

Recomendaciones para el diseño electrónico profesional a prueba de interferencias electromagnéticas.

Recommendations for professional electronic design, electromagnetic interference proof.

Ing. Luis Antonio Chica Castro ^{1*}, Ing. Hugo Ernesto Solís Ferrer ²

1.* Magíster en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Email: luis.chicac@ug.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1560-5147>

2. Magister en Sistemas Integrados de Gestión, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Email: hugo.solisf@ug.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7197-8319>

Destinatario: luis.chicac@ug.edu.ec

Recibido: 02/Abril/2021

Aceptado: 06/Mayo/2021

Publicado: 30/Junio/2021

Como citar: Chica Castro, L. A., & Solís Ferrer, H. E. (2021). Recomendaciones para el diseño electrónico profesional a prueba de interferencias electromagnéticas. E-IDEA 4.0 Revista Multidisciplinaria 3 (7), pp 1-12. <https://doi.org/10.53734/mj.vol3.id164>.

Resumen: Los dispositivos electrónicos están sujetos a las interferencias eléctricas del medioambiente, en la electrónica se le conoce a este fenómeno como ruido eléctrico; los fabricantes de circuitos electrónicos toman medidas de manufacturación para evitar el ruido eléctrico, sin embargo, no están exentos en su totalidad. Un mal diseño electrónico puede generar una alta sensibilidad a señales electromagnéticas externas o ser una generador de estas últimas, esto trae consigo que el sistema diseñado funcione erráticamente aun cuando visual e individualmente, cada parte del sistema se encuentre bien, por esta razón es importante que todo profesional electrónico o de especialidad a fin, conozca las buenas prácticas de diseño que permiten crear sistemas electrónicos confiables, minimizando el ruido electrónico, esto se consigue, aplicando condensadores de bypass y de desacoplo, implementando filtros EMI para reducir el ruido eléctrico en fuentes de alimentación, y aplicando las normas IEC pertinentes con sus debidas recomendaciones.

Palabras Clave: Diseño, normas IEC, EMI, bypass, ruido eléctrico.

Abstract: Electronic devices are subject to electrical interference from the environment, in electronics this phenomenon is known as electrical noise; Electronic circuit manufacturers take manufacturing steps to prevent electrical noise, however, they are not entirely exempt. A bad electronic design can generate a high sensitivity to external electromagnetic signals or be a generator of the latter, this means that the designed system works erratically even when visually and individually, each part of the system is fine, for this reason it is important that all electronic or specialty professionals to end, know the good design practices that allow creating reliable electronic systems, minimizing electronic noise, this is achieved, applying bypass and decoupling capacitors, implementing EMI filters to reduce electrical noise in power supplies, and applying the pertinent IEC standards with their due recommendations.

Keywords: Design, IEC standards, EMI, bypass, electrical noise.

INTRODUCCIÓN

Por medio de la revisión bibliográfica se busca agrupar una serie de prácticas que permiten al profesional electrónico diseñar productos inmunes al ruido eléctrico, también conocido como interferencias electromagnéticas, este problema en caso de ser subestimado podría generar errores críticos de funcionamiento en los equipos diseñados. Se filtran además las normativas internacionales que permiten validar y verificar un producto en términos de Compatibilidad Electromagnética (EMC), es decir, las normas IEC que además son parte de los procesos de verificación y auditoría para comercializar productos electrónicos a nivel local e internacional, estas normas son desglosadas, clasificadas y explicadas en el presente artículo.

Las fuentes de alimentación hacen parte integral de la mayoría de circuitos electrónicos, por lo tanto, es un aspecto no menor, las fuentes de alimentación conmutadas son generadoras de armónicos y de señales con perturbación electromagnética, para evitar estos problemas se pueden utilizar los filtros EMI para minimizar o eliminar estos problemas.

Los condensadores son una herramienta extraordinaria para el filtraje de señales electromagnéticas indeseadas y para anular las fluctuaciones momentáneas de una fuente de alimentación, en este artículo se explica cómo utilizar correctamente los condensadores de bypass y desacoplo para mitigar las interferencias electromagnéticas.

METODOLOGÍA

La metodología usada para la realización de este trabajo está basada en las técnicas de documentación bibliográfica. La revisión bibliográfica constituye una etapa esencial en el desarrollo de un trabajo científico y académico, implica consultar distintas fuentes de información (catálogos, bases de datos, buscadores, repositorios, etc.) y recuperar documentos en distintos formatos (Martín y La fuente, 2017)

A partir de esa revisión bibliográfica, el investigador va construyendo el marco teórico, documentando antecedentes y elaborando la bibliografía que se incluye al final de un trabajo científico o académico (Martín y La fuente, 2017). Los objetivos de esta investigación están orientados en agrupar las prácticas de diseño que permiten al profesional electrónico crear diseños confiables que minimicen el ruido eléctrico.

RESULTADOS

Ruido eléctrico o interferencia electromagnética (EMI)

La interferencia electromagnética según Sanromán (2021) puede afectar de manera negativa al funcionamiento de los circuitos. Por otro lado, el uso de los circuitos integrados y la tendencia de que cada vez se reduzca más su tamaño, aumenta la posibilidad de que se produzcan estas interferencias. Cualquier ambiente industrial tiene ruidos eléctricos en fuentes, incluyendo líneas de energía AC, señales de radio y máquinas. (Morán, 2021)). Las interferencias de radio eléctrico están presentes tanto en ambientes industriales como domésticos.

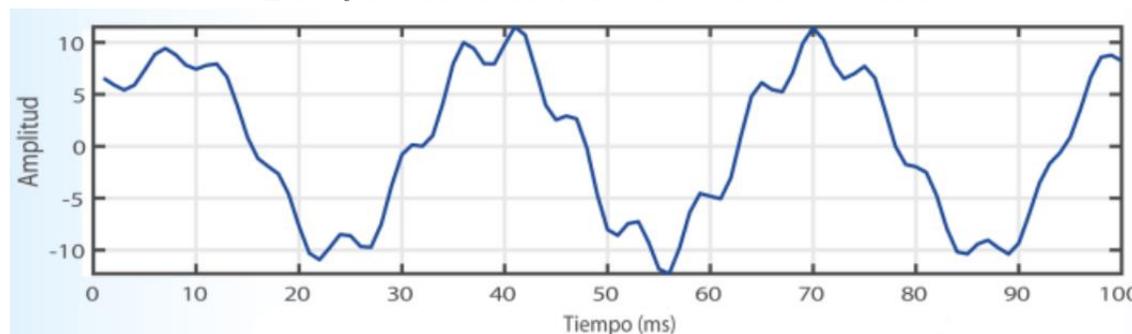
Armónicos eléctricos

Los armónicos eléctricos son perturbaciones que modifican la naturaleza de señal del voltaje y de la corriente, por lo tanto, pueden acarrear problemas de funcionamiento en equipos eléctricos o electrónicos.

Según (Inga-Ortega y Vásquez, 2022), las razones para que se produzcan armónicos son varias, entre las más frecuentes están las originadas por los equipos electrónicos que consumen energía eléctrica de una forma no lineal, es decir, de una forma no continua en el tiempo. Los armónicos en la demanda introducen fluctuaciones, caídas de tensión, desequilibrios en la red conduciendo a posibles daños y fallos de energía, en la figura 1 se observa la señal de voltaje afectada por armónicos, la señal originalmente era sinusoidal,

Figura 1

Localización de distorsión armónica en una señal eléctrica



Fuente: (Inga-Ortega y Vásquez, 2022)

Fuentes de alimentación electrónica

Casi todos los circuitos eléctricos requieren alimentación de CD para su operación a partir de una alimentación de CA, cierta combinación de filtros rectificadores se encuentra en la mayoría de

los equipos electrónicos (Padrón-Godínez et al 2019) Existen dos tipos de fuentes de alimentación, las lineales y conmutadas.

Fuentes conmutadas

Una fuente conmutada es un dispositivo usado para entregar energía a equipos eléctricos con un rango controlado de voltajes de salida para dicha alimentación. La entrega de energía se hace a través de circuitos que emplean transistores de potencia, trabajando en conmutación a altas frecuencias (Sánchez-Gómez y Cabrera-Munguía, 2019). La operación de conmutación del transistor MOSFET que emplean introduce ruido de alta frecuencia en la salida, y, por tanto, para aplicaciones que sean sensibles al ruido, las fuentes lineales, las cuales presentan muy poco ruido a la salida, son una mejor opción (López, 2020).

Filtro de supresión EMI (interferencia electromagnética)

Una de las formas más eficientes de eliminar los armónicos eléctricos provocados por una fuente de alimentación conmutada es por medio de un filtro EMI, según (Santamaría, 2019) un filtro EMI es un dispositivo que es una combinación de un inductor, un resistor y capacitores que crean una topología de filtro que puede suprimir una banda de frecuencias de las señales en un circuito. Estos filtros deben ser conectados entre la entrada AC de la fuente y la toma de corriente AC.

Condensador de bypass

Los condensadores de bypass tienen la finalidad de almacenar energía y liberarla en el momento que la fuente de alimentación sufra un bajón de corriente, en ese momento el bypass libera su energía al dispositivo y evita que funcione erráticamente por problemas de alimentación, estos condensadores deben estar conectados físicamente lo más cercano posible al pin de alimentación, esto evita pérdidas de energías a casusa de la resistividad de las pistas o cables de conexión, los valores comunes de este condensador oscilan entre los 1uf a 10uf. Gusano (2020) asegura que, son una solución a las fluctuaciones de corriente de la fuente de alimentación y para minimizar el ruido generado por la conmutación de las salidas del dispositivo.

Condensador de desacoplo

Estos condensadores se utilizan para filtrar señales inalámbricas del medio ambiente, como señales de radio, tv, Wi-Fi, entre otras y cuyas cuales, son de naturaleza alterna, estos condensadores se utilizan principalmente en la electrónica digital, Díaz (2021) establece que los condensadores de desacoplo deben estar situados lo más cerca posible del componente al que se conectan para protegerlo. Los valores comunes de faradios de los condensadores de desacoplo van desde 1nF a 22nF, siempre conectados de un extremo a GND. Para entender el funcionamiento y la utilidad de los condensadores de desacoplo es necesario recordar la fórmula de reactancia

capacitiva, es decir la fórmula que gobierna los condensadores cuando por su interior circula corriente alterna, la cual es:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$$

Donde:

X_C : Reactancia capacitiva

f : Frecuencia de la señal alterna

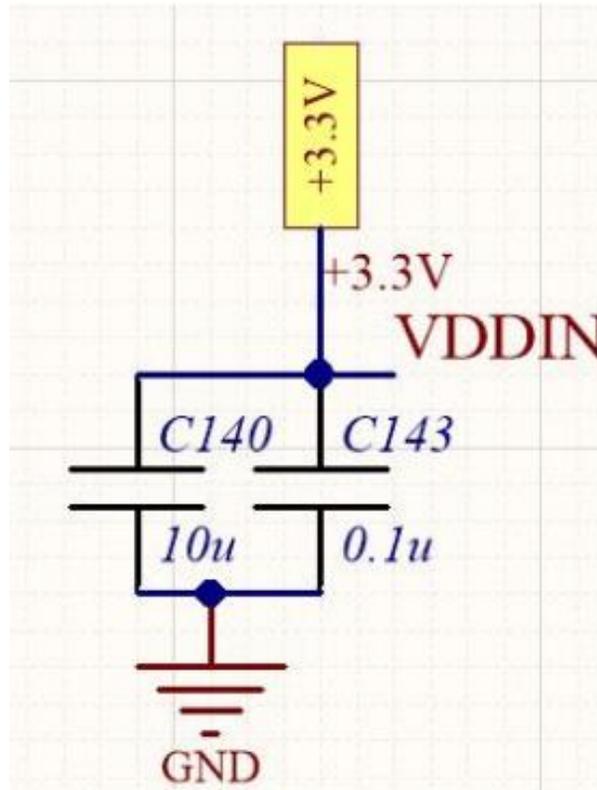
c : Capacitancia

Si por ejemplo suponemos que el valor de frecuencia es igual a la señal de un wifi la cual es 2.4Ghz y el valor de capacitancia es de 22nF tendríamos el siguiente resultado:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2,4\text{Ghz} \cdot 22\text{nF}} = \mathbf{0,00301\Omega}$$

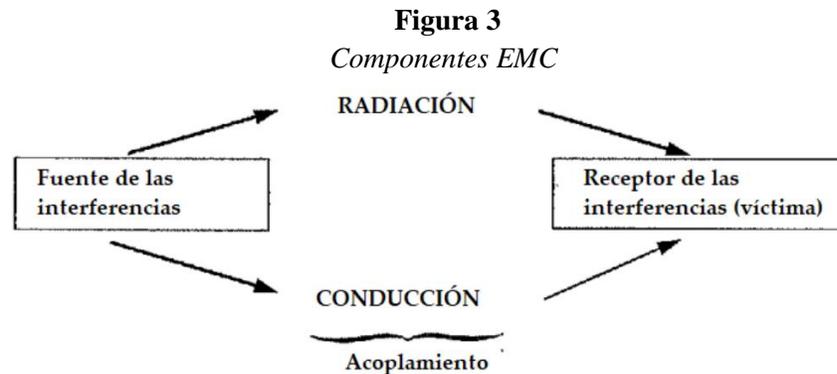
Del resultado anterior podemos deducir que el valor equivalente de resistencia es cercano a cero, por ende, el condensador en cuestión se comporta como un cable al momento de circular por su interior una señal de frecuencia de red Wi-Fi a 2.4Ghz, es decir, el ruido eléctrico circulara a GND evitando que se introduzca en el dispositivo, este tipo de conexión de condensadores de desacoplo es común de ver en los cristales de cuarzo utilizados en los microcontroladores.

En la figura 2 se visualiza el conexionamiento de un condensador bypass de 10uF en conjunto con un condensador de desacoplo de 0.1uf.

Figura 2.
Filtros de bypass y desacoplo

Fuente: (Gusano, 2020)

Compatibilidad Electromagnética (EMC)

Según (Echandi, 2021) es un concepto que evalúa la influencia de diferentes dispositivos electrónicos entre sí y que funcionen sin interferir entre ellos. Todos los circuitos electrónicos tienen la capacidad de emitir interferencias eléctricas no deseadas, lo que podría causar problemas para el mismo u otros de los circuitos. Sanromán (2021) estipula que la compatibilidad electromagnética (EMC) es la capacidad de un sistema electrónico para funcionar correctamente en el entorno electromagnético previsto y además no ser una fuente de contaminación para el mismo. En la figura 3 se observan los componentes principales del entorno electromagnético.



Fuente: (Cabrero, 2020)

El objetivo de la compatibilidad electromagnética es garantizar la convivencia de equipos electrónicos sin causar interferencias innecesarias, para esto se analizan los equipos bajo dos premisas, las emisiones y la inmunidad, los cuales se describen a continuación:

- Emisores: Generación de energía electromagnética no deseada que puede influir negativamente en el comportamiento de otros equipos electrónicos aledaños como en sí mismo.
- Inmunidad: Se define como la sensibilidad de un equipo a las señales electromagnéticas que pudieran afectar su correcto funcionamiento.

Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)

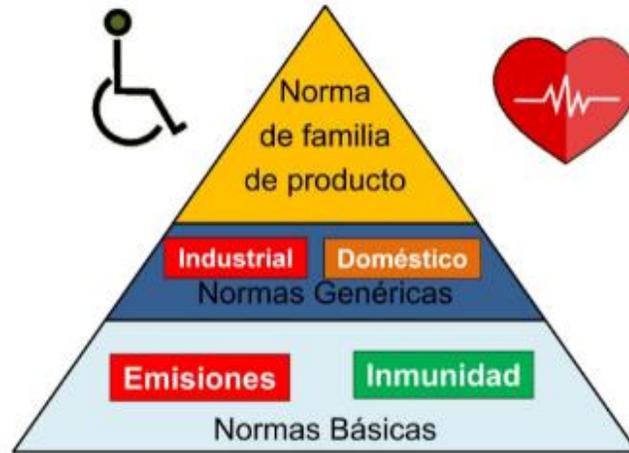
Por su parte Guevara y Zuleta (2019) define a la IEC como una organización líder mundial que prepara y publica normas internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas. Dentro de las normativas IEC existen algunas relacionadas con la Compatibilidad Electromagnética (EMC), las cuales se definen como normas IEC para EMC.

Normas IEC para EMC

Las normas IEC para EMC o conjunto de normas, pueden ser de producto, familias de productos, genéricas o básicas. Como su nombre lo indica las normas de producto o familia de producto establecen los ensayos aplicables a un tipo de producto EE-Electro Electrónico en concreto (Laverde, 2021). En la figura 4 se puede observar la pirámide de clasificación de las normas IEC para EMC.

Figura 4

Clasificación de las normas IEC para EMC.



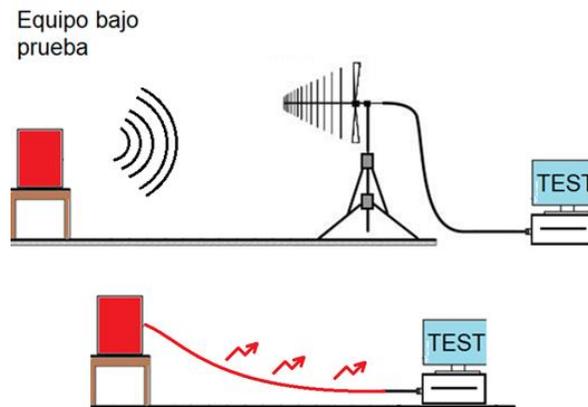
Fuente: (Laverde, 2021)

Normas básicas de IEC para EMC

Estas normas aplican análisis de prueba que aseguren que el equipo electrónico en cuestión no emita señales de interferencia electromagnética y a su vez, que tenga inmunidad a las mismas. Contemplan el análisis desde emisiones radiadas como conducidas, como se observa en la figura 5. Como ejemplo de una norma básica se tiene a la IEC 61000 Compatibilidad electromagnética (CEM) y la norma CISPR 11: perturbaciones equipo industrial científico y médico. Análisis de perturbaciones radiadas y conducidas

Figura 5

Análisis de perturbaciones radiadas y conducidas.



Fuente: (Laverde, 2021)

Normas genéricas de IEC para EMC

Estas normas contemplan el análisis de dispositivos electrónicos según el entorno en el que será usado, es decir, si será usada en entornos industriales o en entornos de uso domésticos. Algunos ejemplos de normas genéricas de IEC para EMC son las IEC 61000-6-4 e IEC 61000-6-3 que abarcan la emisión de señales electromagnéticas en entornos industriales y domésticos, respectivamente.

Normas de producto o familia de productos de IEC para EMC

Estas normas son el pico más alto de la pirámide de clasificación de las normas IEC para EMC (ver figura 4), en este punto se debe investigar si existe una norma específica para un producto que se está diseñando, en caso que no exista se debe revisar en la familia de productos, es decir en normas que abarquen un número determinado de productos. Un ejemplo de norma IEC para EMC de familia de productos es la norma IEC 60601-1-2 que analiza el equipo electro médico, específicamente en requisitos de seguridad norma colateral, compatibilidad electromagnética y por último los ensayos.

Proceso óptimo para la aplicación de las normas IEC para EMC

Para aplicar las normas IEC de la mejor forma posible es necesario aplicar una serie de pasos que se describen a continuación:

1. Identificar las normas: El primer paso es verificar la existencia de una norma de producto, en caso de no existir se debe buscar una norma de familia de producto, si esta última tampoco existe se deberá utilizar una norma genérica, ya sea para uso doméstico o industrial.
2. Diseñar acorde a las normas: El diseño electrónico a realizar debe ir acorde con las normas identificadas. Ensayos de preevaluación: Se debe seguir las instrucciones de ensayo de las normas para verificar que cumplen con las normativas de la misma.
3. Ensayos de certificación de conformidad internacional: Por último se solicita una revisión al ente encargado del país de residencia, como por ejemplo AENOR en España, FCC en EEUU, DGN Dirección General de normalización en México, o ICONTEC en Colombia (Laverde, 2021)

CONCLUSIONES

Se concluye que el diseño electrónico debe considerar, mitigar y/o eliminar los problemas derivados de las interferencias electromagnéticas, en caso de no hacerlo se presentarían errores no deseados en el comportamiento del equipo o sistema, además que no podrá superar las evaluaciones

de las normas IEC para EMC, por ende, el diseño en cuestión será inútil dado que no podría ser comercializado de manera local ni internacional.

La aplicación de las normas IEC para EMC constituyen una inversión de tiempo y de dinero debido a la puesta en marcha de los ensayos que incorporan en su documentación, sin embargo, es algo absolutamente necesario por las razones expuestas anteriormente, por ende, uno de los principales aspectos a tomar en cualquier nuevo proyecto electrónico a realizar para su comercialización, es la solución de los problemas de ruido eléctrico, en caso contrario el proyecto se topa con contratiempos y problemas evitables.

Las normas IEC para EMC no es la única norma a cumplir para poder lograr la comercialización de un diseño electrónico, pero constituye una parte importante en el desarrollo técnico y científico que no debe ser menospreciado ni evitado.

Se puede concluir además, que no existe un manual o norma universal para mitigar la interferencia electromagnética en todos los equipos electrónicos, es por esta razón que las normas IEC para EMC estipulan como primer paso la revisión de una norma específica para el producto que se piensa diseñar, de no existir se procede a buscar una norma de familia que incluya dicho producto, si esto también falla se procede entonces a aplicar las normas genéricas según sea el caso de un producto industrial o de uso doméstico.

Las normas IEC par EMC son importantes, sin embargo, en entornos educativos, didácticos o no comerciales, su implementación es inviable, no obstante, es importante el conocimiento de las mismas; en estos casos se pueden seguir una seria de recomendaciones para mitigar las interferencias electromagnéticas las cuales son: utilizar filtros EMI en las fuentes conmutadas, y la implementación de filtros bypass y de desacoplo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabrero, M. (2020). Protocolo de emisiones de campo magnético para automoción según normativa EMC. Trabajo especial de grado de la Universidad de Vigo.
- Díaz, A. (2021). Diseño de un sistema electrónico mediante FPGA para la simulación de videojuegos. España: Trabajo especial de grado de la Universidad de Valladolid.
- Echandi, A. (2021). Estudio y caracterización de ensayos de compatibilidad electromagnética centrado en el ámbito de la automoción. Trabajo especial de grado de la Universidad Pública de Navarra.
- Guevara, G., & Zuleta, J. (2019). Protocolos de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética en el entorno hospitalario de la Fundación Valle del Lili . Colombia: Trabajo especial de grado de la Universidad Autónoma de Occidente.
- Gusano, A. (2020). Diseño e implementación del circuito de control de una máquina de fabricación aditiva . España: Trabajo especial de grado de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- Inga-Ortega, E., & Vásquez, L. (2022). Localización de Distorsiones Armónicas en Sistemas Eléctricos usando Sensado Comprimido. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 24(1) .
- Laverde, A. (2021). Norma IEC para EMC Compatibilidad Electromagnética de Equipos, Aparatos y Dispositivos Electrónicos. Recuperado el 22 de Enero de 2022, de <https://www.aldestatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/norma-iec-para-emc/>
- López, A. (2020). Diseño y desarrollo de una fuente de alimentación para laboratorio , de tensión y corriente ajustables (0-20V- 0-1A), para su uso en el diseño de prototipos. España: Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Valenci.
- Martín, S., & Lafuente, V. (2017). Referencias bibliográficas: indicadores para su evaluación en trabajos científicos. *Investigación bibliotecológica*, 31(71) , 151-180.
- Morán, C. (2021). Sistema eléctrico en radiobases celulares con medidas de mimetización en base a norma ISO 14001: 2004. Ecuador: Trabajo especial de grado de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Padrón-Godínez, A., Prieto, R., Calva, G., & Treviño-Palacios, C. (2019). Sistemas Rectificadores de Señales mediante Diodos Ópticos y Electrónicos. In *Memorias: SOMI XXXIV, Congreso de Instrumentación 6* .



- Sánchez-Gómez, A., & Cabrera-Munguía, R. (2019). Análisis de contenido armónico de una fuente conmutada CD-CD. México: Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.
- Sanromán, V. (2021). Compatibilidad electromagnética. España: Tesis Doctoral de la Universidad de Vigo.
- Santamaría, J. (2019). Desarrollo de dos sistemas de amplificación basados en fuentes conmutadas y amplificadores clase D utilizando un enlace inalámbrico para la transmisión de audio . Trabajo especial de grado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.