

INFORME TÉCNICO

Radiografía de la metrología eléctrica frente a las energías verdes

Medición, verificación y trazabilidad en el sistema eléctrico mexicano
ante el avance de las energías limpias

Diagnóstico del estado actual de la trazabilidad metrológica eléctrica
mediante revisión sistemática de literatura y documentos normativos

Tipo de documento:	Informe técnico de divulgación especializada
Audiencia:	Profesionales del sector eléctrico y energético
Extensión objetivo:	≈ 5.000 palabras
Norma de citación:	APA 7. ^a edición
Fecha:	Agosto 2026
Ámbito geográfico:	México — Sistema Eléctrico Nacional

Resumen ejecutivo

El avance de las energías limpias en México está transformando los requerimientos de medición, verificación y trazabilidad del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). En 2024 la Componente de Generación Limpia (CGL) alcanzó 23,40 %, con una tasa media de crecimiento anual de 2,062 % entre 2017 y 2024 (Comisión Nacional de Energía [CNE], 2024). Este crecimiento, sumado a la expansión de la generación distribuida, el almacenamiento y la electromovilidad, genera presión sobre la infraestructura metrológica existente.

Este informe realiza un diagnóstico del estado actual de la trazabilidad metrológica eléctrica mediante revisión sistemática de documentos normativos, reportes oficiales y literatura técnica. Los hallazgos principales son:

- El Centro Nacional de Metrología (CENAM) mantiene capacidades sólidas en patrones de potencia, energía y calidad de la potencia, incluyendo un patrón portátil desarrollado en 2024.
- Las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-CRE/SCFI-2019 y NOM-017-CRE-2019 establecen requisitos metrológicos claros, pero su implementación efectiva depende de una cadena de calibración secundaria aún incompleta en varias magnitudes críticas.
- Existen brechas documentadas en laboratorios secundarios de calibración para magnitudes asociadas a sistemas fotovoltaicos y mediciones de calidad de potencia en campo.
- Los puntos de mayor presión se concentran en la medición bidireccional, la calidad de la potencia (armónicas, sags, swells, flicker) y la integridad de los datos para liquidaciones y Certificados de Energías Limpias (CEL).

El diagnóstico concluye que México cuenta con los cimientos institucionales y normativos necesarios, pero la capacidad de calibración y verificación no ha escalado al mismo ritmo que la complejidad del SEN. Sin un fortalecimiento deliberado de la infraestructura metrológica secundaria, aumentan los riesgos de incertidumbre en liquidaciones, validez de certificados y operación confiable de la red.

Palabras clave: metrología eléctrica, trazabilidad, energías limpias, calidad de la potencia, NOM-001, NOM-017, CENAM, Sistema Eléctrico Nacional.

1. Introducción

1.1 Contexto de la transición energética en México

La transición hacia un mayor porcentaje de energías limpias modifica no solo el mix de generación, sino las condiciones de operación del SEN. La intermitencia de las fuentes eólica y fotovoltaica, el flujo bidireccional de potencia y la proliferación de inversores de electrónica de potencia incrementan la presencia de armónicas, variaciones de tensión y otros fenómenos de calidad de la potencia (Romero Castellanos, 2025). Al mismo tiempo, los esquemas de generación distribuida, autoconsumo y almacenamiento exigen sistemas de medición más precisos, bidireccionales y con mayor integridad de datos.

1.2 Justificación del diagnóstico metrológico

La trazabilidad metrológica —la propiedad de un resultado de medición por la cual puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones— es el fundamento de la confianza en los datos que sostienen liquidaciones del Mercado Eléctrico Mayorista, el otorgamiento de CEL y el cumplimiento del Código de Red. Cuando esta cadena se debilita, se generan riesgos económicos, regulatorios y de confiabilidad operativa.

1.3 Objetivo y alcance

El objetivo general de este informe es diagnosticar el estado actual de la trazabilidad metrológica eléctrica en México frente al avance de las energías limpias, identificando capacidades existentes, puntos de presión y brechas relevantes para profesionales del sector. El alcance se limita a la metrología de magnitudes eléctricas (potencia, energía, calidad de la potencia) y su relación con la generación limpia, la generación distribuida y la operación del SEN. No se aborda en detalle la metrología de radiación solar ni de otras magnitudes no eléctricas.

1.4 Pregunta central de investigación

¿Cuál es el estado actual de la infraestructura y la cadena de trazabilidad metrológica eléctrica en México, y en qué puntos se encuentra bajo mayor presión ante el crecimiento de las energías limpias?

1.5 Metodología de la revisión

Se realizó una revisión sistemática de documentos normativos oficiales (DOF, NOM, manuales del CENACE y CNE), reportes técnicos del CENAM, informes de confiabilidad del SEN, estudios de infraestructura de la calidad y literatura técnica especializada publicada entre 2018 y 2026. Se priorizaron fuentes primarias y se aplicó filtrado crítico a cada documento, evaluando autoría, fecha, posible sesgo institucional y consistencia con otras evidencias.

2. Marco conceptual y normativo

2.1 Conceptos clave

La **trazabilidad metrológica** requiere una cadena ininterrumpida de calibraciones hasta patrones nacionales o internacionales, cada una con incertidumbre documentada (Ley de Infraestructura de la Calidad, 2020). En el contexto eléctrico, esto incluye no solo la energía activa (kWh), sino parámetros de calidad de la potencia definidos en la IEC 61000-4-30 (clase A) y normas mexicanas derivadas.

La **incertidumbre de medición** es un parámetro fundamental: la NOM-017-CRE-2019 establece límites máximos de incertidumbre para la energía eléctrica neta que incluyen las contribuciones del wathorímetro y de los transformadores de tensión y corriente.

2.2 Marco legal e institucional

Los actores principales de la cadena metrológica eléctrica en México se resumen en la siguiente tabla:

Actor	Función principal en la cadena metrológica
CENAM	Custodio de los patrones nacionales; origen de la trazabilidad
CNE (antes CRE)	Emisión y vigilancia de NOM de medición y criterios de energía limpia
CENACE	Operación del SEN, telemetría y liquidaciones del MEM
ema	Acreditación de laboratorios de calibración y unidades de inspección
Transportistas y Distribuidores	Operación y administración de sistemas de medición

Tabla 1. Actores clave de la infraestructura metrológica eléctrica en México.

La Ley de Infraestructura de la Calidad (2020) y la Ley del Sector Eléctrico (2025) refuerzan la obligatoriedad de la trazabilidad y redefinen reglas de interconexión, autoconsumo y almacenamiento.

2.3 Normas oficiales mexicanas relevantes

NOM-001-CRE/SCFI-2019: Establece las especificaciones metrológicas, métodos de prueba y procedimiento para la evaluación de la conformidad que deben cumplir los medidores y transformadores de medida empleados en el suministro eléctrico, liquidaciones y medición de parámetros de calidad de la potencia.

NOM-017-CRE-2019: Define los métodos de medición de variables para el cálculo del porcentaje de energía libre de combustible (ELC) y el procedimiento de evaluación de la conformidad. Exige que el medidor de energía neta cuente con aprobación de modelo, calibración vigente y trazabilidad a patrones nacionales. Ambas normas establecen explícitamente que la calibración no es equivalente al simple ajuste o verificación de un sistema de medida.

3. Estado actual de la infraestructura metrológica eléctrica

3.1 Capacidades del CENAM

El CENAM mantiene patrones nacionales de potencia y energía eléctrica y ha desarrollado un estándar nacional de calidad de la potencia basado en sistemas de muestreo digital de alta exactitud (plataforma PXI). En 2024 presentó un patrón portátil de calidad de la potencia (120 V, 5 A, 60 Hz, hasta la armónica 100) en el marco de colaboraciones con el National Research Council de Canadá (Carranza López Padilla, 2024). El CENAM participa en comparaciones internacionales (CCEM-K5) y reporta capacidades de medición y calibración (CMC) en potencia, energía y parámetros de calidad de la potencia. Estas capacidades constituyen el eslabón primario de la trazabilidad nacional.

3.2 Laboratorios secundarios

Existen laboratorios secundarios acreditados bajo ISO/IEC 17025, entre ellos el Laboratorio de Metrología Eléctrica del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Sin embargo, estudios de infraestructura de la calidad para energías renovables (GIZ / energypedia, 2020) documentaron la ausencia de laboratorios secundarios de calibración en varias magnitudes relevantes para sistemas fotovoltaicos y calidad de energía. Aunque ha habido avances posteriores, la cobertura sigue siendo limitada en relación con la demanda creciente generada por la transición energética.

3.3 Sistemas de medición para liquidaciones y generación distribuida

Los Manuales de Medición para Liquidaciones del CENACE y las Disposiciones Administrativas de Carácter General establecen requisitos diferenciados según el nivel de tensión y el tipo de participante (MEM o suministro básico). La NOM-001 regula los tipos de medición (MSCP, MCCP) y la obligatoriedad de medición de respaldo en ciertos casos. Para generación distribuida y autoconsumo, la medición bidireccional es crítica. La propiedad de los sistemas de medición, su operación y los plazos de verificación generan complejidad operativa adicional que tensiona la trazabilidad en la práctica.

3.4 Medición de energía libre de combustible y CEL

La NOM-017-CRE-2019 vincula directamente la validez de los porcentajes de ELC —y por extensión de los Certificados de Energías Limpias— a la trazabilidad de los sistemas de medición de energía neta. Cualquier debilidad en la cadena de calibración afecta la credibilidad de estos instrumentos de política energética y genera riesgos regulatorios y económicos para generadores y obligados.

4. Puntos de presión sobre la trazabilidad metrológica

4.1 Integración de energías variables y calidad de la potencia

La alta penetración de inversores aumenta las distorsiones armónicas y los eventos de tensión (sags, swells, flicker). El Código de Red y las normas de interconexión exigen el cumplimiento de parámetros de calidad de la potencia, preferentemente medidos con instrumentos clase A según IEC 61000-4-30. El CENAM ha avanzado en patrones para estas magnitudes, pero la disponibilidad de calibraciones en campo y de laboratorios secundarios capaces de atender la demanda sigue siendo un cuello de botella relevante (Romero Castellanos, 2025).

4.2 Generación distribuida y medición bidireccional

El crecimiento del autoconsumo y la generación limpia distribuida multiplica los puntos de medición que deben ser bidireccionales, precisos y con integridad de datos garantizada. Las discrepancias en registros o la falta de trazabilidad digital generan riesgos en liquidaciones, cumplimiento fiscal y validación de excedentes inyectados a la red.

4.3 Almacenamiento, electromovilidad y nuevos puntos de conexión

La entrada de sistemas de almacenamiento de energía (BESS) y electrolineras añade nuevos puntos de interconexión que deben verificar parámetros de calidad de la potencia para evitar disturbios masivos. Esto incrementa de forma significativa la demanda de medidores avanzados y de capacidades de calibración y verificación en todos los niveles de tensión.

4.4 Disponibilidad de laboratorios y plazos de calibración

La cadena de trazabilidad se tensiona cuando los plazos de calibración se alargan o cuando no existen laboratorios secundarios cercanos y acreditados para las magnitudes requeridas. Esto afecta especialmente a operadores de generación distribuida y a empresas que deben demostrar conformidad de forma periódica ante la autoridad.

4.5 Documentación e integridad de datos

La trazabilidad no es solo técnica: es documental. La ausencia de registros completos de calibración, la falta de integridad en los sistemas de telemetría o la deficiente gestión de datos de medición debilitan toda la cadena, independientemente de la calidad de los patrones primarios mantenidos por el CENAM.

5. Análisis de brechas y riesgos

A partir de la evidencia revisada se identifican las siguientes brechas principales y sus riesgos asociados:

Brecha identificada	Evidencia	Riesgo asociado
Escasez de laboratorios secundarios en magnitudes de calidad de potencia y FV	Estudios de infraestructura de la calidad (2020) y desarrollos posteriores del CENAM	Retrasos en calibración; incertidumbre no controlada en mediciones de campo
Implementación desigual de NOM-001 y NOM-017	Plazos transitorios extendidos; complejidad operativa	Medidores sin aprobación de modelo en operación; cuestionamiento de liquidaciones y CEL
Capacidad limitada de monitoreo clase A en tiempo real	Requerimientos del Código de Red vs. infraestructura instalada	Dificultad para detectar y mitigar disturbios de calidad de potencia

Brecha identificada	Evidencia	Riesgo asociado
Integridad y trazabilidad digital de datos de generación distribuida	Alertas de especialistas del sector (2025)	Discrepancias en reportes, riesgos fiscales y de cumplimiento

Tabla 2. Matriz de brechas, evidencia y riesgos asociados.

Los riesgos se materializan en tres ámbitos principales: (1) económico —errores en liquidaciones y valor de los CEL—; (2) operativo —afectaciones a la confiabilidad del SEN—; y (3) regulatorio —dificultad para demostrar conformidad ante la autoridad—. La convergencia de estos riesgos aumenta la exposición del sistema ante escenarios de alta penetración renovable.

6. Conclusiones del diagnóstico

México dispone de un marco normativo e institucional sólido para la metrología eléctrica: el CENAM como origen de la trazabilidad, normas específicas (NOM-001-CRE/SCFI-2019 y NOM-017-CRE-2019) y un sistema de acreditación operado por la ema. Sin embargo, la infraestructura metrológica secundaria y las capacidades de verificación en campo no han evolucionado al mismo ritmo que la complejidad introducida por las energías limpias, la generación distribuida y los nuevos usos finales de la electricidad.

Los puntos de mayor presión se localizan en la calidad de la potencia, la medición bidireccional y la integridad documental y digital de los datos. El diagnóstico no sugiere un colapso de la trazabilidad, sino una tensión creciente que, de no atenderse de manera deliberada, elevará los costos de cumplimiento, la incertidumbre en las liquidaciones y los riesgos operativos del SEN.

El fortalecimiento de laboratorios secundarios, la ampliación de capacidades de calibración en campo y la mejora de los sistemas de gestión de datos de medición constituyen prioridades técnicas de primer orden para que la transición energética se sustente en números confiables y trazables.

7. Referencias

Carranza López Padilla, R. D. (2024). Metrología para energía eléctrica renovable: perspectivas y desafíos. Presentación, Centro Nacional de Metrología.

Comisión Nacional de Energía. (2024). Reporte de Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional 2024. CNE.

Comisión Reguladora de Energía. (2019). NOM-001-CRE/SCFI-2019. Sistemas de medición de energía eléctrica – Medidores y transformadores de medida – Especificaciones metrológicas, métodos de prueba y procedimiento para la evaluación de la conformidad. Diario Oficial de la Federación.

Comisión Reguladora de Energía. (2019). NOM-017-CRE-2019. Métodos de medición de variables para el cálculo del porcentaje de energía libre de combustible y procedimiento para la evaluación de la conformidad. Diario Oficial de la Federación.

GIZ / energypedia. (2020). Estado de la Infraestructura de la Calidad para Energías Renovables y Eficiencia Energética en México.

Ley de Infraestructura de la Calidad. (2020). Diario Oficial de la Federación.

Romero Castellanos, M. (2025). La calidad de la potencia eléctrica con la integración de energías renovables en México. Revista CANAME.

Informes de progreso del CENAM ante el Consultative Committee for Electricity and Magnetism (CCEM), Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), periodos 2021–2023.

Nota metodológica. Este informe se basa exclusivamente en fuentes documentales públicas y oficiales disponibles hasta agosto de 2026. No se realizaron mediciones de campo ni auditorías directas a laboratorios. Las conclusiones deben interpretarse como un diagnóstico de estado basado en evidencia secundaria de alta calidad, sujeto a actualización conforme se publiquen nuevos datos de capacidades metrológicas y reportes de confiabilidad del SEN.