



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE MORENO**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS APLICADAS Y TECNOLOGÍA

“SISTEMA DE ENSAYO DE FUENTES Y BATERÍAS”

Director: BIERZYCHUDEK, Marcos

Co Director: BORGATELLO, José Maria

Integrantes: PORTILLO, Yael Iván; GAYOSO, Alberto

Año: 2026



**UNM 2010
UNIVERSIDAD
DEL BICENTENARIO
ARGENTINO**

Informe Final de Proyectos de Investigación (PI) Universidad Nacional de Moreno

Identificación del proyecto

Tipo de proyecto y año de convocatoria:	PI 2024
Nombre completo del proyecto:	Sistema de ensayo de fuentes y baterías
Director/a:	Marcos E Bierzychudek
Lineamiento estratégico: ¹	Electrónica y desarrollo tecnológico, Electrónica aplicada
Fecha de inicio:	1° de julio de 2024
Fecha de finalización:	1° de agosto de 2025
Unidad de localización: Departamento/Centro/ Programa	Centro de Investigación e Innovación Tecnológica – Laboratorio de Electricidad
Resumen:	Las fuentes electrónicas y las baterías son dispositivos fundamentales en la electrónica ya que proveen la energía para el funcionamiento de los circuitos y dispositivos electrónicos. En particular, la administración y suministro de la energía es esencial para garantizar y extender la autonomía de dispositivos de Internet de las Cosas (IoT). Existe una gran variedad de fuentes y baterías, y este trabajo se enfoca en aquellas más utilizadas en la actualidad, las fuentes conmutadas, los reguladores lineales, y las pilas de litio y NiMh (níquel-metalhidruro). Las pilas pueden ser recargables o de un solo uso. Los laboratorios universitarios, como el laboratorio de electrónica del Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIIT) de la UNM, deben enfocarse en la solución de problemas complejos. Los diseños que se realizan en IoT deben ser rigurosamente evaluados en su conjunto e individualmente sus componentes. Por este motivo las fuentes y baterías utilizadas deben ser caracterizadas y ensayadas para su correcta utilización, selección y diseño. Este trabajo se desarrolló un sistema de ensayo de baterías y fuentes. El mismo permite determinar distintos parámetros característicos de las fuentes de alimentación y baterías, enfocadas particularmente en las características más importantes para IoT, brindando una capacidad permanente para el laboratorio que permite estudiar los dispositivos diseñados o utilizados por el laboratorio.
Palabras claves:	Baterías, pilas, reguladores lineales, fuentes conmutadas, ensayos

¹ Según Resolución UNM- CS 848/21 Lineamientos estratégicos de Investigación y Desarrollo Tecnológico 2022-2027.

Parte I

Informe de resultados para el repositorio²

1. Introducción y objetivos

Las fuentes de alimentación electrónicas y las baterías constituyen componentes esenciales en cualquier sistema electrónico, dado que proveen la energía necesaria para el funcionamiento de circuitos y dispositivos. Su importancia se ha intensificado en el contexto del Internet de las Cosas (IoT), paradigma tecnológico que demanda dispositivos compactos, eficientes y autónomos capaces de operar durante largos períodos con recursos energéticos limitados. En este escenario, la administración y el suministro eficiente de energía resultan determinantes para garantizar y extender la autonomía de los dispositivos.

El presente proyecto de investigación se enfoca en el diseño y la construcción de un sistema de ensayo dedicado a la caracterización de fuentes conmutadas, reguladores lineales, pilas de litio y pilas de níquel-metalhidruro (NiMH). Estos elementos son los más utilizados en la actualidad para alimentar dispositivos electrónicos de bajo consumo y aplicaciones IoT. El problema central que motiva este trabajo radica en que el laboratorio no dispone actualmente de un sistema dedicado a determinar las características eléctricas de los elementos de alimentación que emplea en sus diseños. Aunque es posible obtener algunos parámetros a partir de hojas de especificaciones de fabricantes, numerosas variables relevantes para el desempeño de los circuitos —como la impedancia de salida, la distorsión de la tensión, la corriente de reposo o los límites funcionales— no son caracterizadas sistemáticamente, lo que afecta la calidad y el rigor de los diseños realizados. Esta brecha instrumental y metodológica constituye el objeto que el proyecto busca resolver.

La relevancia de este proyecto se inscribe en dos dimensiones complementarias. Por un lado, desde una perspectiva tecnológica amplia, la administración y el almacenamiento de energía son áreas estratégicas en el contexto global de la descarbonización y la transición energética. El correcto ensayo y caracterización de baterías y fuentes resulta indispensable para garantizar su uso eficiente, seguro y conforme a normativas. En Argentina, la Ley 26.184 regula la comercialización de pilas primarias, y si bien no existe aún una reglamentación equivalente para pilas secundarias recargables, la presencia en el mercado de productos con especificaciones no certificadas subraya la necesidad de contar con sistemas de ensayo rigurosos y confiables.

Por otro lado, desde una perspectiva institucional, el proyecto supone un aporte significativo para el CIIT-UNM. Los sistemas de ensayo existentes en laboratorios públicos y privados suelen enfocarse en parámetros vinculados a la seguridad eléctrica, mecánica o química y la capacidad de las baterías. El sistema propuesto apunta a caracterizar parámetros que habitualmente no son normalizados tales como la impedancia de salida, la distorsión de las fuentes, la corriente de reposo y los límites funcionales de los circuitos bajo estudio. En pruebas anteriores realizadas en el propio laboratorio, la corriente de reposo de un regulador lineal resultó ser el factor limitante de la autonomía de un dispositivo de muy bajo consumo, evidenciando la relevancia práctica de estos parámetros. En términos de aportes potenciales, el proyecto brindó al CIIT de una capacidad instrumental permanente hasta ahora inexistente y permitió incorporar a estudiantes de ingeniería electrónica en actividades de investigación aplicada, dos alumnos desarrollaron su trabajo final de carrera y su práctica profesionalizante en el marco de este proyecto.

El objetivo general del proyecto es desarrollar un sistema de ensayo automático, asistido por computadora, para la caracterización de fuentes conmutadas, reguladores DC-DC, pilas y baterías. Este sistema estará orientado principalmente a evaluar los módulos y desarrollos utilizados en los proyectos del Laboratorio de Electrónica del CIIT, con especial énfasis en los parámetros críticos para aplicaciones IoT. Los interrogantes que estructuran y orientan este proyecto son los siguientes:

- ¿Cómo determinar de manera sistemática y confiable la impedancia de salida, la capacidad y los límites funcionales de baterías y pilas comerciales usadas en dispositivos IoT?
- ¿Cómo medir y cuantificar la distorsión de la tensión de salida, la corriente de reposo, la impedancia de salida y los límites funcionales de fuentes de alimentación y reguladores DC-DC?
- ¿Qué arquitectura de hardware (adquisidores, cargas activas y pasivas, fuentes programables) y qué algoritmos de software permiten automatizar estas mediciones?

El desarrollo de este proyecto implica un recorrido metodológico que combina el estudio de bibliografía y normas de referencia, el diseño y construcción de hardware, la programación de software de adquisición y análisis, y la verificación experimental del sistema resultante. Los hallazgos y el sistema desarrollado son un activo permanente del laboratorio, con impacto directo en la calidad de los futuros proyectos de investigación y desarrollo.

2. Marco de referencia

Este proyecto se inscribe en la intersección de tres campos disciplinares: la teoría de circuitos, la instrumentación y la medición eléctrica, y el diseño de sistemas embebidos orientados al Internet de las Cosas. En conjunto, estos campos abordan el problema de cómo suministrar, gestionar y caracterizar la energía eléctrica en dispositivos electrónicos, con particular atención a las restricciones de tamaño, eficiencia y autonomía que imponen las aplicaciones IoT. Dentro de la teoría de circuitos, el trabajo se centra en el comportamiento de fuentes conmutadas (topologías Buck, Boost y Buck-Boost) y reguladores lineales de tensión, componentes centrales en cualquier sistema electrónico moderno. En el ámbito de la instrumentación, el proyecto aborda el diseño de sistemas de adquisición automática de datos y el cálculo de incertidumbre de medición conforme a estándares internacionales. Finalmente, desde la perspectiva de los sistemas embebidos e IoT, el interés se centra en los requisitos energéticos específicos de estos dispositivos y en las baterías recargables (litio e NiMH) y pilas primarias que los alimentan.

Los sistemas automatizados para el ensayo de baterías tienen una larga trayectoria en la industria y en el ámbito académico. Su desarrollo ha estado impulsado históricamente por sectores con requerimientos energéticos críticos, como la industria nuclear, la automotriz y la electrónica médica. En el sector nuclear, trabajos como el de Kim y Cha (2012) han documentado metodologías para el análisis de bancos de baterías de plomo-ácido destinados a sistemas de potencia en plantas nucleares en Corea, estableciendo procedimientos de caracterización que priorizan la confiabilidad y la seguridad. En el ámbito de los vehículos eléctricos, Vellucci et al. (2014) presentaron un sistema de ensayo de ciclos de vida para baterías de litio que emplea convertidores AC/DC bidireccionales para cargar y descargar las baterías dentro de cámaras climáticas controladas. Para aplicaciones de electrónica de consumo y médica, Cortner, Dizon y Rodríguez-Álvarez (2013) describieron los ensayos de rendimiento de pilas primarias en dispositivos electrónicos médicos, fundamentando la necesidad de sistemas de medición dedicados para garantizar el funcionamiento óptimo de los dispositivos. En el plano comercial, empresas especializadas como Chroma, Arbin y Amade-Tech ofrecen sistemas de ensayo industriales que implementan las normas IEC, aunque con un costo y una escala que exceden las posibilidades y necesidades de un laboratorio universitario como el CIIT-UNM. La normativa internacional constituye un antecedente fundamental para este trabajo, ya que define tanto los parámetros a medir como los procedimientos de ensayo aceptados por la comunidad técnica. Las principales normas que encuadran el proyecto son:

- IEC 60081: establece los procedimientos de ensayo para pilas primarias (no recargables), incluyendo ensayos de capacidad, corriente de cortocircuito y límites funcionales.
- IEC 61982/4: aplicable a baterías de litio-ion para propulsión de vehículos eléctricos, define parámetros de rendimiento y ciclos de carga/descarga.
- IEC 62133-2:2017: especifica los requisitos y ensayos de seguridad para pilas y baterías secundarias de litio con electrolito no ácido, directamente aplicable a las baterías de litio-ion de uso en IoT.

En cuanto a fuentes de alimentación, los documentos técnicos de fabricantes de instrumentación —como la Application Note de Rohde & Schwarz “Initial Evaluation of a DC/DC Switch Mode Power Supply” y el Design Note 027 de FLEX (“Test Methods for DC/DC Power Modules”)— constituyen estándares de facto para la evaluación de fuentes conmutadas y son ampliamente citados en la comunidad de electrónica de potencia. En el contexto argentino, la Ley Nacional 26.184 regula la comercialización y fabricación de pilas primarias, estableciendo límites al contenido de mercurio, cadmio y plomo. Sin embargo, no existe hasta el momento —según el conocimiento de los autores— una reglamentación equivalente para pilas secundarias (recargables). Esta ausencia normativa local genera una situación de mercado en la que circulan productos con especificaciones no certificadas, reforzando la pertinencia de contar con capacidad de ensayo independiente en instituciones públicas.

El enfoque teórico central del proyecto parte del modelo de fuentes de alimentación y baterías mediante modelos de circuitos equivalentes, cualquier elemento de alimentación puede representarse como una fuente ideal de tensión en serie con una impedancia de salida. Esta impedancia puede incluir

componentes resistivos, capacitivos e inductivos según la naturaleza del elemento y la frecuencia de trabajo, y determina cómo varía la tensión en bornes ante cambios en la corriente demandada por la carga. Este modelo es el punto de partida para la definición operacional de cada parámetro que el sistema busca medir. La impedancia de salida en corriente continua se determina comparando la tensión en vacío con la tensión bajo carga; la impedancia en frecuencia se obtiene inyectando una corriente alterna y midiendo la respuesta en tensión a la misma frecuencia en los bornes del dispositivo bajo prueba.

Los parámetros seleccionados para la caracterización no son arbitrarios: cada uno responde a una problemática específica del diseño de dispositivos IoT, y su definición teórica está establecida en la bibliografía técnica especializada. La distorsión de una fuente de tensión continua se define como el conjunto de componentes de frecuencia presentes en la tensión de salida que no están en la tensión de entrada. Se cuantifica habitualmente mediante el valor eficaz de todas las componentes espectrales distintas de la componente continua. Una mayor distorsión implica la presencia de perturbaciones que pueden degradar el funcionamiento de los circuitos alimentados, por lo que es un indicador directo de la calidad de la fuente. La corriente de reposo ("quiescent current") es la corriente que circula por los bornes de una fuente cuando no existe carga o esta es mínima, y representa una disipación de energía continua independiente de la demanda del sistema. En dispositivos IoT que realizan acciones de forma esporádica, esta corriente puede dominar el consumo total y determinar la vida útil de la batería. La capacidad de una batería o pila cuantifica la carga total disponible que puede entregarse a una carga bajo condiciones definidas de temperatura, corriente de descarga y tensión de corte. Es el parámetro más directamente vinculado a la autonomía de un dispositivo y su determinación experimental permite detectar desviaciones respecto a las especificaciones declaradas por el fabricante (Linden y Reddy, 1995). Los límites funcionales definen las condiciones de corriente, tensión y temperatura dentro de las cuales el dispositivo opera de forma segura y confiable. Su determinación experimental es indispensable para el diseño de circuitos que utilicen los elementos al límite de sus capacidades, como suele ocurrir en aplicaciones de bajo consumo.

El enfoque metodológico del diseño del sistema combina tres tipos de componentes cuya interacción define la arquitectura general: los instrumentos de adquisición, las cargas programables y el software de control y análisis. Las cargas electrónicas activas permiten establecer condiciones controladas de operación sobre el dispositivo bajo prueba, simulando distintos perfiles de demanda de corriente. Las fuentes de alimentación programables permiten controlar las condiciones de entrada del dispositivo. El uso de osciloscopios digitales y digitalizadores permite capturar señales en el dominio del tiempo para el cálculo de los parámetros de interés. La automatización del sistema se implementará mediante el protocolo SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) a través de la interfaz USB, usando la librería PyVISA del lenguaje Python. Esta elección tecnológica está ampliamente adoptada en sistemas de instrumentación automatizada y permite una integración flexible de instrumentos de distintos fabricantes bajo un único entorno de programación. El cálculo de la incertidumbre de medición se enmarcará en las recomendaciones de la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida", publicada por el Bureau International des Poids et Mesures. Este estándar, universalmente aceptado en metrología, proporciona un marco sistemático para identificar, cuantificar y propagar las fuentes de incertidumbre, dotando a los resultados del sistema de ensayo de una validez y trazabilidad metrológica reconocida internacionalmente.

Desde el punto de vista del objeto de estudio, el proyecto trabaja con cuatro categorías de dispositivos cuyas propiedades eléctricas determinan los requisitos del sistema de medición. Las baterías de iones de litio son las más empleadas en IoT por su alta densidad de energía y su capacidad para soportar ciclos de carga y descarga sin efecto memoria. Sus principales parámetros de interés son la capacidad, la impedancia interna y los límites de tensión. Las pilas de níquel-metalhidruro (NiMh), también recargables, ofrecen alta disponibilidad en el mercado y son una alternativa viable en aplicaciones donde la densidad de energía no es crítica. Las pilas primarias (no recargables), por su parte, son preferidas en dispositivos que requieren energía de forma esporádica o donde la recarga no es práctica.

En cuanto a las fuentes, las fuentes conmutadas operan a alta frecuencia mediante transistores de conmutación y permiten construir circuitos compactos y eficientes sin transformadores ferromagnéticos de gran tamaño; las topologías Buck (reductora), Boost (elevadora) y Buck-Boost (inversora) son las estructuras más extendidas en IoT. Los reguladores lineales, aunque menos eficientes en términos energéticos, son ampliamente empleados por su simplicidad y bajo nivel de ruido, aunque su corriente de

reposo puede ser un factor limitante relevante en diseños de muy bajo consumo, como ha sido documentado por el propio equipo de investigación en desarrollos previos. Los fundamentos teóricos de estos elementos están consolidados en la bibliografía de fabricantes (Texas Instruments, 2029; Agilent Technologies, 2000) y son el sustento conceptual sobre el que se definirán los procedimientos de medición del sistema.

3. Métodos y técnicas

El proyecto se desarrolló vinculando continuamente el estudio de bibliografía, el diseño y desarrollo, y la verificación de las distintas partes del sistema. El equipo de trabajo avanzó en su conjunto en las actividades planteadas asignando responsabilidades a los distintos miembros del grupo. Se utilizaron de referencia normas y bibliografía reconocidas. Para ensayar las pilas y baterías el proyecto se basó en las siguientes normas: Norma IEC 60081, Norma IEC 61982/4, IEC 62133-2:2017, e ISO/IEC 17025 para laboratorios que realizan actividades de medición y ensayo. Por otro lado, para el ensayo de fuentes conmutadas y reguladores de tensión se utilizó como referencia el documento “Initial Evaluation of a DC/DC Switch Mode Power Supply Application Note” de Rodhe&Schwarz.

Los circuitos de la carga activa fueron diseñados a partir de la bibliografía y de los componentes disponibles en el mercado local. El diseño se basó en las recomendaciones de los fabricantes de los componentes. El circuito fue simulado mediante el software LTspice o TinaSpice, ambos programas basados en el solver spice, gratuitos y sumamente importantes en la formación de los estudiantes. Los programas fueron desarrollados con el lenguaje Python y se utilizó el paquete PYVISA para comunicarse con los instrumentos con los comandos SCPI o indicados por los fabricantes. La carga pasiva fue controlada por un microprocesador programado en el entorno Arduino y se comunicó con la PC mediante el puerto USB. La incertidumbre se calculó aplicando la recomendación de la “Guía para la expresión de incertidumbre” publicada por el BIPM.

4. Resultados y discusión

El proyecto concluyó con un sistema prototipo construido, se utilizó un osciloscopio para la adquisición de las señales de interés y una fuente de tensión para alimentar reguladores ambos programados vía USB. Se construyó una carga pasiva multiplexada y una carga activa ambas controlados vía PC. El prototipo cumple con los objetivos planteados y brinda una herramienta clave para futuros trabajos.

Los alumnos Iván Portillo y Alberto Gayoso realizaron con este proyecto sus prácticas profesionalizantes y su trabajo final, se espera que este último sea rendido en el transcurso del año 2026.

5. Nuevos interrogantes y líneas de investigación a futuro

El sistema desarrollado podrá ser utilizado en futuros trabajos de desarrollo, por ejemplo, para la caracterización de los elementos a utilizar. Además, se podrá realizar trabajos de evaluación de productos ya que se encuentra una importante falla de los controles en cuanto a las pilas de litio.

6. Bibliografía

- [1] Norma IEC 60081: Ensayo de pilas primarias.
- [2] Norma IEC 61982/4: Especifica para baterías de litio-ion utilizadas para proporcionar tracción en vehículos eléctricos.
- [3] Norma IEC 62133-2:2017: especifica requerimientos y ensayos para la operación segura de pilas y baterías secundarias de litio o electrolito no ácido.
- [4] “Initial Evaluation of a DC/DC Switch Mode Power Supply”, Application Note, Rodhe&Schwarz
- [5] “Test Methods for DC/DC power modules”, Design Note 027, FLEX, Dec 2017.
- [6] “Switching regulator fundamentals”, Application report, Texas Instruments, Feb. 2029.
- [7] D. Linden y T. B. Reddy, “Handbook of Batteries”, Third Edition, McGraw-Hill, 1995
- [8] “Battery testing guide”, MEGGER, Versión 3, 2009.
- [9] “DC power supply handbook”, Agilent technologies, Application note 90A, 2000.
- [10] Wilson Fwu, “Understanding the Foundations of Quiescent Current in Linear Power Systems”, Texas Instruments, SLYY206, 2021.