministro de bienes y servicios (agua, movilidad eléctrica, energía y alcantarillado/ eliminación de desechos) a la creciente población urbana del Perú de forma respetuosa con el medio ambiente y el clima y sostenible en el contexto del cambio climático. El módulo Distribución Eléctrica 4.0 contribuirá a mejorar los requisitos regulatorios, institucionales y técnicos para que las EDE que integren ER y actividades de EE. Así mismo, el proyecto apoya a las organizaciones seleccionadas del sector público con respecto a la integración de las medidas ER y EE en su planificación de inversiones a mediano plazo. El proyecto busca promover la modernización del sector eléctrico, el uso eficiente de los recursos energéticos y reducir el consumo de combustibles fósiles en el país, apoyando a las iniciativas de innovación tecnológica y eficiencia energética, y la implementación de las NDCs.

El presente informe representa una serie de lineamientos para la selección de medidores inteligentes en Perú. El mismo resulta del estudio titulado “**Lineamientos para selección de medidores inteligentes y propuesta para instalación y operación de la generación distribuida en Perú**” que se basa en estudios de caso de cinco países con avances importantes en la materia

Resumen ejecutivo

La República del Perú ha iniciado diversas actividades para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector energético (así como en otros sectores). La cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la GIZ, por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ), tiene planeada una intervención en el sector energía de Perú, en la cual propone mejorar las condiciones regulatorias, institucionales y técnicas para la integración de Energías Renovables (ER) y el incremento de la Eficiencia Energética (EE) en sistemas de distribución, adaptar las directrices de inversión para las Empresas de Distribución Eléctrica (EDE), pilotear tecnologías innovadoras, implementar nuevos modelos de negocio y difundir el conocimiento generado a los diferentes actores.

Este documento presenta una lista de lineamientos para la selección de medidores inteligentes en Perú. El mismo surge del proyecto titulado “Lineamientos para selección de medidores inteligentes y propuesta para instalación y operación de la generación distribuida en Perú”. En detalle, este informe presenta:

Generalidades de la medición inteligente

- Los medidores o contadores de consumo de energía han venido evolucionando con el paso de los años, siendo inicialmente medidores electromecánicos, dando espacio con el avance de la tecnología hasta llegar a los medidores digitales inteligentes. El continuo avance de las infraestructuras de comunicación y la introducción de comunicaciones bidireccionales dio paso a la Infraestructura Avanzada de Medición (AMI, por sus siglas en inglés).
- Una arquitectura AMI no se compone únicamente de medidores inteligentes, sino también de redes de comunicación y sistemas de adquisición y manejo de datos, que permiten almacenar grandes cantidades de información provenientes de estos medidores. La arquitectura AMI es el elemento principal de una red inteligente. Permite la integración de equipos de medición, comunicación y almacenamiento de datos.
- Los colectores o unidades de recolección de datos son los que se encargan de realizar una comunicación entre las redes de área local o los medidores, y las redes de área amplia. Una red de AMI tiene múltiples ventajas y aplicaciones. Este tipo de

arquitecturas permiten lograr las actividades de medición de consumo de las EDE de forma más eficiente, gracias a una comunicación en tiempo real con los medidores inteligentes, que trae otras posibilidades incluso para el manejo inteligente de demanda y la GD, así como para el establecimiento de tarifas de consumo prepago.

- Las tecnologías de comunicación de un medidor inteligente pueden ser tanto inalámbricas como una red alamburada. La primera es la más utilizada. Existen distintos protocolos de comunicación para cada tecnología de comunicación. Entre las tecnologías de comunicación inalámbrica son las que no requieren de un medio guiado para su propagación. Entre las tecnologías se encuentran ZigBee, Wifi, Wisun (6LoWPAN), celular (3G, 4G, GSM, GPRS), entre otras.
- Con la implementación de medidores inteligentes y arquitecturas AMI, aparecen dos conceptos importantes: la interoperabilidad y la compatibilidad. La interoperabilidad es la capacidad de dos o más redes, sistemas o dispositivos, entre otros, de intercambiar información de manera segura y efectiva. La compatibilidad por su parte establece que para que exista esa comunicación efectiva entre dispositivos puede necesitarse un tercer elemento que adapte los protocolos y permita un correcto envío de información.
- La Comisión Europea, en sus requisitos para los medidores inteligentes de 2011, describe 13 funcionalidades recomendadas que debe tener un medidor inteligente, desde cinco puntos de vista: el consumidor, la red de distribución, aspectos comerciales (tarifas), seguridad y privacidad, y GD.
- Existe una gran cantidad de normativa asociada a la fabricación, operación y comunicación en las redes inteligentes y particularmente de los medidores inteligentes, tanto de organizaciones como la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés como del Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI por sus siglas en inglés).

Medición inteligente: lineamientos y recomendaciones

- Se han creado una serie de lineamientos para la selección de medidores inteligentes. Se basa en las experiencias de otros países y considera criterios de tipo de aplicación, seguridad, interoperabilidad, funcionalidades, ciclos de vida de los medidores, entre otros. Los lineamientos toman en cuenta factores técnicos, económicos, y operativos. Con estos se podría tomar la información para un fabricante específico y una zona de despliegue AMI deseada, y realizar un análisis paso a paso para la escogencia del medidor.
- Se exponen diferentes riesgos reportados por los países líderes en el despliegue de la tecnología. La ciberseguridad es una de las más importantes. Se enfoca en la protección requerida para garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los equipos de comunicaciones. Según un estudio reciente del Banco Mundial, los riesgos principales de ciberseguridad están relacionados con la privacidad de la información (robo de información), integridad de los equipos del cliente (riesgo de ataques a dispositivos del consumidor), la calidad del servicio (relacionado con ataques que afecten la disponibilidad), la seguridad de las personas (riesgo de manipulación de elementos que expongan a clientes o trabajadores ante riesgos eléctricos),

pérdida de utilidades y reputación de la empresa. La obsolescencia tecnológica (asociada en gran medida a la vida útil de los medidores, 15-20 años), los riesgos de integración e implementación (propios de la puesta en marcha), y el comportamiento de los usuarios son otros riesgos a considerar (oposición al cambio por temor a ser monitoreado, estafado, que se altere sus equipos, entre otros) complementan la lista de riesgos identificados para el despliegue tecnológico.

- Se presentan una lista de recomendaciones que incluyen: i) la revisión de las normas IEC; ii) consideración de la interoperabilidad y ciberseguridad; iii) establecimiento de funcionalidades mínimas para los medidores, y iv) exigencia de un estudio costo-beneficio para los proyectos AMI. Se describe con detalle cada recomendación.

1

GENERALIDADES DE LA MEDICIÓN INTELIGENTE

Esta sección presenta generalidades de la medición inteligente. Se introducen conceptos y definiciones que son utilizadas en las siguientes secciones.

Los medidores, o contadores de energía, se han usado históricamente en las EDE para la comercialización de energía. Tradicionalmente, a cada usuario de energía se le asigna un medidor eléctrico para registrar su consumo y poder de esta forma establecer un precio por el consumo. El uso de los medidores era exclusivo para este fin hasta la aparición de las redes inteligentes (SG, por sus siglas en inglés)¹.

Los medidores eléctricos han venido evolucionando con el paso de los años, siendo inicialmente medidores electromecánicos, dando espacio con el avance de la tecnología hasta llegar a los medidores digitales inteligentes. Un medidor electromecánico tradicional es un dispositivo que simplemente mide la cantidad de energía consumida en un punto específico y su uso era predominante antes de 1970 (Weranga et al., 2014).

Para la implementación de medidores electromecánicos (que se mantiene parcialmente hasta hoy en la mayoría de los países del mundo), las EDE deben tener personal que se dedique a la lectura in situ del consumo de estos medidores (ya que no cuentan con módulos de comunicación), además de que estos medidores no tienen otro objetivo más que para el que históricamente fueron concebidos.

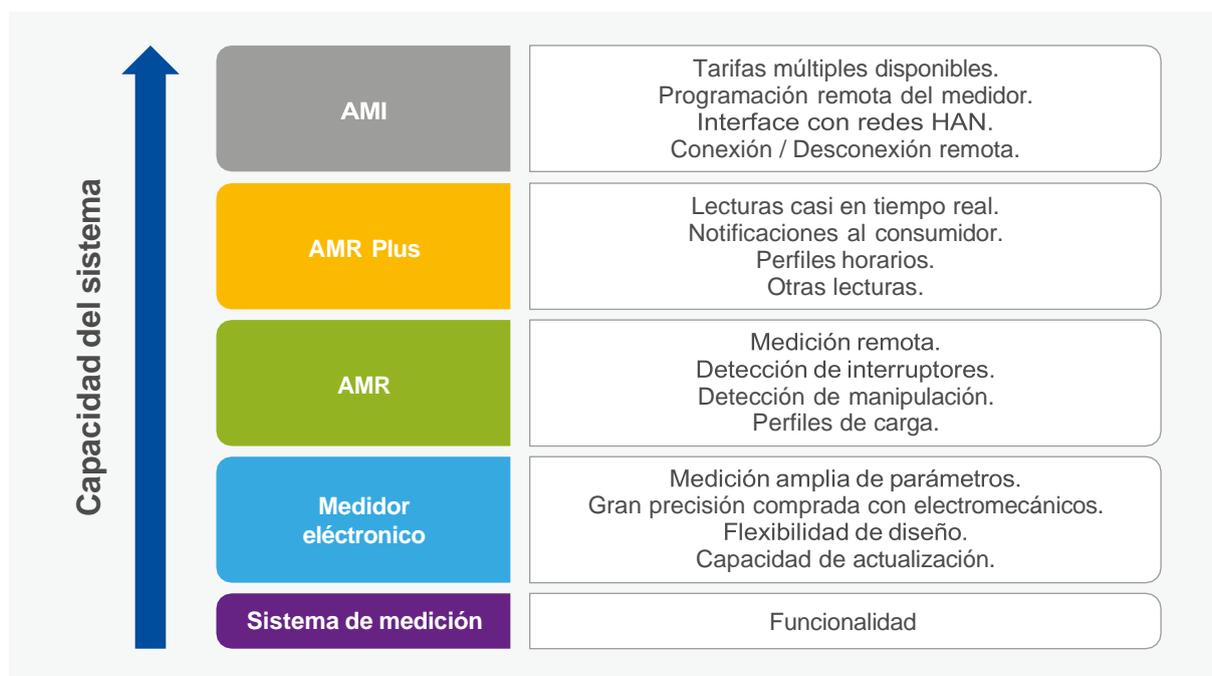
Posteriormente, surgieron los primeros medidores inteligentes, conocidos ahora como medidores avanzados o de primera generación y que ya incluyen componentes de comunicación. La medición inteligente hizo posible una comunicación unidireccional, con la que se implementó la Lectura Automática de Medidores (AMR por sus siglas en inglés). Este proceso permite que los medidores envíen la información registrada y sin la

1. Una red inteligente es aquella que integra de manera inteligente las acciones de los usuarios que se encuentran conectados a ella – generadores, consumidores y aquellos que son ambas cosas a la vez, con el fin de conseguir un suministro eléctrico eficiente, seguro y sostenible.

necesidad de un proceso manual con despliegue de personal. El AMR ha sido aplicado en el sector eléctrico, gas y agua. Su aplicación continúa aumentando en países con alta penetración de medidores inteligentes como Italia o los países nórdicos en Europa.

Con el continuo avance de las infraestructuras de comunicación y la introducción de comunicaciones bidireccionales (en las que el medidor también puede recibir información para la ejecución de acciones), la tecnología ha evolucionado hacia una Infraestructura Avanzada de Medición (AMI, por sus siglas en inglés). Una arquitectura AMI no se compone únicamente de medidores inteligentes, sino también de redes de comunicación y sistemas de adquisición y manejo de datos, que permiten almacenar grandes cantidades de información provenientes de estos medidores. Los medidores inteligentes han dejado de ser elementos dedicados únicamente al registro automático del consumo energético, sino que pueden utilizarse como medios de fiscalización de la calidad de energía, conexiones y desconexiones remotas, detección de interrupciones, detección de manipulación de medidores, entre otros. Algunas características de este avance histórico en la medición eléctrica pueden observarse en la Figura 1.

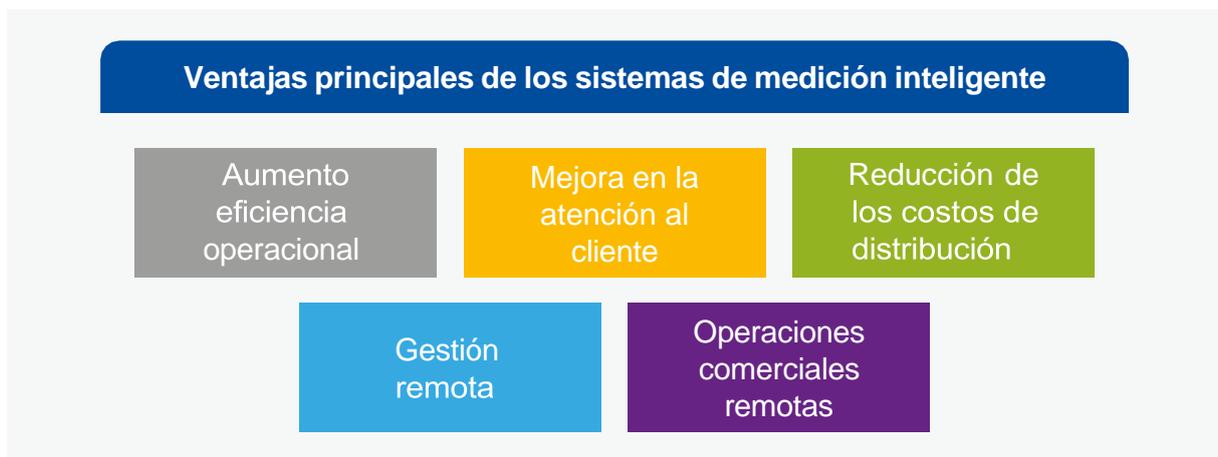
Figura 1: Evolución de la medición inteligente (EEI-AEIC-UTC, 2011)



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la implementación de una arquitectura AMI, si bien estos medidores pasan a ser un dispositivo más del sistema, siguen siendo el elemento más importante para tomar en cuenta, pues representa la mayor contribución al costo de cualquier iniciativa AMI. Por esto, para la compra de medidores inteligentes, se vuelve crucial tener un criterio de selección técnico y económico que permita optimizar su escogencia.

El despliegue de medidores inteligentes para cualquier EDE involucra una planeación compleja que implica el estudio de características técnicas, tecnologías de comunicación, funcionalidades, costos, normativa, características de la zona del despliegue, entre otros. No obstante, los beneficios que pueden obtenerse de su utilización son bastante variados y generosos. La Figura 2 presenta algunas de estas ventajas.

Figura 2: Ventajas del uso de medición inteligente

Fuente: Elaboración propia.

1.1 Infraestructura de medición avanzada

La arquitectura AMI es el elemento principal de una red inteligente. Permite la integración de equipos de medición, comunicación y almacenamiento de datos. Una característica fundamental de una arquitectura AMI es que sea bidireccional; es decir, que pueda enviar y recibir información. Además, deben de ser adaptables a diferentes entornos y tecnologías. Una arquitectura AMI se compone de varios elementos principales:

- Medidores inteligentes.
- Colectores o concentradores.
- Redes de área amplia (WAN, del inglés "Wide Area Network").
- Redes de área de campo o vecindario (FAN ó NAN, del inglés "Field Area Network" o "Neighbour Area Network").
- Redes de área local o doméstica (LAN ó HAN, del inglés "Local Area Network" o "Home Area Network").
- Sistemas de cabecera (HES, del inglés "Head End System").
- Sistemas de manejo de datos del medidor (MDMS, del inglés "Meter Data Management System").

Un medidor inteligente es el componente más importante de una arquitectura AMI. Es el elemento que registra la información y la envía a través de un protocolo de comunicación a un colector o concentrador, o algún sistema de información (si la comunicación es directa). Las características de este medidor dependerán de su complejidad, pero una característica fundamental es su capacidad de comunicación bidireccional.

Puede tener otras funcionalidades como por ejemplo la capacidad de medir variables de calidad de la energía, capacidad de gestionar el corte y conexión del suministro, detección de eventos como interrupciones (alarmas por eventos en la red), manipulación del medidor (alarmas por fraude), funcionalidades de ciberseguridad, así como la posibilidad de registrar en intervalos distintos a los 15 minutos tradicionales.

Los colectores o unidades de recolección de datos son los que se encargan de realizar una comunicación entre las redes de área local o los medidores, y las redes de área

amplia. Por su parte, las redes de área local LAN son las redes domésticas existentes generalmente para uso del cliente. Proporciona las comunicaciones para la interacción que pueda tener el medidor inteligente con el consumidor con dispositivos del hogar. Ejemplos de estos dispositivos son refrigeradoras inteligentes, termostatos, entre otros. Los medidores inteligentes utilizan generalmente una tecnología de comunicación llamada Zigbee (World Bank, 2018). En la literatura también se les puede encontrar como redes HAN (Home Area Network) o BAN (Building Area Network).

Una red de vecindario NAN o una red de campo FAN es toda la infraestructura de comunicación que une a los medidores inteligentes con los colectores o concentradores. La tecnología de comunicación en esta red es generalmente por línea de potencia (o PLC por su nombre en inglés), radiofrecuencia o celular. A las redes FAN o NAN también es común encontrarlas como redes LAN en la literatura. Además, las redes de área amplia o WAN son las que comunican los colectores o concentradores con los sistemas de cabecera HES. Esta comunicación se hace generalmente a través de redes celulares 3G y 4G, aunque también puede hacerse por radiofrecuencia. La Tabla 1 resume algunos tipos de tecnología encontrados en las interfases de comunicación de redes AMI.

Tabla 1: Red y tecnologías de comunicación

TIPO DE RED	TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN
HAN/LAN	Ethernet, Wi-fi, PLC, BPL, ZigBee
FAN/NAN	PLC, BPL, Celular, RF
WAN	PLC, Celular, RF

Los sistemas de cabecera HES toman la información recibida de los medidores y se encargan de tomar decisiones a partir de la información recibida. Transmiten información a través del sistema de manejo de datos de los medidores MDMS. Los sistemas de manejo de datos del medidor MDMS se encargan más de funciones de mantenimiento y almacenamiento de la información. Generalmente sirven como plataforma para la integración de otros sistemas, como el manejo de interrupciones (OMS), manejo de recursos (ERP), sistemas de información geográfica (GIS), entre otros.

Una red de AMI tiene múltiples ventajas y aplicaciones. Este tipo de arquitecturas permiten lograr las actividades de medición de consumo de las EDE de forma más eficiente, gracias a una comunicación en tiempo real con los medidores inteligentes, que trae otras posibilidades incluso para el manejo inteligente de demanda y la GD, así como para el establecimiento de tarifas de consumo prepago (similar al prepago establecido para líneas celulares), que se encuentra en crecimiento a nivel mundial.

1.2 Tecnología y protocolos de comunicación

Las tecnologías de comunicación de un medidor inteligente pueden ser tanto inalámbricas como una red alamburada. Para cada una de estas tecnologías existen distintos protocolos de comunicación, con los que se realiza el envío de información.

Entre las tecnologías de comunicación inalámbrica son las que no requieren de un medio guiado para su propagación. Entre las tecnologías se encuentran ZigBee, Wifi, Wisun (6LoWPAN), celular (3G, 4G, GSM, GPRS), entre otras.

Por otra parte, las redes alambradas son las que utilizan un medio guiado para su comunicación, como por ejemplo PLC, Ethernet, fibra óptica, entre otros.

A continuación, se describen las tecnologías y protocolos de comunicación más utilizados en las redes inteligentes:

- **Celular (EDGE, GPRS, 3G, 4G, LTE):** tecnología de comunicación más común y sencilla de implementar, pues la infraestructura ya se encuentra desplegada en la mayoría de los lugares. Permite la comunicación aun cuando el usuario se encuentra en movimiento (Ekanayake et al., 2012).
- **PLC:** La tecnología de Comunicación por Línea de Potencia se desarrolló para poder realizar las comunicaciones por el mismo medio de transmisión de la energía eléctrica, es decir, el propio conductor de potencia. (Ekanayake et al., 2012). Su uso principal se da para la comunicación entre medidores y colectores de información, aunque también puede comunicarse de forma directa con sistemas de gestión de datos. Las frecuencias de transferencia de datos en una tecnología PLC pueden estar categorizadas en distintas bandas.
- **PLC Banda-A:** Tecnología de comunicación PLC llevada a cabo en un rango de frecuencias de 3 kHz – 95 kHz.
- **PLC Banda-C:** Tecnología de comunicación PLC llevada a cabo en un rango de frecuencias de 125 kHz – 140 kHz.
- **BPL: PLC de banda ancha:** Tecnología de comunicación PLC que opera a frecuencias entre 2 MHz – 250 MHz.
- **Fibra óptica:** esta tecnología de comunicación lleva a cabo la transmisión de datos utilizando ondas de luz moduladas, transmitidos por la fibra óptica como medio. Se puede utilizar dentro de subestaciones como en grandes distancias de transmisión de datos (Ekanayake et al., 2012).
- **TCP/IP:** del inglés "Transmission Control Protocol/Internet Protocol", conocido también como IP, es el protocolo más utilizado actualmente. Existen dos versiones que son IPv4 (versión 4) e IPv6 (versión 6), siendo la primera la más utilizada pero poco a poco sustituida por la segunda. IPv4 consta de esquemas de dirección de 32 bits, mientras que IPv6, de 128 bits (Ekanayake et al., 2012).
- **Radio Frecuencia (RF):** tecnología de radio comunicación utilizada generalmente para distancias grandes. Puede ser punto a multipunto (muchos elementos envían información a un equipo), punto a punto (comunicación entre se va haciendo dispositivo a dispositivo), anillada o tipo malla (meshed, elementos se envían información entre sí), entre otros (Ekanayake et al., 2012).
- **RS-232 / RS-485:** Comunicación por bus de datos (Modbus). Es un protocolo usado comúnmente en subestaciones.

- **ZigBee:** protocolo de comunicación basado en el estándar IEEE 802.15.4. Opera a 868-915 MHz ó 2.4 GHz. Utilizado principalmente para redes domésticas, donde los medidores se comunican con dispositivos inteligentes del hogar.
- **Wi-Sun:** Tecnología inalámbrica de comunicación sustentada en el estándar IEEE 802.15.4g. Es un protocolo de comunicación abierto.
- **6LoWPAN:** estándar que permite el uso del protocolo IPv6 sobre tecnologías de bajo consumo de potencia ancho de banda. Con esto se logra el uso de IPv6 en tecnologías del estándar IEEE 802.15.4. como Zigbee, Wi-Sun, entre otros (Ekanayake et al., 2012).

2.2.1 Interoperabilidad y compatibilidad

Con la implementación de medidores inteligentes y arquitecturas AMI, aparecen dos conceptos que son muy importantes para estudio: la interoperabilidad y la compatibilidad.

La interoperabilidad es la capacidad de dos o más redes, sistemas o dispositivos, entre otros, de intercambiar información de manera segura y efectiva (IEEE, 2011). Un sistema interoperable puede contener dispositivos de distintos fabricantes que se comunican entre sí de forma correcta, sin requerir adaptadores u otros dispositivos que medien la transmisión de información.

La compatibilidad por su parte establece que para que exista esa comunicación efectiva entre dispositivos puede necesitarse un tercer elemento que adapte los protocolos y permita un correcto envío de información. Según (UCh, 2018), la interoperabilidad trae implícitamente la necesidad de utilización de un estándar abierto, al cual todas las tecnologías y dispositivos de ese sistema interoperable estén sujetos.

Si bien un estándar abierto no garantiza que los dispositivos que cumplan podrán comunicarse de manera efectiva entre sí, es una condición necesaria para lograr interoperabilidad entre dispositivos. Un ejemplo de estándar abierto para la comunicación de dispositivos es el Wi-Fi, establecido por la IEEE 802.11, en la que se definen distintos protocolos, anchos de banda, frecuencias de operación, la velocidad máxima de transferencia de datos, entre otros (UCh, 2018). Esta misma interoperabilidad que se tiene con este protocolo, se desea lograr para los elementos de una red inteligente.

La interoperabilidad es cada vez más el criterio clave a considerar en el diseño y planificación del despliegue de infraestructura. Si el sistema de distribución llega a operar con un alto grado de interoperabilidad, quiere decir que se logró un alto grado de integración de los distintos componentes en la red, lo que permite tener un sistema robusto con altas capacidades para ejecutar acciones y una gran cantidad de información para la toma de decisiones.

2.2.2 Funcionalidades generales de un medidor inteligente

La Comisión Europea, en sus requisitos para los medidores inteligentes establecidos en 2011, describe 13 funcionalidades recomendadas que debe tener

un medidor inteligente estructuradas desde cinco puntos de vista: el consumidor, la red de distribución, aspectos comerciales (tarifas), seguridad y privacidad, y GD (Comisión Europea, 2011). Estas sirven como una guía para el despliegue de medidores inteligentes en Europa. A continuación, se enlistan para cada punto de vista las funcionalidades recomendadas.

Para el consumidor:

- Permitir la lectura desde el medidor.
- Actualizar las lecturas lo suficientemente rápido para obtener información que permita lograr un ahorro de energía.
- Brindar la información de forma accesible y entendible para usuarios sin conocimiento de energía.

Para la red:

- Permitir una lectura remota por los operadores de red o terceros autorizados.
- Permitir una bidireccionalidad de la información.
- Brindar datos para la evaluación de la calidad de energía.
- Actualizar las lecturas lo suficientemente rápido para obtener información que permita lograr un planeamiento de la red.

Para aspectos comerciales:

- Permitir sistema de tarifas avanzadas.
- Permitir el sistema prepago o a crédito.
- Permitir la conexión/desconexión remota del medidor o una potencia de consumo limitada, por parte del operador.

Para la seguridad y privacidad:

- Brindar una comunicación de datos segura.
- Contribuir con la prevención y la detección de fraudes.

Para la GD:

- Permitir la medición de potencia reactiva, tanto inyectada como consumida.

Otras funcionalidades encontradas en medidores inteligentes son la sincronización automática de su reloj (cuando se encuentran desviaciones de tiempo por fuera de un máximo establecido por el operador), capacidad de alarmas ante la detección de interrupciones (conocidas como “último suspiro” del medidor), entre otras.

La misma Comisión Europea, en su recomendación 2012/148/EU (Comisión Europea, 2012), redujo a 10 funcionalidades mínimas para todo sistema de medición inteligente de electricidad, estructurados desde los mismos puntos de vista del análisis (Figura 3). Dichas funcionalidades aún son tomadas como referencia en Europa.

Figura 3: Funcionalidades mínimas medidor inteligente (Comisión Europea, 2012)

Consumidor	<ul style="list-style-type: none"> • Mediciones directas al consumidor o tercero. • Actualización de mediciones frecuentes.
Operador del medidor	<ul style="list-style-type: none"> • Mediciones remota por el operador. • Bidireccionalidad para mantenimiento y control. • Permitir lecturas lo suficientemente frecuentes para planeamiento de la red.
Aspectos económicos de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte de tarifas avanzadas. • Conexión o desconexión remota y limitación de flujo de potencia.
Seguridad y protección de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Proveer comunicación de datos segura. • Prevención y detección de fraude.
Generador distribuida	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir importación/exportación de reactivo.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Normativa técnica relacionada

Existe una gran cantidad de normativa asociada a la fabricación, operación y comunicación en las redes inteligentes y particularmente de los medidores inteligentes, tanto de organizaciones como la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés) como del Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI por sus siglas en inglés). En esta sección se menciona la normativa más importante desde el punto de vista de fabricación, protocolos de comunicación, interoperabilidad y seguridad de los medidores inteligentes:

- **ANSI C12.1 Electric Meters Code for Electricity Metering:** Establece criterios de desempeño aceptables para medidores de energía y demanda en corriente alterna y otros dispositivos auxiliares.
- **ANSI C12.10 Physical Aspects of Watthour Meters – Safety Standard:** describe los aspectos físicos de los medidores tanto desmontables (tipo socket) como los de conexión inferior.
- **ANSI C12.19 American National Standard for Utility Industry End Device Data Tables:** describe una estructura de datos para intercambio de información de los medidores con otros elementos de la red.
- **ANSI C12.20 Electricity Meters – 0.1, 0.2 and 0.5 Accuracy Classes:** Especifica la clase de la precisión de los medidores.
- **ANSI C12.22 Protocol Specification For Interfacing to Data Communication Networks:** estándar ANSI de interoperabilidad. Define especificaciones para el envío y recibo de datos para medidores inteligentes, utilizando protocolos de comunicación abiertos.

- **IEC 62056 Electricity metering data exchange – The DLMS/COSEM suite:** estándar IEC de interoperabilidad. Describe una comunicación abierta para medidores inteligentes y detalla el protocolo DLMS/COSEM (del inglés "Device Language Message Specification/Companion Specification for Energy Metering).
- **IEC 61850 Communication networks and systems for power utility automation:** estándar IEC de interoperabilidad. Es un estándar abierto para comunicaciones por Ethernet, aplicado principalmente para asegurar la interoperabilidad en equipo de subestaciones, pero aplicado para redes de campo. Define protocolos de comunicación, además de estructura de datos.
- **IEC 61968 Application integration at electric utilities – System interfaces for distribution management:** serie de estándares que definen características para intercambios de información entre sistemas de distribución.
- **IEC 62351 Power systems management and associated information exchange – data and communications security:** especifica medidas de seguridad para redes y sistemas de comunicación. Por ejemplo, detalla procesos de autenticación, detección de manipulación de las comunicaciones, entre otros. Desarrolla la seguridad de otros protocolos, entre ellos los de las normas IEC 61850, IEC 61968 e IEC 61970.

2

LINEAMIENTOS PARA LA SELECCIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES

Esta sección describe con base en el benchmarking realizado los lineamientos para la selección de medidores inteligentes. La misma considera criterios de tipo de aplicación, seguridad, interoperabilidad, funcionalidades, ciclos de vida de los medidores, entre otros. Los tipos de aplicación que se plantean para estos lineamientos son monofásico y trifásico. Inicialmente se realiza un análisis funcional de la tecnología, sus interfaces de comunicación, además de estudiar algunas consideraciones adicionales.

Los lineamientos toman en cuenta factores técnicos, económicos, y operativos. Con estos se podría tomar la información para un fabricante específico y una zona de despliegue AMI deseada, y realizar un análisis paso a paso para la escogencia del medidor.

2.1 Factores por tomar en cuenta

Los criterios por tomar en cuenta para esta selección dependen de distintas características que se enuncian a continuación.

2.1.1 Objetivo del despliegue del equipo

Los objetivos de la implementación de cada empresa distribuidora pueden ser muy diferentes y dependen de la realidad de cada una de estas. Esta realidad debe ser considerada para la selección de un medidor inteligente.

Con estos objetivos definidos, se puede elegir cuáles son las funcionalidades requeridas para el medidor y se pueden establecer casos de uso de los medidores, además de métricas que se deseen establecer para el despliegue o para medir el costo y los beneficios de los medidores.

Algunos posibles objetivos de despliegue de medidores, pero no limitado a estos, son:

- Reducción de pérdidas no técnicas
- Lectura remota
- Control y gestión de la demanda
- Generación distribuida
- Autogeneración (PV Solar)
- Mejora en calidad del servicio
- Tarifas horarias
- Eficiencia energética

2.1.2 Intercambio de información

La información mínima que se requiera según sea la aplicación debe evaluarse para determinar los parámetros que deben ser registrados por el medidor. Mucha de esta información es un requisito mínimo según sea la aplicación. En secciones posteriores se establecen los requisitos mínimos para medidores monofásicos y polifásicos.

2.1.3 Características del cliente

El criterio de tipo de servicio es fundamental, pues todos los fabricantes dividen sus productos generalmente en estas dos categorías. Es importante mencionar que, si se utilizan medidores centralizados en un gabinete de poste, es un servicio de tipo monofásico.

Tipo de servicio

- **Monofásico:** Medidor debe ser monofásico de 2 hilos, aunque existen medidores trifásicos que soportan mediciones monofásicas.
- **Trifásico:** Medidor debe ser trifásico de 3 ó 4 hilos.

Tipo de aplicación

- Residencial.
- Comercial.
- Industrial.

Valor de demanda máxima

- El valor de demanda máxima estimada definirá el valor de corriente nominal del medidor, dependiendo de la tensión de operación. Esto también definirá si se utiliza un medidor directo o indirecto. A altos valores de corriente se requerirá medición indirecta.

2.1.4 Características del medidor

Los medidores cuentan con características técnicas que deben ser consideradas para su funcionamiento óptimo. Entre ellas:

- Rangos de operación de tensión.
- Rango de frecuencia.
- **Rango de corriente:** dependiente de la carga. Afecta el precio.

- **Consumo interno:** importante por temas de eficiencia y pérdidas.
- **Vida útil:** tomarla en cuenta es importante para ciclo de vida de su implementación.
- **Precisión:** definida por la normativa.
- **Medición directa o indirecta:** depende de la carga.

2.1.5 Funcionalidades

Según el tipo de aplicación, existen funcionalidades mínimas y otras adicionales.

- **Desconexión y conexión remota:** El medidor cuenta con un interruptor interno que le permite al sistema realizar una desconexión o reconexión remota del servicio.
- **Lectura remota:** El medidor es capaz de enviar los datos solicitados por el sistema cuando es interrogado de forma remota.
- **Ajuste tiempo de muestreo:** El medidor cuenta con intervalos de muestreo ajustables.
- **Bidireccionalidad de comunicación:** El medidor recibe información del sistema y es capaz de enviar una notificación al sistema.
- **Bidireccionalidad de medición de energía:** El medidor tiene la capacidad de medir la energía activa y/o reactiva consumida y entregada por el cliente, permitiendo el cálculo de energía agregada y energía neta.
- **Alarmas por manipulación del medidor:** el medidor cuenta con algún dispositivo como un acelerómetro
- **Alarma por ausencia de tensión:** el medidor tiene la funcionalidad de “último suspiro” para enviar la alarma de ausencia de energía.
- **Sincronización del reloj:** El reloj del medidor se puede sincronizar periódicamente, para evitar desfases de tiempo con las mediciones tomadas.
- **Información en tiempo real al cliente:** El medidor es capaz de comunicarse a través de una red doméstica con un software o aplicación que el cliente pueda monitorear en tiempo real.
- **Calidad de energía:** El medidor es capaz de medir algunas variables que sirven para la evaluación de la calidad del suministro, como lo son armónicas individuales, THD y desbalance.
- **Detección de eventos:** registro de picos y huecos de tensión.

2.1.6 Costos

- Precio del medidor.
- **Costo de instalación (CAPEX):** Costos por realizar la instalación del equipo o condiciones del medidor que ameriten costos adicionales en la instalación.
- **Costo de operación (OPEX):** Se debe conocer si el equipo requiere algún mantenimiento periódico y si es así, cada cuánto requiere de ese mantenimiento. También es importante conocer si las actualizaciones de firmware pueden hacerse remotamente o si deben hacerse en sitio.

2.1.7 Normativa

- **Requisitos generales:** Normativa generalmente de fabricación.
- **Requisitos de precisión:** Normativa metrológica nacional y/o internacional que evalúa la precisión de la medición de energía activa. Para el caso de IEC la normativa mínima relacionada es IEC 62053-21.

- **Requisitos de comunicación:** Dependiendo de tecnología (Zigbee, Wisun, entre otros).
- **Interoperabilidad:** Normativa que define un protocolo de comunicación abierto. Para el caso de IEC generalmente se habla de las normativas IEC 61968-9 y 61970 (Modelo de Información común CIM), IEC 61850, ó IEC 62056 (DLMS/COSEM).
- **Seguridad:** Normativa que determina ciertas características que dan seguridad a las comunicaciones del medidor. En IEC generalmente los medidores cumplen con IEC 62351.
- **Requisitos de certificación del país:** Revisar si el país requiere alguna homologación a través de la verificación de cumplimiento con alguna norma nacional.

2.1.8 Tecnología de comunicación

La tecnología de comunicación a escoger depende de distintos factores. La Tabla 2 muestra algunas características de tecnologías. La tecnología de comunicación incluye:

Tabla 2: Características por tipo de tecnología de comunicación (Donato, 2020)

TECNOLOGÍA	FRECUENCIA	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	RANGO DE COBERTURA	LIMITACIONES
GPRS	900 - 1800 MHz	≤170 kbps	1-10 km	Velocidad baja
3G	1900 - 2170 MHz	384 - 2000 kbps	1-10 km	Costo
PLC	1-30 MHz	2 - Mbps	1 - 3 km	Susceptible a ruido
Zigbee	2.4 GHz	250 kbps	30 - 50 km	Velocidad baja y corto alcance

- Tipo de tecnología: Radiofrecuencia, PLC, Zigbee, Celular, Fibra óptica.
- Cobertura requerida.
- Ancho de banda – Latencia de comunicaciones.

2.1.9 Características del lugar de despliegue

- Factores externos dependientes de la zona de instalación, que juegan un papel importante en la selección del medidor y la tecnología.
- Tecnología de comunicaciones disponible: En el lugar de instalación se tiene alguna tecnología que puede aprovecharse, y delimita la selección.
- Relieve: El relieve puede definir el tipo de estructura de red escogida, así como la tecnología.
- Distancia entre los medidores: Puede definir el tipo de tecnología a usar.
- Infraestructura de la red eléctrica: estudio de postes, transformadores y otros elementos que determinen la infraestructura empleada.
- Zona de altas/bajas pérdidas no técnicas.

2.1.10 Características del proveedor

- **Soporte ofrecido:** conocimiento de la tecnología.
- Experiencia en la instalación AMI.
- Oferta de solución AMI completa (medidores, concentradores, sistema HES, MDM, entre otros).
- Compatibilidad con tecnología de terceros en el mercado.
- Software del medidor: indicar el sistema operativo, inclusión de licencia propietaria,
- Accesorios del medidor: Cables de comunicación, manuales de usuario.

2.2 Selección por tipo de aplicación y tamaño de usuario

Para la selección de medidores se recomienda seguir el procedimiento conforme al diagrama mostrado en la Figura 4. Inicialmente, se define el tipo de servicio (monofásico/polifásico) y tipo de aplicación (residencial, comercial/industrial). Posteriormente, se definen los objetivos de implementación por los que se desea reemplazar los medidores inteligentes. Con estos objetivos definidos, se chequean los requisitos mínimos y finalmente, se evalúa cada medidor de acuerdo a parámetros adicionales mediante una asignación de peso a cada parámetro.

Figura 4: Diagrama de flujo del proceso de selección de medidores



Fuente: COFIDE, 2020.

2.2.1 Selección por tipo de servicio

El tipo de servicio es lo primero que se debe tener claro en la selección de un medidor, pues la mayoría de los fabricantes ofrece sus productos de acuerdo con esta característica. Debe destacarse que las conexiones bifásicas y trifásicas caen dentro de la categorización de medidores polifásicos. En el caso de medidores monofásicos podría tenerse la utilización de medidores modulares concentrados, para zonas en donde se tengan altas pérdidas no técnicas de energía. Estos medidores modulares se colocan en postes del sistema de distribución, lejos del acceso del consumidor.

2.2.2 Definición de objetivos de implementación

Las razones de la implementación de medidores inteligentes pueden ser muy diferentes para cada aplicación. La Tabla 3 ofrece una recomendación de funcionalidades requeridas para los medidores dependiendo de cuál sea su objetivo pueden agregarse otras funcionalidades.

Tabla 3: Funcionalidades según objetivo de implementación

Objetivo/ Funcionalidad	Reducción de pérdidas no técnicas	Lectura remota	Control y gestión de la demanda	Generación distribuida	Autogeneración (PV Solar)	Mejora en calidad del servicio	Tarifas horarias	Eficiencia Energética
Lectura remota		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Conexión / Desconexión remota			✓	✓	✓			✓
Comunicación Bidireccional	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Medición Bidireccional de Energía				✓	✓			
Ajuste tiempo de muestreo		✓		✓	✓	✓	✓	
Sincronización de reloj		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Detección de interrupciones				✓		✓		
Detección de fraudes	✓			✓				✓
Modo prepago		✓					✓	
Acceso del usuario a información		✓						✓
Comunicación con redes HAN			✓					✓
Esquemas de tarifa avanzados		✓					✓	

2.2.3 Requisitos mínimos de los medidores

La Tabla 4 establece los requisitos mínimos recomendados que debe cumplir cualquier medidor inteligente. En los casos en que depende de la aplicación o la tecnología, esto debe determinarse previo a la comprobación de estos requisitos. Dependiendo de la aplicación, podrían tenerse más o menos requisitos, pero el lineamiento es una guía que puede ser adaptada para cada caso.

Si alguna de las normativas en los temas destacados no está actualmente determinada en el país puede eliminarse ese requisito mínimo, pero no deja de ser recomendable el buscar normativa de referencia para escoger el medidor.

Tabla 4: Requisitos mínimos de medidores.

REQUISITOS MÍNIMOS DE MEDIDORES	MONOFÁSICO	POLIFÁSICO
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Tensión (V)	220	220 – 380
Frecuencia (Hz)	60	60
Clase de exactitud	1%	1%
Comunicación Bidireccional	√	√
Pantalla LCD	√	√
Medición directa o indirecta	Depende de max demanda	Depende de max demanda
REGISTRO DE PARÁMETROS		
kWh entregados	Depende de aplicación	√
kWh recibidos	√	√
kW entregados	Depende de aplicación	√
kW recibidos	√	√
kVARh cuadrante 1	√	√
kVARh cuadrante 2	Depende de aplicación	√
kVARh cuadrante 3	Depende de aplicación	√
kVARh cuadrante 4	Depende de aplicación	√
Tensión instantánea por fase (V)	√	√
Corriente instantánea (A)	√	√
Perfil de carga quince minutos por 35 días mínimo	√	√
Tarifas horarias	√	√
Contador de interrupciones	√	√
Perfiles de carga	Depende de aplicación	√
Distorsión armónica de tensión	Depende de aplicación	√
Distorsión armónica de corriente	Depende de aplicación	√
Desbalance de tensión	No aplica	√
FUNCIONES MÍNIMAS		
Corte / reconexión remota	√	√
Corte / reconexión por puerto óptico	√	√
Almacenamiento de datos	√	√
Reinicio de demanda por hardware	-	√
Sincronización de reloj	√	√
Configuración remota	√	√
Actualización remota	√	√
Ajuste tiempo de muestreo	√	√

ALARMAS Y EVENTOS		
Conexión por puerto óptico	Evento	Evento
Desconexión por puerto óptico	Evento	Evento
Pérdida de comunicación	Evento	Evento
Ausencia de tensión	Alarma y Evento	Alarma y Evento
Batería baja	Alarma y Evento	Alarma y Evento
Restablecimiento de suministro de tensión	Evento	Evento
Baja tensión	Depende de aplicación	Evento
Sobretensión	Depende de aplicación	Evento

PUERTOS DE COMUNICACIÓN		
Puerto Óptico	√	√
Radio Frecuencia 902 – 928 MHz	Depende de tecnología	Depende de tecnología
PLC	Depende de tecnología	Depende de tecnología
Zigbee	Depende de tecnología	Depende de tecnología
Celular 3G, 4G, GPRS	Depende de tecnología	Depende de tecnología

CUMPLIMIENTO NORMATIVA		
Precisión	√	√
Fabricación	√	√
Nacional	√	√
Interoperabilidad	√	√
Seguridad	√	√

2.2.4 Evaluación adicional medidor inteligente

Una vez que se han preseleccionado inicialmente los medidores por sus requisitos mínimos, se plantea el mecanismo de evaluación para la selección de medidores inteligentes. Se ponderan las funcionalidades, características y condiciones adicionales, que no son requisitos mínimos del medidor pero que son claves para su escogencia.

Se plantea establecer un factor de peso, con el que se asigne un valor de importancia a cada elemento y pueda calificarse. La suma de estos factores de peso debe un valor total de 1. Las características del proveedor, del lugar de instalación, el precio y funcionalidades adicionales forman parte de este análisis. La asignación de la nota queda a criterio de la persona que realiza el análisis, tomando en cuenta todas las variables correspondientes, y pudiendo justificar esta nota en la sección de observaciones.

Tabla 5: Factores de peso evaluación medidores

	CARACTERÍSTICA	FACTOR DE PESO	NOTA	OBSERVACIONES
Funcionalidades	Según objetivos			
Puertos de comunicación	Según tecnología disponible y necesidades			
Características del medidor	Según aplicaciones agregar las características			
Características del lugar	Según aplicaciones agregar las características			
Proveedor	Funcionalidades software			
	Soporte			
	Accesorios			
	Interoperabilidad			
	Experiencia			
Costo	Precio			
	CAPEX			
	OPEX			

3

RIESGOS Y RECOMENDACIONES DEL DESPLIEGUE DE MEDIDORES INTELIGENTES

3.1 Riesgos

3.1.1 Ciberseguridad

La ciberseguridad de tecnologías de información se enfoca en la protección requerida para garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los equipos de comunicaciones (NIST, 2014).

Con el avance de las redes inteligentes hacia un futuro interoperable, los sistemas se van volviendo cada vez más complejos. Adicionalmente, la comunicación de muchos componentes y la capacidad de cada componente de registrar más información traerá un volumen de datos muy alto que debe ser transferido y posiblemente almacenado por la EDE. Si todo esto no se maneja con responsabilidad, se puede introducir vulnerabilidades desde el punto de vista de ciberseguridad a la red.

Según (Ekanayake et al., 2012), una correcta medición de la seguridad en las comunicaciones debe contemplar cuatro factores fundamentales:

- Privacidad de la información, es decir, que los mensajes viajen encriptados de manera que sólo el receptor pueda entender el contenido.
- Integridad de la información, donde esta no se ve modificada o afectada durante la comunicación.
- Autenticación del mensaje, de manera que el receptor pueda corroborar la identidad del emisor y no se trate de un fraude.
- No repudio, que significa que el emisor no puede negar el envío de la información, y que el receptor puede confirmar que ese envío viene de ese emisor.

Según el Banco Mundial (2018) los riesgos principales de ciberseguridad están relacionados con la privacidad de la información (robo de información), integridad de los equipos del cliente (riesgo de ataques a dispositivos del consumidor), la calidad del servicio (relacionado con ataques que afecten la disponibilidad), la seguridad de las personas (riesgo de manipulación de elementos que expongan a clientes o trabajadores ante riesgos eléctricos), pérdida de utilidades y reputación de la empresa.

3.1.2 Obsolescencia tecnológica

La duración de los proyectos de despliegue de tecnologías AMI dependen fuertemente de la vida útil de las tecnologías. Las experiencias de California en Estados Unidos o de Enel en Italia indican de unos 15-20 años de vida útil de los proyectos y se asocia principalmente a la vida útil de los medidores. Por esta razón, una obsolescencia prematura de la tecnología puede ocurrir en un momento en el que aún no se hayan alcanzado los beneficios y retorno de la inversión deseados del proyecto.

Las empresas que desplieguen este tipo de tecnologías en la red deben estar conscientes de que es una inversión muy elevada, y por ende es recomendable escoger tecnologías que no se queden obsoletas antes del fin de la vida útil del proyecto. Por ejemplo, al momento del despliegue de medidores de segunda generación en Italia, Enel Distribución (E-distribuzione, 2017) destaca que los medidores de primera generación habían llegado a su límite de capacidad de procesamiento, pues fueron diseñados para manejar y gestionar menos procesos de los que ejecutaban al final de su vida útil, aun cuando al inicio del proyecto eran medidores de vanguardia tecnológica.

Entonces, el riesgo de la obsolescencia siempre estará presente, ante el avance continuo y rápido de la tecnología. Por eso, deben estudiarse con cuidado las tecnologías de manera que pueda disminuirse el riesgo.

3.1.3 Riesgos de integración e implementación

Los riesgos que pueden correrse ante un despliegue de tecnología AMI pueden ser muy variados. La puesta en marcha puede traer riesgos de fallas de interoperabilidad entre distintas tecnologías si se mezclan proveedores de los componentes del sistema. Este riesgo materializado puede afectar mucho los objetivos del despliegue, dependiendo de las funcionalidades y los casos de uso de los medidores.

También, un mal diseño de la red (distancia entre medidores mal contemplada, posición estratégica de colectores, tecnologías empleadas insuficientes debido al relieve, despliegue inadecuado de medidores, entre otros) puede traer tasas de transferencia de datos menores a lo esperado, que pueden comprometer los beneficios económicos esperados y hacer a la empresa incurrir en más gastos operativos con el despliegue de personal de lectura. Podría pensarse que una tasa del 95 % de éxito de las comunicaciones es aceptable, pero el 5 % restante de medidores que no pudieron comunicar la información, pueden ser miles, cientos de miles o hasta millones de medidores, dependiendo del tamaño de la empresa distribuidora, por lo que esta empresa en ese caso tendría que buscar una forma alternativa de extraer esos datos, lo que puede traer costos importantes.

3.1.4 Comportamiento del consumidor

La resistencia a la instalación de medidores inteligentes por parte de los consumidores en California muestra el riesgo importante que pueden correr las empresas distribuidoras ante un despliegue masivo de medidores inteligentes y tecnologías avanzadas de comunicación. Empresas como SCE, SDG&E y PG&E han debido ejecutar planes para desincentivar esa resistencia, no sólo a través de campañas de comunicación, sino con el establecimiento de cobros adicionales a clientes que deseen un medidor sin comunicación.

Es de destacar que no sólo se puede enfrentar una negativa de los consumidores por desinformación de las tecnologías, sino también por la instalación en lugares donde se busque reducir las pérdidas no técnicas ocasionadas por el consumo ilegítimo de energía, que ha demostrado ser uno de los principales beneficios del despliegue en países como México. La CFE mexicana enfrentó atrasos en el despliegue de sus medidores inteligentes debido a esta causa, causando que no llegaran a la cantidad de medidores instalados esperada en 2020 (CFE, 2020).

Otra causa de resistencia de los consumidores ante estos dispositivos es por preocupaciones sobre la privacidad de la información, siendo los países europeos los que más han debido trabajar esa resistencia (Comisión Reguladora de Energía, 2014).

3.2 Recomendaciones

La implementación de medidores inteligentes conlleva muchos retos como los observados a través de todo el estudio realizado. Esta implementación dependerá del contexto de cada país, pues hay muchos factores que deben tomarse en cuenta para realizar un despliegue de medidores y toda la infraestructura que esto implica.

El Departamento de Energía de Estados Unidos (2019) destaca algunas recomendaciones para las empresas distribuidoras, entre las que destacan identificar muy bien los objetivos de la empresa, de manera que con esa visión se escoja muy bien la tecnología y funcionalidades de los medidores y la infraestructura AMI. También, destaca el volver la ciberseguridad una prioridad, además de estudiar muy a fondo la tecnología, de forma que se puedan plantear preguntas muy específicas a los proveedores de esta.

PG&E también enlista varias recomendaciones de implementación, basados en su experiencia. Además de estar listos para enfrentar problemas con la tecnología, recomiendan (Engerati, s.f.):

- Hacer el despliegue de la red antes que la de los medidores.
- Establecer prioridades según los casos de negocio analizados.
- Hacer un reconocimiento del sitio muy detallado, para hacer un correcto diseño físico de la red de comunicación.
- Dar las herramientas y recursos necesarios a los trabajadores para la implementación.
- Realice pruebas continuamente.
- Tomar muy en cuenta las opiniones e inquietudes del cliente.

De la mano con ese reconocimiento, si se cuenta con un sistema de información geográfico para el diseño, es importante constatar que el sistema sea preciso. Para el diseño se debe tomar en cuenta el relieve, la posición de los postes y transformadores, ubicación de las redes de baja tensión, cantidad y distancia de colectores o concentradores de los medidores, altura de las antenas de los colectores, capas de vegetación, lugar del despliegue del medidor (bajo techo, al aire libre), entre otros.

Se recomienda involucrar a los proveedores de la tecnología de comunicaciones en el despliegue de la red, pues son las personas que tienen un mejor conocimiento del equipo o los equipos por instalar.

También, la implementación en los países estudiados ha demostrado que desde un punto de interoperabilidad es preferible la instalación de todos los elementos de la red con el mismo proveedor, para evitar cualquier problema de incompatibilidad entre los elementos. No obstante, debe tomarse en cuenta que este proveedor debe basar sus productos bajo estándares interoperables para evitar la dependencia a un proveedor de tecnología.

La obsolescencia de la tecnología es otro factor para tomar en cuenta (World Bank, 2018). Por ejemplo, con el avance de la tecnología celular 5G, cualquier proyecto que se despliegue con una tecnología celular inferior como 3G o 4G, puede quedar obsoleta mucho antes de que se termine la vida útil del medidor y para el cual fue pensado su cambio dentro del planeamiento de muchas empresas.

Otras empresas como BWP recomiendan planear con suficiente tiempo el despliegue, incluyendo la logística, además del manejo de personal y la integración con los sistemas de comunicación y otros sistemas como OMS o MDMS (DOE, 2016).

El desarrollo de un estudio de costo – beneficio como el empleado por los países de la Unión Europea (Comisión Europea, 2019) es muy recomendable para cualquier empresa ante el despliegue de infraestructuras AMI. Este estudio puede contemplar:

- Costos de capital por: inversión en medidores, telecomunicaciones, tecnologías de comunicación y costos hundidos de medidores a reemplazar.
- Costos operativos: mantenimiento de sistemas de información, aplicaciones de la red, telecomunicaciones, cambios inesperados por fallo de medidores, disminución de utilidades, costos de lectura, costos de servicio al cliente, entre otros.
- Beneficios por: reducción de factura debido a eficiencia y precios dinámicos, flexibilidad de la red, incremento de la competencia del mercado, acceso más sencillo a tecnologías solares, ahorro por lectura y operaciones remotas, ahorro en el mantenimiento de activos, reducción de pérdidas técnicas y no técnicas, manejo de interrupciones, contaminación del aire, emisiones de dióxido de carbono, entre otras.

Respecto a la privacidad de la información, la Comisión Reguladora de Energía en México plantea varias recomendaciones a las instituciones relacionadas con operaciones de AMI, entre estas brindar capacitaciones regulares al personal sobre privacidad, educar a los consumidores sobre riesgos de privacidad y cómo mitigarlos, además de proceder con mucha transparencia en todas las etapas que conllevan la implementación de infraestructura inteligente (Comisión Reguladora de Energía, 2014).

Respecto a los fabricantes, recomiendan que sus equipos sólo recopilen la información estrictamente necesaria para el funcionamiento de los dispositivos inteligentes (no sólo medidores). Relacionado con esta privacidad de la información, algunas recomendaciones de ciberseguridad son:

- Utilización de componentes que utilicen estándares de seguridad ampliamente aceptados.
- La encriptación de los datos en todas las etapas de desarrollo de la infraestructura.
- Establecer un control de acceso robusto, a través de interfaces de autenticación de los usuarios (incluido el cliente a través de aplicaciones) y permisos para estos distintos actores.
- Evaluar la ciberseguridad ofrecida por terceros que participen en la implementación de las redes y establecer controles fuertes sobre el desempeño de sus componentes.

4

RECOMENDACIONES PARA LA NORMATIVA DE MEDIDORES INTELIGENTES EN PERÚ

La implementación de normativa de medición inteligente es un tema complejo de implementar para cualquier país y Perú no es la excepción. Trazar una hoja de ruta que pueda guiar el camino en ese desarrollo, es sin duda una buena práctica que muchos países han llevado a cabo en esa definición de estándares.

En ese sentido, esta sección plantea una propuesta de hoja de ruta general, acompañado de algunas recomendaciones que sirven como esa guía hacia el establecimiento de estándares de medición inteligente en el país. La Figura 5 presenta dicha propuesta de hoja de ruta.

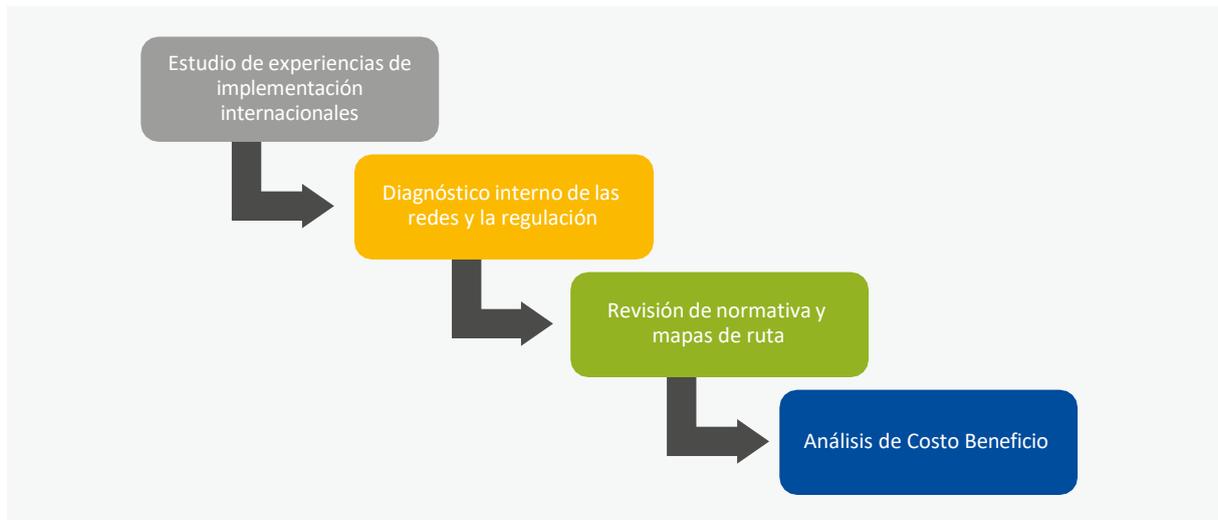
Parte de lo que ya se ha desarrollado en este trabajo, es el estudio de experiencias internacionales en la implementación no sólo de medidores inteligentes, sino en materia de regulación y estandarización de distintos países. Este paso es importante para buscar aplicar las mejores prácticas y minimizar la cantidad de errores o dificultades que puedan enfrentarse con la implementación de normativa.

También, es importante realizar un diagnóstico o evaluación de las redes actuales de Perú, de manera que sea posible conocer si estas son aptas para la implementación de medición inteligente o si deben realizarse esfuerzos importantes en el camino. Este diagnóstico puede venir sustentado en un análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA).

Por otra parte, la revisión de normativa y distintos mapas de ruta hacia la estandarización de redes inteligentes, como los establecidos por IEC (IEC, 2010) o NIST (NIST, 2010), son una referencia importante y un punto de partida en el establecimiento de normativa. La experiencia y el esfuerzo de estos entes en el desarrollo e implementación de las redes inteligentes pueden ahorrar mucho tiempo y recursos en el estudio.

Finalmente, un análisis de costo beneficio permitirá un análisis financiero y sus posibles impactos ante la implementación.

Figura 5: Propuesta de hoja de ruta para el despliegue de la medición inteligente en Perú



Fuente: AID-Atlas.

Algunas recomendaciones adicionales que complementan esta propuesta de hoja de ruta se muestran en las subsecciones siguientes.

4.1 Revisión literatura

Se recomienda que las autoridades correspondientes en Perú realicen estudios de la literatura IEC sobre el mapa de ruta normativo para la implementación de redes inteligentes establecido por la CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group (CG-SG). Tanto los países europeos como algunos países del continente americano han estudiado y participado en el desarrollo de los mapas de ruta hacia una red inteligente establecidos por IEC (IEC, 2010) y por NIST (NIST, 2010), y de esta forma tener un panorama claro de la normativa oficial a establecer para despliegues.

Por ejemplo, la ruta IEC describe las normativas aplicables en distintos temas como electromovilidad, almacenamiento de energía, automatización de la distribución, recursos energéticos distribuidos, infraestructura avanzada de medición, respuesta de la demanda, casas inteligentes, HVDC/FACTS, entre otros (IEC, 2010).

En el caso de estándares para AMI, la ruta IEC establece algunas normas a considerar en ese camino hacia una red inteligente, tanto de impacto bajo como de impacto muy alto para el tema de redes inteligentes. Se destacan como importantes las normas IEC 61970-301, IEC 60495, IEC 61000 (Compatibilidad electromagnética), IEC 61334, IEC 61850, IEC 61968, IEC 61051, IEC 61052, IEC 61053, IEC 61054, IEC 61058, IEC 61059 e IEC 61056.

Un buen ejemplo a seguir como referencia es el caso de México, con el desarrollo de su “Marco regulatorio de la red eléctrica inteligente” (Comisión Reguladora de Energía, 2014), en el que se establece toda la normativa y el rumbo que toma el país para el planeamiento de futuros proyectos y despliegues AMI.

4.2 Considerar la interoperabilidad y la ciberseguridad

La regulación en los distintos países analizados ha demostrado ser crucial en el avance de la implementación de medición inteligente. Un adecuado establecimiento de normativas que contemplen la interoperabilidad y la ciberseguridad es fundamental, pues establecerá los requisitos de software y hardware que deben cumplir todos los medidores y los demás elementos de la red inteligente. De la mano con la recomendación anterior, se aconseja el estudio de las normativas IEC 61968, IEC 61970, IEC61850, IEC 62056 e IEC 62351 como estándares de cumplimiento requerido por los medidores.

El uso de la metodología SGAM establecido en la normativa IEC 61968 también es recomendado, para determinar más específicamente las funcionalidades y los casos de uso requeridos en la implementación de redes inteligentes y específicamente los medidores según la realidad peruana. Esto definirá la normativa específica a adoptar o estudiar para tomarla en cuenta en la elaboración de normativa nacional.

También, para el tema de ciberseguridad pueden desarrollarse implementaciones a partir de los lineamientos para la ciberseguridad de las redes inteligentes, establecido por la NIST en tres volúmenes (NIST, 2014). Estos reportes se enfocan en la eficiencia de los protocolos de comunicación; identificación, autenticación y control de acceso, y en la detección de ataques y la resiliencia de las operaciones.

4.3 Establecer las funcionalidades mínimas que debe tener un medidor inteligente

Existe gran cantidad de información sobre las funcionalidades mínimas que puede o debe tener un medidor, según las particularidades de cada red y cada país. Autoridades regulatorias como la CPUC han definido estas reglas para sus empresas reguladas, al igual que la Comisión Europea lo hizo en 2014 para todos los países miembros. La adopción de estas funcionalidades mínimas o el desarrollo de las propias se vuelve importante para el establecimiento de normativa en este tema.

4.4 Exigir un estudio de costo-beneficio para cualquier proyecto AMI

Un análisis costo beneficio previo es importante para asegurarse de que la empresa no corra riesgos financieros ante una implementación AMI, y que su recuperación y el beneficio al cliente sean tomados en cuenta. En Alemania esto funcionó para no exigir la sustitución obligatoria inmediata de todos los medidores, pues el retorno del despliegue se empezaría a ver casi 10 años después de implementado el plan, lo que podía traer serios problemas de liquidez a las empresas de distribución alemanas.

REFERENCIAS

1. **CFE. (2020).** *Programa de ampliación y modernización de las redes generales de distribución 2020-2034.* Disponible en <https://www.cfe.mx/distribucion/cumplimiento/Documents/PAM%20de%20las%20RGD%202020-2034.pdf>.
2. **Comisión Europea. (2011).** *A joint contribution of DG ENER and DG INFSO towards the Digital Agenda, Action 73: Set of common functional requirements of the Smart Meter.* Disponible en https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/2011_10_smart_meter_funtionalities_report_full.pdf.
3. **Comisión Europea (2012).** *2012/148/EU: Commission Recommendation of 9 March 2012 on preparations for the roll-out of smart metering systems.* Disponible en <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a5daa8c6-8f11-4e5e-9634-3f224af571a6/language-en>
4. **Comisión Europea. (2019).** *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28 - Publications Office of the EU.* Disponible en <https://doi.org/10.2833/492070>.
5. **Comisión Reguladora de Energía. (2014).** *Marco Regulatorio de la Red Eléctrica Inteligente (REI) en México.* Disponible en <https://www.cre.gov.mx//documento/3978.pdf>.
6. **DOE. (2016).** *Advanced metering infrastructure and customers systems - Results from the smart grid investment grant program.* Disponible en https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report_09-26-16.pdf.
7. **DOE. (2019).** *Voices of Experience Leveraging AMI Networks and Data.*
8. **Donato, P. (2020).** *Medidores inteligentes en Argentina: consideraciones para una implementación adecuada.* Disponible en http://www3.fi.mdp.edu.ar/clagtee/2017/presentations/ie323_donato_medidores_inteligentes.pdf
9. **E-distribuzione. (2017).** *Medidor abierto - Plan de puesta en servicio del sistema de medición inteligente (PMS2).* Disponible en <https://www.e-distribuzione.it/servizi/contatore/open-meter-plan.html>.
10. **EEI-AEIC-UTC. (2011).** *Smart Meters and Smart Meter Systems: A Metering Industry Perspective.* Disponible en <https://www.cpsenergy.com/content/dam/corporate/en/Documents/SmartGrid/A%20Metering%20Industry%20Perspective.pdf>.

11. Ekanayake, J., Liyanage, K., Wu, J., Yokoyama, A., & Jenkins, N. (2012). *Smart Grid Technology and Applications (1st ed.)*. John Wiley & Sons, Ltd.
12. Engerati. (s.f.). *From Smart Meter Pilot to Full Rollout - Lessons From California*.
13. Gobierno del Perú. (2006). *Ley N. 28832: Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica*.
14. Gobierno del Perú. (2015). *Decreto Legislativo N. 1221: Decreto legislativo que mejora la regulación de la distribución de electricidad para promover el acceso a la energía eléctrica en el Perú*.
15. Gobierno del Perú. (2020). *Contribuciones determinadas a nivel nacional del Perú: Reporte de actualización periodo 2021-2030*.
16. IEC. (2010). *IEC Smart Grid Standardization Roadmap*.
17. IEEE. (2011). *IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads*.
18. MINAM. (2021). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2016 y actualización de las estimaciones de los años 2000, 2005, 2010, 2012 y 2014*. <https://infocarbono.minam.gob.pe/annios-inventarios-nacionales-gei/ingei-2016/>
19. MINEM. (2018). *Resolución ministerial N° 292-2018-MEM/DM*.
20. NIST. (2010). *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0*.
21. NIST. (2014). *NISTIR 7628 Revision 1: Guidelines for Smart Grid Cybersecurity Volume 1 - Smart Grid Cybersecurity Strategy Architecture, and High Level Requirements*.
22. Quirós-Tortós, J., Godínez-Zamora, G., De La Torre Ugarte Pierrend, D. G., Heros, C., Lazo Lazo, J., Ruiz, E., Quispe, B., Diez Canseco, D., Garro, F., Mora, J., Eguren, L., Sandoval, M., Campos, S., Salmeri, M., Baron, R., Fernández-Baca, J., Iju Fukushima, A. S., Saavedra, V., & Vogt-Schilb, A. (2021). *Costos y beneficios de la carbono-neutralidad en Perú: Una evaluación robusta*. In *Costos y beneficios de la carbono-neutralidad en Perú: Una evaluación robusta*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0003286>
23. Weranga, K. S. K., Kumarawadu, S., & Chandima, D. P. (2014). *Smart Metering Design and Applications*. Springer.
24. World Bank. (2018). *Survey of international experience in advanced metering infrastructure and its implementation*. In *Survey of International Experience in Advanced Metering Infrastructure and its Implementation*. World Bank, Washington, DC. <https://doi.org/10.1596/32468>



 / @MinemPeru

www.gob.pe/minem

Av. Las Artes Sur N° 260, San Borja, Lima

Central telefónica: (+511) 411-1100