



LISN en CD para mediciones EMI conducido en convertidores de potencia de una micro red de CD

Elías José Juan Rodríguez Segura *

Tecnológico Nacional de México / IT de

Celaya,

Celaya, Guanajuato, México

Cecilia del Socorro Gordillo Tapia

Tecnológico Nacional de México / IT de

Celaya,

Celaya, Guanajuato, México

Luis Felipe Martínez Soto

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial,

Querétaro, Querétaro, México

Fernando Fonseca Navarro

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial,

Querétaro, Querétaro, México

* Autor de correspondencia: elias.rodriguez@itcelaya.edu.mx

Resumen: *Se presenta una breve descripción de un esquema básico para la medición de interferencia electromagnética conducida de convertidores de potencia, específicamente se hace hincapié en un equipo indispensable para la medición y que puede ser diseñado e implementado en el laboratorio para realizar pruebas de pre-conformidad a bajo costo en la etapa de diseño de los convertidores de potencia. Se puede obtener resultados satisfactorios con un analizador de espectros o con un osciloscopio con la función de Transformada Rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés).*

Palabras clave: *Convertidor CD-CD, EMI conducido, LISN, micro redes de CD.*

1. Introducción: lo que debemos saber de inicio

A nivel global los temas de cambio climático, energías renovables, sistemas distribuidos de energía, baterías y electromovilidad, por mencionar algunos, han estado revolucionando nuestro entorno al uso de la energía eléctrica, desde su generación, transmisión, conversión y distribución. Un ejemplo sencillo sería un sistema fotovoltaico autónomo, la energía

eléctrica se genera en el sitio por medio de paneles solares, no hay transmisión, se almacena la energía eléctrica de corriente directa en un sistema de baterías mediante un convertidor CD-CD, posteriormente se convierte la energía eléctrica de corriente directa en corriente alterna a través de un convertidor CD-CA o inversor y se distribuye a través de la red eléctrica del hogar.

Con el incremento de cargas electrónicas conectadas a la red eléctrica en los hogares, en los edificios, en la industria y recientemente los vehículos eléctricos, la demanda de energía eléctrica ha crecido considerablemente, por lo que el uso de fuentes de energía alternativa ha alcanzado un grado de maduración que comienza a ser cada día más tangible. Los esfuerzos para incorporar estas fuentes de energía alternativa han generado investigaciones y desarrollos tecnológicos a nivel mundial en sistemas distribuidos tales como micro redes de CA y micro redes de CD, específicamente las micro redes de CD buscan evitar procesos de conversión innecesarios de CD a CA y posteriormente de CA a CD, un ejemplo sería nuevamente un sistema fotovoltaico autónomo, el panel fotovoltaico genera corriente directa y luego se emplea un proceso de conversión de CD a CA para las cargas electrónicas; que cada vez es mayor su número en el hogar, no obstante, las cargas electrónicas operan en corriente directa, por lo que es necesario un proceso de conversión de CA a CD en su interior para alimentar los circuitos electrónicos, es por esta razón, que las micro redes de CD son más eficientes dado que reducen en función de la aplicación los procesos de conversión de CD a CA y de CA a CD.

Con el desarrollo de micro redes de CD se ha incrementado el uso de convertidores CD-CD y con ello la probabilidad de interferencia electromagnética conducida debido al número de convertidores en el bus de CD. Si bien es cierto que, un buen diseño del convertidor CD-CD debe considerar un filtro EMI (por sus siglas en inglés *Electromagnetic Interference*) en su etapa de entrada para evitar contaminar el bus de CD, la etapa de diseño del filtro EMI es un punto importante por considerar para satisfacer los estándares internacionales, dado que el incremento de cargas electrónicas crece exponencialmente por la globalización. Específicamente en Rabbani (2023) menciona que las redes IoT (por sus siglas en inglés *Internet of Things*) son vulnerables a la interferencia electromagnética, la cual puede causar pérdida de comunicación, corrupción de datos y un bajo rendimiento del sistema.

Para el diseño del filtro EMI; considerando previamente un buen diseño de layout, es necesario realizar una medición del EMI conducida, conforme al estándar vigente que permita determinar la inserción de pérdidas correspondiente. Es importante mencionar que también es necesario realizar pruebas de EMI radiada, pero para propósitos de este artículo solo se considera el caso de EMI conducida. Para la medición de la EMI conducida de una fuente, equipo o carga DUT (por sus siglas en inglés *Device Under Test*) es necesario una LISN (por sus siglas en inglés *Line Impedance Stabilization Network*) que nos permita la adquisición de información conforme al estándar. La LISN se puede conectar a un analizador de espectros, un equipo de medición de EMI especializado o un osciloscopio con la función FFT. En la Figura 1 se muestra el esquema de medición de EMI conducido.

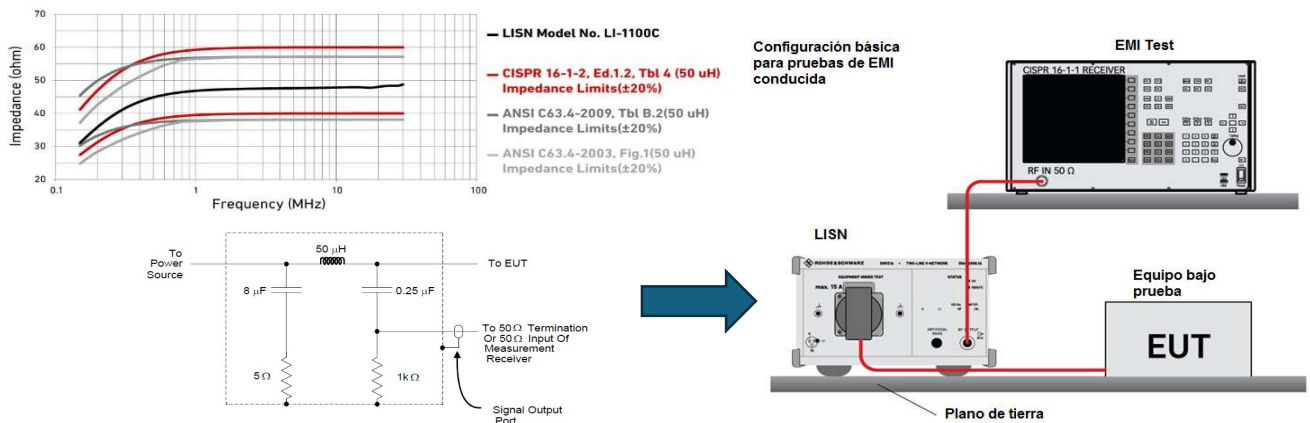


Figura 6. Esquema básico de medición de EMI conducido.

Obtenida de: (Transient Specialists, 2025).

2. Fundamentos Teóricos: reglas y principios científicos importantes

Una LISN es básicamente un filtro pasa bajos para medir líneas de alimentación de CD o CA acorde a los estándares internacionales FCC, CISPR, ANSI y MIL-STD, asegura la repetitividad de las mediciones y no modifica la señal de potencia, específicamente realiza las siguientes funciones:

1. Estabilizar la impedancia vista por el equipo a través del cable de alimentación, es decir, proporcionar una impedancia estable sobre la red eléctrica (50 Ω).
2. Bloquear señales de RF existentes en la red eléctrica para que no lleguen al equipo bajo prueba.

3. Proporcionar un puerto para la medición a través de un analizador de espectros o EMI Test.

En la literatura se reportan tres tipos de LISN: V-, T- y Delta-LISN. La V-LISN mide disturbios de voltaje con pérdida de simetría (*unsymmetric*) entre las dos líneas L1 y tierra o L2 y tierra respectivamente. Las V-LISN también son llamadas en la literatura como V-ANM (Red de línea artificial). Existen dos tipos de V-LISN con diferentes valores de inductancia, las V-LISN con una inductancia de 5 μ H, acorde a los estándares CISPR-16-1-2, CISPR25, ISO7673 y DO160, se emplean en aplicaciones en vehículos, barcos y aviones sobre una alimentación principal de corriente directa o 400 Hz. Las V-LISN con inductancia de 50 μ H son ampliamente usadas en aplicaciones de Red Eléctrica (50 o 60 Hz) acorde a los estándares CISPR 16-1-2, MIL-STD-461 y ANSI C63.4. En la figura 1 se muestra el diagrama eléctrico de una LISN reportada en el estándar MIL-STD y la gráfica de impedancia comparada con otros estándares como ANSI y CISPR.

3. Desarrollo del Trabajo: *aplicando las reglas y principios científicos*

La motivación de diseñar una LISN en CD tuvo por objetivo determinar los niveles de EMI conducida de los convertidores CD-CD, diseñados en el Laboratorio de Energías Renovables del TecNM en Celaya para la micro red de CD, implementada en el edificio del Departamento de Ingeniería Electrónica. Si bien es cierto que las pruebas de EMI conducida se pueden realizar en laboratorios certificados, el servicio de certificación de cumplimiento del estándar vigente es costoso y si se desea realizar pruebas en el laboratorio se requiere acondicionar y comprar equipo especializado, como la LISN y el receptor EMI, los cuales son equipos con un elevado costo. El laboratorio de Energías Renovables del TecNM en Celaya cuenta con un osciloscopio con canal de RF que funciona como analizador de espectros (MDO3024, Tektronix), pero sin el detector Cuasi-pico que lo integra el Receptor EMI. Entonces el diseñar una LISN para realizar las pruebas de EMI conducido nos permiten realizar pruebas en el laboratorio de energías renovables de pre-conformidad del estándar vigente a un bajo costo. Para el diseño de la LISN, primero se debe identificar la aplicación para así determinar el estándar que debe satisfacer. En nuestro caso se seleccionó el estándar CISPR16 para el diseño de la LISN y el banco de pruebas requerido para realizar la medición de EMI

conducido. Posteriormente, se identifican los componentes de la LISN, los cuales deben satisfacer un rango de operación de frecuencia entre 9 kHz y 30 MHz, si bien es cierto que todos los componentes son pasivos, se debe considerar en su adquisición y en su implementación, específicamente el caso de los inductores, su frecuencia de auto-resonancia, es decir, por ejemplo en el caso de un capacitor, la frecuencia de auto-resonancia determina el límite donde el dispositivo deja de comportarse como un capacitor y comienza a comportarse como un inductor. Dado que la LISN va a medir entre un intervalo de 9 kHz a 30 MHz, es necesario que el circuito este protegido de EMI radiada o frecuencias que pudieran alterar la medición en el intervalo de operación, para lo anterior se selecciona un gabinete metálico y solo se consideran las terminales para la fuente de alimentación, las terminales para el DUT o EUT y la terminal BNC. En la figura 2 se muestra la LISN implementada, la cual está sobre un plano de tierra y acoplada con cinta de cobre, se muestra la conexión al osciloscopio con canal RF a través del cable BNC a TNC, se ha colocado un atenuador/limitador de transitorios para evitar dañar el canal RF del osciloscopio, lo anterior se debe considerar en la inserción de pérdidas.

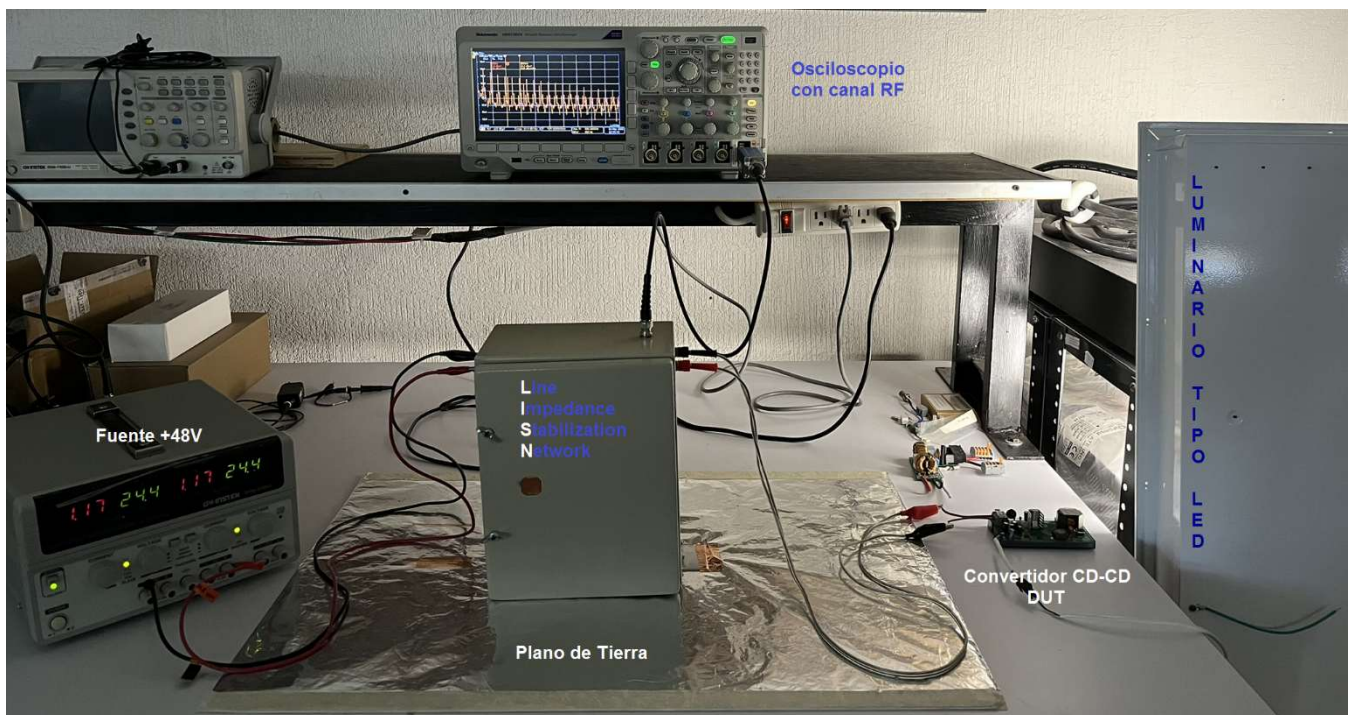


Figura 2. Esquema básico de medición de EMI conducido.

Obtenida de: elaboración propia.

Impacto del proyecto

Existen diversos impactos prácticos o sociales en el desarrollo de una LISN. El primero es del tipo económico, ya que los equipos necesarios para realizar pruebas de emisiones conducidas en laboratorios de certificación pueden costar entre 14 mil USD (*Review*, n.d.), cuando son equipos todo en uno (analizador de espectros integrado con una LISN) y hasta 90 mil USD (*On Sale EMC EMI Test Receiver Models Price New Used*, n.d.), cuando se utilizan receptores EMI sofisticados y una LISN por separado. Adicionalmente, el costo por realizar cada una de estas pruebas puede ser de hasta 500 USD, las cuales deberán repetirse hasta lograr que la luminaria pase la prueba. Por otra parte, si se opta por realizar pruebas durante el proceso de desarrollo del prototipo, o de pre-conformidad, utilizando una LISN de bajo costo, como en este trabajo, en conjunto con un osciloscopio con modo de medición en RF (radiofrecuencia), el costo de inversión se reduce aproximadamente a sólo 7 mil 500 USD, donde prácticamente el 95 % corresponde sólo al costo osciloscopio. De esta forma, se abate en gran medida el costo de inversión para realizar las pruebas, y sólo sería necesario contratar los servicios de un laboratorio de certificación una vez que se han obtenido resultados satisfactorios en las pruebas de pre-conformidad. Inclusive, se pueden evitar si el enfoque del desarrollo es del tipo académico o didáctico.

Otro impacto social de este trabajo es permitir a estudiantes que trabajan en el desarrollo de este tipo de dispositivos, entender la relevancia de aspectos relacionados con el ciclo de desarrollo del producto, necesarios para llevar un dispositivo a su despliegue comercial, como lo son las pruebas de compatibilidad electromagnética.

4. Conclusiones: lo que podemos aprender de este artículo

La interferencia electromagnética conducida y radiada es un problema que nos afecta a todos en todas las áreas de nuestra vida, dado que la mayoría de las cargas que utilizamos son electrónicas y estas están conectadas a diferentes fuentes de energía. La EMI, puede provocar fallas en la operación en los equipos electrónicos industriales, de servicios y domésticos, además en aplicaciones como la electromovilidad y el internet de las cosas, un mal diseño en el filtro EMI de una fuente de alimentación podría llevar a comprometer significativamente el funcionamiento. Para el diseño del filtro EMI es necesario realizar

pruebas de EMI conducido en el convertidor de potencia para identificar la frecuencia o intervalo de frecuencias que no cumplen con los límites del estándar correspondiente.

Este artículo presenta de forma breve el diseño de una LISN para convertidores CD-CD de una micro red de CD conforme al estándar de aplicación CISPR 16 en el rango de frecuencias de 9kHz a 30MHz. La LISN cumple con la curva característica de impedancia.

Para la caracterización de la LISN se empleó un medidor LCR GWInstek 8110G, el cual nos presenta la gráfica de impedancia hasta 10 MHz. Se realizaron pruebas con la LISN a un convertidor CD-CD alimentado de +48 V para una aplicación en luminaria tipo LED. La LISN tiene la capacidad de realizar la medición de EMI conducido para equipos bajo prueba (DUT o EUT) hasta un voltaje de alimentación de +380 V con una corriente máxima de 10 A.

5. Referencias: *por si quieres seguir conociendo más*

Amjadifard, R., Tavakoli-Bina, M., Khaloozadeh, H. and Bagheroskouei, F. (2021). Proposing an Improved DC LISN for Measuring Conducted EMI Noise, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 63 (3), 752-761, doi: 10.1109/TEM.2020.3025459.

Khilnani, A., Wan, L., Sumner, M., Thomas, D., Hamid, A. and Grassi, F. (14-16 July 2021). Conducted Emissions Measurements in DC Grids: Issues in Applying Existing LISN Topologies and Possible Solutions. *IEEE 15th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering*, Florence, Italy.

Lu, X., HU, B., and Su, D. (19-26 August 2023). Design of a Low-Cost High-Current LISN for EMC Test. URSIGASS, Sapporo, Japan.

On Sale EMC EMI Test Receiver Models Price New Used. (n.d.). Recuperado el 5 de junio de 2025 de <https://www.aaatesters.com/Electrical/EMC/emi-receivers.html>

Rabbani, Raza. (09 de diciembre de 2023). The Impact of EMI on Internet of Things (IoT) Networks: Evaluating Solutions with EMI Test Receivers. [https://www.lisungroup.com/news/technology-news/the-impact-of-emi-on-internet-of-things-iot-networks-evaluating-solutions-with-emi-test-receivers.html#:~:text=Interference%20from%20electromagnetic%20fields%20\(EMI\)%20is%20a%20major%20hindrance%20to,results%20of%20EMI%20test%20receivers.](https://www.lisungroup.com/news/technology-news/the-impact-of-emi-on-internet-of-things-iot-networks-evaluating-solutions-with-emi-test-receivers.html#:~:text=Interference%20from%20electromagnetic%20fields%20(EMI)%20is%20a%20major%20hindrance%20to,results%20of%20EMI%20test%20receivers.)

Review: EMZER's EMScope Analyzes Conducted and Modal (DM/CM) Emissions | Signal Integrity Journal. (n.d.). Recuperado el 5 de junio de 2025 de <https://www.signalintegrityjournal.com/blogs/17-practical-emc/post/3096-review-emzers-emscope-analyzes-conducted-and-modal-dm-cm-emissions>

Transient Specialists. (17 de febrero de 2025). What are Line Impedance Stabilization Networks (LISNs)?.<https://transientspecialists.com/blogs/blog/line-impedance-stabilization-networks-lisns-what-are-they>