

Normas para diseño y manufactura de productos electrónicos

ANDRÉ GIOVANNY LAVERDE GUTIÉRREZ*

La industria electrónica es un dinamizador de grandes sectores como el automotriz, médico, militar, aeroespacial, agrícola, de consumo y comunicaciones, con un mercado global que supera los 4 billones de dólares y un crecimiento anual sostenido, generando miles de empleos y oportunidades de desarrollo.

Actualmente, el hardware impulsa tecnologías clave de la cuarta revolución industrial como la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y la automatización avanzada.

En Colombia, la industria electrónica se encuentra en etapa de consolidación en diseño y manufactura, y comienza a dar sus primeros pasos en la exportación de diseño de semiconductores. Este avance requiere superar retos estructurales, entre ellos la adopción de normas y estándares internacionales, la certificación de procesos y productos, y la formación de talento humano especializado.

Solo así podrá insertarse en los mercados globales y aprovechar iniciativas como el proyecto de ley para el fomento de la industria electrónica y de semiconductores, que actualmente cursa en el Congreso de la República.

En un mundo donde la tecnología avanza a un ritmo vertiginoso, las normas internacionales se han convertido en el lenguaje común que aportan al Ingeniero los conocimientos, buenas prácticas y competencias en su trabajo de diseño y manufactura electrónica, también garantizan la calidad, seguridad y confiabilidad de los productos electrónicos.



Adoptarlas no es solo una exigencia técnica, sino una estrategia de competitividad que permite a las empresas integrarse en cadenas globales de valor, acceder a nuevos mercados y fortalecer la confianza de los clientes.

La importancia de las normas en electrónica

Una norma es un documento técnico elaborado en conjunto por empresarios, investigadores, científicos, expertos de la industria, y adoptado por entidades nacionales e internacionales. Se puede clasificar de manera práctica en normas para personas y para productos:

- Normas para personas: Estas definen prácticas, requisitos, métodos, lineamientos y calidad que deben cumplir los colaboradores que trabajan en diseño, manufactura, inspección de calidad, reparación, cuya competencia es certificada con esas mismas normas.
- Normas para productos: Definen los requerimientos, ensayos, instrumentos de medición, niveles de conformidad, para que los productos y procesos puedan cumplir con los niveles de calidad, seguridad y desempeño esperados por los mercados globales.

En la industria electrónica, la estandarización avanza dinámicamente, adaptándose a productos y procesos cada vez más complejos. Gracias a las normas, los diseñadores y fabricantes pueden hablar un mismo lenguaje técnico, reducir costos, evitar errores y fortalecer la interoperabilidad de los sistemas.



Principales normas aplicables a la industria electrónica

Las normas más relevantes para el diseño y la manufactura de productos electrónicos incluyen:

- Normas ISO (International Organization for Standardization)¹: orientadas a la normalización y certificación de procesos.
- Normas IEC (International Electrotechnical Commission)²: enfocadas en la normalización, ensayos y certificación de productos eléctricos y electrónicos.
- Normas IPC, ahora Global Electronics Association³: aplicables para tarjetas de circuito impreso o PCB (Printed Circuit Board), ensamblajes electrónicos y certificación de personas.

Aunque no son normas propiamente dichas, es importante mencionar las directivas RoHS (Restriction of Hazardous Substances) y REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) son acuerdos internacionales para sustancias peligrosas.

El lenguaje universal de la calidad: normas ISO

Las normas ISO son el pilar de la gestión de la calidad y la mejora continua. Están diseñadas para asegurar que los procesos internos de una organización, desde el diseño hasta la manufactura, sigan metodologías documentadas, medibles y verificables. Entre las más relevantes se destacan:

- ISO 9001: norma general de gestión de la calidad, aplicable a todo tipo de organización.
- ISO 13485: específica para empresas que fabrican equipos biomédicos y de salud.
- AS9100: centrada en empresas de los sectores defensa, aeronáutico y espacial.

Cada una de ellas busca certificar que los procesos de la empresa, ya sean de diseño de hardware, Diseño de PCB, firmware, software, fabricación, ensamble, o manufactura electrónica, estén alineados con las mejores prácticas y requisitos del mercado.

Cuando una compañía certifica sus procesos en una norma ISO, no solo mejora su control interno, sino que también fortalece su reputación y su capacidad de entrada a cadenas internacionales de suministro.

Garantizar seguridad y desempeño: normas IEC

Las normas IEC son el marco técnico que regula la seguridad, calidad e interoperabilidad de los productos eléctricos y electrónicos.

Adoptadas y adaptadas por organismos nacionales, como el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) en Colombia, son fundamentales para acceder a mercados internacionales o cumplir con las regulaciones locales de cada país.

1 <http://www.iso.org/>

2 <https://iec.ch/>

3 <https://www.electronics.org/>

“ En Colombia, la industria electrónica se encuentra en etapa de consolidación en diseño y manufactura, y comienza a dar sus primeros pasos en la exportación de diseño de semiconductores.”

Definen desde los requisitos de marcado y documentación hasta los ensayos eléctricos, térmicos y mecánicos que garantizan la seguridad de los usuarios y la confiabilidad de los productos.

Entre las más importantes destacan:

- IEC 60601-1: seguridad eléctrica para equipos biomédicos.
- IEC 62368-1: aplicable a equipos de IoT, video, información, comunicaciones y electrodomésticos inteligentes.
- IEC 60598-1: para luminarias y sistemas de iluminación LED.
- IEC 61010-1: para equipos de medición, control y laboratorio.

Por ejemplo, en el caso de los equipos médicos, los ensayos de seguridad eléctrica garantizan que los usuarios o pacientes no estén expuestos a choques eléctricos. En Colombia, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) exige la aplicación de estas pruebas junto con Ensayos de Compatibilidad Electromagnética (EMC).

Cuando un país adopta oficialmente una norma IEC, esta se identifica con el prefijo de su organismo nacional de normalización. Así, por ejemplo, la NTC-IEC 60601 corresponde a la adaptación colombiana de la norma internacional, mientras que UNE-IEC 60601 es la versión española y UL-IEC 60601 la certificación emitida por laboratorios estadounidenses reconocidos.

Compatibilidad electromagnética: normas IEC/CISPR/NTC

En la era de los dispositivos conectados, la compatibilidad electromagnética (EMC) se ha convertido en un aspecto esencial del diseño y certificación de productos electrónicos.

Las normas de la serie IEC, CISPR y sus equivalentes NTC (en Colombia) garantizan que la radiación electromagnética o interferencia generada (EMI-Electromagnetic Interference) por un equipo electrónico, permanezca dentro de límites permitidos y no afecte a otros equipos, y que el propio equipo pueda operar de forma estable frente a las perturbaciones electromagnéticas externas presentes en su ambiente.

A continuación, se presentan las normas más relevantes en este ámbito, divididas según el tipo de ensayo.

Normas y ensayos de Emisión Electromagnética

Determinan los límites de la radiación o emisión electromagnética, que puede generar un equipo. Algunas de las más usadas son:

- CISPR 11 - radiofrecuencia radiada y conducida para equipo industrial, científico y médico (ISM).
- CISPR 32 - radiofrecuencia radiada y conducida para equipo multimedia.
- CISPR 14 emisión límites y métodos para aplicaciones caseras.
- IEC 61000-3-2 - corrientes armónicas.
- IEC 61000-3-3 – parpadeo, fluctuaciones y flickers.
- IEC 61000-6-3 - límites residenciales.
- IEC 61000-6-4 - límites industriales.
- FCC Parte 15 - radiofrecuencia radiada y conducida para Dispositivos de RF o radiofrecuencia.
- FCC Parte 18 - radiofrecuencia radiada y conducida (ISM).



Normas y ensayos de Inmunidad Electromagnética

Las normas de inmunidad o susceptibilidad establecen los métodos y niveles de prueba para garantizar que los equipos puedan resistir o tolerar perturbaciones electromagnéticas externas (EMI):

- IEC 61000-4-2 - descarga electrostática (ESD).
- IEC 61000-4-3 - radiación de radiofrecuencia (RF), campo lejano.
- IEC 61000-4-4 – ráfagas.
- IEC 61000-4-5 - sobretensión de red.
- IEC 61000-4-6 - conducción de RF.
- IEC 61000-4-8 - campo magnético.
- IEC 61000-4-11 - caídas de tensión en CA.
- IEC 61000-4-39 - radiación de RF, campo cercano.
- IEC 61000-6-1 - niveles de prueba residenciales.
- IEC 61000-6-2 - niveles de prueba industriales.

Los productos electrónicos deben ser llevados a laboratorios acreditados internacionalmente, donde se realizan los ensayos del listado anterior según su tipo, uso y entorno de aplicación. Una vez se verifican las mediciones y el cumplimiento de los límites, los laboratorios emiten un certificado de conformidad que respalda el desempeño electromagnético del producto.

Cumplir con estas normas es requisito indispensable para la comercialización internacional y para cumplir las exigencias de los organismos regulatorios.

Excelencia en diseño y manufactura: normas IPC

Las normas IPC, gestionadas por la Global Electronics Association, son el estándar mundial en el diseño y manufactura electrónica. Son un conjunto de reglas, criterios, líneas guía, y características de procedimientos para productos y procesos, desarrollados por expertos de la industria electrónica, que ayudan a los diseñadores y fabricantes a seguir buenas prácticas de diseño, producción y control de calidad en productos electrónicos.

Su adopción y certificación permite que diseñadores, fabricantes, clientes y proveedores hablen el mismo lenguaje técnico, reduzcan errores, optimicen costos y aumenten la confiabilidad de los productos. Además, las normas IPC siguen los lineamientos del American National Standards Institute (ANSI), lo que refuerza su reconocimiento global.

Las normas IPC se dividen en dos: normas para diseño de tarjetas electrónicas PCB y normas para manufactura electrónica.

Normas IPC para diseño de circuitos impresos (PCB)

Las normas IPC orientadas al diseño de tarjetas electrónicas establecen las especificaciones que deben seguir los Ingenieros al diseñar placas de circuito impreso (Printed Circuit Boards – PCB), garantizando su funcionalidad, durabilidad y facilidad de manufactura.

Entre las más utilizadas se encuentran:

- IPC 2221B: estándar genérico para el diseño de PCB.
- IPC 2222B: diseño de PCB rígidas.
- IPC 2223D: diseño de PCB flexibles.
- IPC 2228B: diseño de alta densidad (HDI).
- IPC 7351: diseño de montaje superficial SMT.
- IPC 2251: diseño de alta velocidad.
- IPC D-325 y familia IPC 2611-15: documentación técnica y especificaciones.
- IPC 2231A: diseño para la excelencia (Design for Excellence).

“ Las normas internacionales se han convertido en el lenguaje común que aportan al Ingeniero los conocimientos, buenas prácticas y competencias en su trabajo de diseño y manufactura electrónica ”

A partir de estas normas, los profesionales pueden certificarse en programas internacionales reconocidos, tales como:

- CID (Certified Interconnect Designer), para diseñadores de PCB.
- CID+ (Advanced Certified Interconnect Designer), para diseñadores avanzados de PCB.

Estas certificaciones garantizan la competencia técnica del personal involucrado en el diseño de tarjetas electrónicas y facilitan la colaboración con empresas internacionales que exigen estándares IPC en sus procesos.

Normas IPC para manufactura electrónica

En el campo de la manufactura y ensamble electrónico, las normas IPC establecen los criterios de aceptación visual, calidad del ensamble y control de los procesos de soldadura, cables y arneses. Son la referencia global más usada por ensambladores, fabricantes y técnicos de mantenimiento.

Entre las más relevantes se destacan:

- IPC 610 para la aceptación de soldadura y ensamble electrónico. Norma de calidad de manufactura más usado en el mundo.
- IPC 620 de requerimientos y aceptación de cables y arneses. Aplicable a la manufactura de arneses de tipo industrial, aeronáutico, espacial, automotriz.

- IPC 7711/21 reparación, retrabajo, modificación de PCB y ensambles. Son los manuales guía de reparación y reemplazo, con el impacto mínimo en la calidad y la confiabilidad del producto.
- IPC J-STD-001 requerimientos para soldaduras electrónicas.

Estas normas también certifican a las personas que intervienen en los procesos de diseño, ensamble, inspección o reparación. Los profesionales, inspectores, auditores, operarios, expertos que trabajan en diseño, fabricación, ensamble, soldadura o reparación, pueden obtener certificaciones como CIS (Certified IPC Specialist), garantizando que todos trabajen bajo los mismos estándares de calidad global.

Otras normas y buenas prácticas para la manufactura electrónica

Además de las normas de diseño y ensamble, existen estándares complementarios que fortalecen la confiabilidad, durabilidad y sostenibilidad de los productos electrónicos. Entre las más destacadas se encuentran:

- IPC-CC-830: selección y aplicación de recubrimientos conformales (conformal coating), indispensables en industrias que requieren proteger los ensambles electrónicos frente a humedad, corrosión, choques o vibraciones.
- ANSI/ESD S20.20-2021: define, implementa y mantiene programas de protección contra descargas electrostáticas (ESD) en los procesos de ensamble y manufactura electrónica, considerando la interacción entre personas y máquinas.
- J-STD-033: manejo, empaque y transporte de componentes sensibles a la humedad y al reflujo térmico.
- J-STD-020: clasificación de sensibilidad a la humedad para componentes de montaje superficial.

La correcta aplicación de estas normas reduce significativamente las fallas durante el ciclo de vida del producto, evitando costos por reprocesos o devoluciones, y asegurando la consistencia de la producción.

Directivas internacionales: hacia una industria más limpia y sostenible

Aunque no son normas técnicas en sentido estricto, existen directivas internacionales que regulan la fabricación y disposición de productos eléctricos y electrónicos. Estas iniciativas, principalmente originadas en la Unión Europea, buscan promover la sostenibilidad, el reciclaje y la eliminación de materiales tóxicos en la manufactura electrónica:

- RoHS (Restriction of Hazardous Substances): hace relación a la Directiva 2011/65/UE de restringir las sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, como plomo, mercurio, cromo, cadmio, PBB y otros. Su propósito es sustituir estos materiales por alternativas seguras, como terminaciones de estaño, oro-níquel, plata u orgánicos en PCB, y soldaduras libres de plomo.
- El reglamento REACH, que traduce reglamento de registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas de EU, vigente desde el 18 de diciembre de 2006, regula la importación y uso de sustancias químicas peligrosas en la manufactura electrónica.
- La directiva WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), 2002/96/CE, promueve el reciclaje, reúso y recuperación de residuos de dispositivos eléctricos y electrónicos, estableciendo la responsabilidad del productor en la gestión ambiental de los dispositivos al final de su vida útil.

Estas directivas, aunque de origen europeo, se han convertido en referencia mundial. Muchos países, incluido Colombia, las han tomado como base para actualizar sus políticas de gestión ambiental y de residuos electrónicos, en el marco de los compromisos de sostenibilidad y economía circular.

El diseño electrónico y la fabricación son el corazón de la producción tecnológica moderna, y su avance depende de la formación y certificación del talento hu-

mano, tanto en las normas internacionales de diseño y manufactura, como en las normas de certificación de productos.

Ingenieros, técnicos y tecnólogos que dominen estos estándares pueden trabajar con las mejores prácticas globales, garantizar la confiabilidad y seguridad de los productos y contribuir al posicionamiento de Colombia como un país de innovación, calidad y excelencia industrial.

“ Ingenieros, técnicos y tecnólogos que dominen estos estándares pueden trabajar con las mejores prácticas globales, garantizar la confiabilidad y seguridad de los productos.”

La adopción de normas no debe entenderse como una obligación burocrática, sino como una herramienta estratégica para el crecimiento sostenible y la apertura de nuevos mercados. Cada certificación obtenida, cada proceso ajustado a los estándares internacionales, representa un paso hacia una industria nacional más sólida, competitiva y preparada para integrarse a las cadenas globales de valor.

En un momento en que Colombia apuesta por la reindustrialización y la transformación tecnológica, la inversión en talento especializado y la implementación rigurosa de normas de calidad y seguridad son elementos decisivos para consolidar el ecosistema de electrónica y semiconductores. Así, el país podrá avanzar con paso firme hacia una economía basada en el conocimiento, donde la ingeniería, la innovación y la excelencia técnica sean su sello distintivo. ▲

*André Giovanni Laverde Gutiérrez, CID+ CIT. Gerente Aldelta Technologies Miembro IPC. Entrenador en normas IPC para diseño y manufactura electrónica. Diseñador de PCB.