

Transdigital[®]

revista científica



Vol. 5 Núm. 9.

Enero - junio 2024.

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S. C.
ISSN: 2683-328X

Transdigital[®]

revista científica

Transdigital es una publicación semestral bajo el modelo de publicación continua y es editada por la Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C.

Dirección: Circuito Altos Juriquilla 1132. C.P. 76230, Querétaro, México. Tel. (442) 301-3238, www.revista-transdigital.org, aescudero@revista-transdigital.org. Editor en jefe: Alexandro Escudero-Nahón (ORCID 0000-0001-8245-0838). Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-020912091600-102, ISSN 2683-328X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (México). Responsable de la última actualización: Editor en jefe: Dr. Alexandro Escudero-Nahón.

Hasta ahora, la revista ha sido indizada en: *Latindex*, *DOAJ*, *ERIHPLUS*, *REDIB*, *EuroPub*, *LivRe*, *AURA*, *DRJI*, *BASE*, *MIAR*, *Index Copernicus*, *OpenAire-Explore*, *Google Scholar*, *ROAD*, *Sherpa Romeo*, *WorldCat*, *CiteFactor*, *Dimensions* y *Eurasian Scientific Journal Index*.

Todos los artículos en la revista *Transdigital* están licenciados bajo Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0). Usted es libre de: Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente. La persona licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia. Lo anterior, bajo los siguientes términos: Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

ISSN INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

latindex
catálogo

DOAJ

ERIHPLUS
EUROPEAN REFERENCE INDEX FOR THE
HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES

REDIB
Red Iberoamericana
de Innovación y Conocimiento Científico

EuroPub
REVISTA DE INVESTIGACIÓN Y CIENCIAS

LivRe
Revistas de libre acceso

AURA

DRJI
Directory of Research
Journals Indexing

Academic
Resource
Index
ResearchBib

BASE
Bielefeld Academic Search Engine

MIAR
Matriz de Información para el
Análisis de Revistas

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

OpenAIRE
EXPLORE

Google
Scholar

refseek*

ROAD
DIRECTORY OF OPEN ACCESS
SCHOLARSHIP
RESOURCES

Sherpa Romeo

WorldCat[®]

CiteFactor
Academic Scientific Journals

Dimensions

ESJI
Eurasian
Scientific
Journal
Index
www.ESJIndex.org

Unificación de tarjetas de circuito impreso de reguladores y compensadores de voltaje de uso doméstico

Unification of printed circuit boards of voltage regulators and compensators for domestic use



Erika Janette Durán Carrillo *

Posgrado del Centro de Tecnología Avanzada
A.C., México

ORCID: 0009-0001-3306-4954



Alejandro Saúl Zaldivar Santana

Gerente de control de calidad en iniciativa
privada

ORCID: 0009-0005-8456-0498



José Cuauhtémoc Pérez Campos

Gerente de Proyectos y Calidad del Centro de
Tecnología Avanzada A.C., México

ORCID: 0009-0006-4330-0515

* Autora de correspondencia

Sección: Artículo de investigación

Fecha de recepción: 05/01/2024

Fecha de aceptación: 10/04/2024

Unificación de tarjetas de circuito impreso de reguladores y compensadores de voltaje de uso doméstico

Unification of printed circuit boards of voltage regulators and compensators for domestic use

Resumen

El presente estudio propone una mejora para los reguladores y compensadores de voltaje: exploró la unificación de circuitos impresos y propuso la línea de ensamble con la finalidad de ofrecer un producto competitivo y de disponibilidad inmediata al mercado mexicano. Lo anterior se hizo tomando en cuenta los estándares de calidad aplicable a los reguladores y compensadores de voltaje. El objetivo fue determinar la viabilidad de unificar cuatro tarjetas de circuito impreso de reguladores y compensadores de voltaje en una sola tarjeta. También se realizó el análisis de competitividad y rentabilidad con respecto a los proveedores actuales. Para eso, fue necesario definir un modelo productivo y determinar los costos de producción. Posteriormente, se realizó el análisis de *benchmarking* para determinar si el producto propuesto es competitivo, con referencia a los productos ofertados por proveedores actuales. Los hallazgos del estudio sugieren que sí hay viabilidad técnica en el desarrollo y unificación de una sola tarjeta de circuito impreso para cuatro modelos diferentes. Sin embargo, también se concluye que, en términos de costos, sería mejor la generación de dos tarjetas unificadas: una para reguladores de voltaje y otra para compensadores de voltaje, ya que estos últimos requieren una mayor cantidad de componentes, como relevadores y semiconductores para las funciones de ajuste de tiempo (timer) y corte de voltaje. Se estima que para el caso particular de reguladores se puede conseguir una reducción adicional de hasta 15% en el costo de componentes que conforma la tarjeta de circuito impreso.

Palabras clave: tarjetas de circuito impreso, reguladores de voltaje, compensadores de voltaje, benchmarking

Abstract

The study proposes an improvement for voltage regulators and compensators: it explored the unification of printed circuits and proposed the assembly line with the purpose of offering a competitive product with immediate availability to the Mexican market. The above was done considering the quality standards applicable to voltage regulators and compensators. The aim was to determine the feasibility of unifying four printed circuit boards of voltage regulators and compensators on a single board. The competitiveness and profitability analysis were also carried out with respect to current suppliers. For this, it was necessary to define a production model and determine production costs. Subsequently, the benchmarking analysis was carried out to determine if the proposed product is competitive, with reference to the products offered by current suppliers. The findings of the study suggest that there is technical feasibility in the development and unification of a single printed circuit board for four different models. However, it is also concluded that, in terms of costs, the generation of two unified cards would be better: one for voltage regulators and another for voltage compensators, since the latter require a greater number of components, such as relays and semiconductors for time setting (timer) and voltage cutoff functions. It is estimated that for the case of regulators, an additional reduction of up to 15% can be achieved in the cost of components that make up the printed circuit board.

Keywords: printed circuit boards, voltage regulators, voltage compensators, benchmarking

1. Introducción

Desde sus inicios, el campo de la electrónica ha presentado un crecimiento acelerado porque resuelve y facilita un sinnúmero de aplicaciones y tareas en todas las áreas. Los dispositivos electrónicos requieren alimentación de energía eléctrica para su funcionamiento. En ese sentido, la mayoría de esos aparatos se conectan a la red eléctrica, administrada en México por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Sin embargo, ocasionalmente puede haber variaciones de voltaje que dañan los aparatos electrónicos y electrodomésticos. Para evitar daños por variaciones de voltaje se pueden usar reguladores de voltaje o compensadores, los cuales estabilizan el voltaje de alimentación, mitigando daño en los aparatos que están conectados a la red eléctrica, prolongando su vida útil y ofreciendo un ahorro monetario a largo plazo. El presente trabajo exploró la unificación de circuitos impresos y la propuesta de línea de ensamble con la finalidad de ofrecer un producto competitivo y de disponibilidad inmediata al mercado mexicano, tomando en cuenta también la línea de investigación en estándares de calidad derivado del cumplimiento normativo aplicable a los reguladores y compensadores de voltaje.

Para lograr lo anterior, se desarrolló un caso específico. Una empresa que ofrece soluciones en electrónica tiene desabasto de algunos modelos de reguladores y compensadores de voltaje, que adquiere con terceras partes. Uno de los argumentos es que dicho desabasto se derivó de la escasez de circuitos integrados y microcontroladores (*chips*), y por baja capacidad de producción, derivada de la contingencia sanitaria por SARS-CoV-2. El desabasto de reguladores y compensadores de voltaje ha originado para la empresa pérdida de clientes, bajas ventas de su línea de energía, ya que cuando el consumidor adquiere dicho regulador o compensador de voltaje, también adquiere otros productos asociados, incrementado el valor del ticket de compra. Si bien es cierto el desabasto de algunos circuitos integrados, hay otros modelos en disponibilidad inmediata. Por lo tanto, una opción es integrar o consolidar las cuatro versiones de circuitos impresos (dos de regulador para 1000W y 2000W; y dos de compensador para 1000W y 2000W) en uno solo con base de los circuitos integrados. Contar con solo una versión de placa de circuito impreso (PCB) podría incrementar la rentabilidad, al adquirir un mayor volumen en una sola tarjeta de circuito impreso.

En este caso, la problemática ha orillado a la alta dirección de la empresa a implementar una línea de producción para los reguladores y compensadores de voltaje, y no depender de proveedores externos para la entrega del producto final porque cuenta con un área de acondicionamiento de producto, la cual tiene personal capacitado para realizar este tipo de maquilas, así como el herramental y mobiliario necesario para el ensamble de cualquier producto electrónico y electrodoméstico. La importancia de esta investigación reside en el desarrollo y análisis que permitiría a la empresa determinar si es rentable la unificación de un circuito impreso, así como la implementación de la línea de ensamble, obteniendo algunos de los siguientes beneficios: toma de decisiones asertivas para la implementación de línea de ensamble; recuperación en volumen de venta de reguladores y compensadores de voltaje; posible reducción de costo final de reguladores que puede traducirse en mayor utilidad

o mejor oferta de mercado para el consumidor final; por el lado del usuario final, disponer de reguladores y compensadores de voltaje representaría un ahorro significativo al preservar sus equipos eléctricos y electrónicos.

2. Marco de referencia

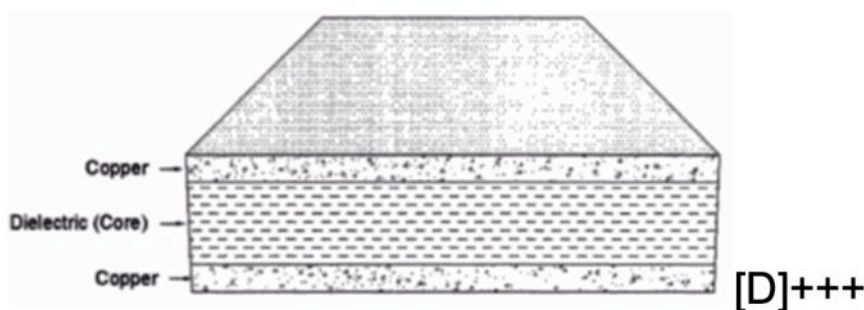
Koblenz inició la fabricación de reguladores ferresonantes en México en 1959. Durante la década de los sesenta y setenta, estos productos fueron confiables y duraderos, pero tenían grandes dimensiones y un peso elevado. Por eso fueron exitosos hasta inicios de la década de los ochenta. Con la industrialización de semiconductores discretos como transistores y circuitos integrados, inició la evolución de reguladores de voltaje ferresonantes hacia reguladores de voltaje electrónicos que, si bien conservan como elementos internos uno o más transformadores, las características son diferentes: la regulación se realiza de forma electrónica y no por el efecto ferresonante. Esto permitió una reducción importante de tamaño, peso y costos de fabricación.

En ese sentido, es fundamental el circuito impreso, que es un soporte físico y de conexión entre componentes electrónicos. Se forma por una superficie plana con un compuesto o base aislante y otro conductor. También se le llama placa de alambre impresa (PWB, printed wiring board) o placa de circuito impreso (PCB, printed circuit board). Estos laminados o placas se construyen con diferentes características según su aplicación, pero la base o sustrato tiene, al menos, una capa u hoja conductora para placas simples (Robertson, 2023; Khandpur, 2006; Coombs, 2008).

La parte central del PCB es el sustrato o material aislante base. Entre los materiales más usados existen: FR-4, fabricado en fibra de vidrio con resina epóxica; FR-2, fabricado de papel impregnado con resina fenólica; Poliamida, fabricado con película de polímero; Rogers, están hechos de hidrocarburo reforzado con vidrio tejido; CEM 3; fabricado con fibra de vidrio al igual que FR-4 pero el recubrimiento es estera de vidrio; SMI (sustrato metálico aislado), generalmente con núcleo de aluminio. A estos sustratos se adhiere una película u hoja de cobre en una o ambas caras para formar el PCB. Se pueden agregar más sustratos y películas de cobre para poder obtener un PCB multicapa (Robertson, 2023; Hillmanurtis.com, 2021; PCBWay.com, 2021; Proto-Electronics.com, 2021) (Figura 1).

Figura 1

Materiales del circuito impreso PCB



Los pasos para el proceso de diseño del PCB son (Coombs, 2008):

1. Definir especificaciones del sistema. Es la lista de funciones y características con las que debe contar el sistema electrónico, incluyendo todas las variables posibles, inclusive tamaños, costos objetivo, tiempos para el desarrollo, etc.
2. Elaborar diagrama de bloques del sistema. Con los requerimientos se debe generar el diagrama de bloques, ya que esto permite particionar el circuito y sus interconexiones.
3. Particionar el sistema en PCBs. Es recomendable agrupar en un solo PCB aquellas secciones del sistema que tiene más interacción entre sí y poner en otro PCB las secundarias. Esto es conveniente para el servicio, reparación y ampliación del sistema de forma modular.
4. Determinar el tamaño del PCB. Con base en el sistema electrónico, y en caso de existir un estándar específico de tamaño, se debe apegar a este. Es recomendable que el tamaño sea lo más compacto posible para obtener el mejor costo - beneficio.
5. Crear diagrama esquemático. Conforme a los resultados de los puntos anteriores se procede a la elaboración del diagrama esquemático, integrando todos los componentes y sus conexiones. Esto se realiza mediante software de tipo diseño asistido por computadora.

6. Contar con la librería de componente. Esta librería integra datos de los componentes, como el tipo de encapsulado, número de terminales o *pines*, así como su distribución.
7. Simular el diseño. Para asegurar el funcionamiento del circuito, y antes de la fabricación del mismo software de diseño, se debe simular conforme al diagrama electrónico.
8. Ubicar componentes en PCB. Una vez que la simulación fue exitosa se procede a la ubicación de los componentes para armar el circuito.
9. Ordenar puntos y malla o red del circuito con base en reglas. Algunos componentes lógicos deben tener la velocidad suficiente para un mejor desempeño y evitar mal funcionamiento. En ese orden de prioridad se sugiere ordenar los componentes para evitar recorridos largos de la señal.
10. Simular líneas de transmisión y reloj. Se simula con todos los componentes y puntos de secuencia de nodos en cada red o malla de circuito. Esto permite posibles señales de mal funcionamiento antes del enrutamiento para tomar medidas y solucionar el problema.
11. Reajustar componentes y orden. Si la simulación anterior muestra retrasos o tiempo excesivo de ejecución del sistema electrónico, en este paso se reajusta el orden de los componentes para solucionar el problema.
12. Probar ruteo. En este punto, se han realizado suficientes análisis para saber que el diseño funcionará correctamente. Sin embargo, puede existir aun así alguna falla inesperada, por lo que es un punto de control para corregirlas.
13. Rutear PCB. Este paso implica colocar todas las conexiones en las capas de señal en forma de trazas de cobre siguiendo las reglas de espaciado y longitud.
14. Validar resultados con base en especificaciones. Los datos finales de las pruebas y los datos físicos se pueden cargar en los analizadores de línea de transmisión y temporización para hacer una verificación final de que se han cumplido todos los objetivos de diseño.
15. Generar los documentos para la producción. En este paso se generan todos los archivos necesarios para la fabricación del PCB, comúnmente llamados *Gerbers* por el tipo de extensión que cuentan.

16. Archivar diseño. Es importante archivar y resguardar el diseño final por si se requiere recuperar para futuras actualizaciones, reposiciones al fabricante, etc.

Los elementos de diseño importantes que deben ser proporcionados puntualmente por el equipo de diseño (Khandpur, 2006) son: el tipo de circuito (analógico, digital, híbrido, etc.), tamaño, número de capas, tamaño de los *Pads*, tamaño de orificios, espesor de capa, conexiones externas, orificios de montaje, espesor de capa de alimentación y tierra, y especificaciones de los componentes. Adicionalmente, se deben proporcionar los parámetros de desempeño o rendimiento, como la resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, choque y vibración, choque térmico y ciclo de temperatura, resistencia a la humedad, resistencia al moho, resistencia en cámara salina, resistencia de torsión, voltaje de ruptura en dieléctrico, soldabilidad, resistencia de aislamiento, resistencia al fuego, incremento de temperatura en conductor, maquinado, y consideraciones de altitud (Khandpur, 2006).

De la definición del objetivo del proceso de diseño de PCB se desprende que el proceso se extiende desde el concepto, hasta la fabricación, montaje y prueba. Las herramientas basadas en computadora han evolucionado para automatizar o mejorar la velocidad y precisión de cada paso en el proceso. Estas herramientas se pueden dividir en tres grupos según el lugar donde se utilicen: A) Herramientas de ingeniería asistida por computadora (CAE, por sus siglas en inglés); B) Herramientas de diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés); C) Herramientas de fabricación asistida por computadora (CAM, por sus siglas en inglés).

Se desprende de los nombres de las herramientas que se utilizan en el diseño de circuitos: diseño de PCB, fabricación de PCB y ensamble de PCB (Coombs 2008). Se considera que, a este último paso del ensamble con componentes en la actualidad, ya no se le denomina PCB. Su nombre cambia a circuito impreso ensamblado (PCA, printed circuit assembly). De acuerdo con Coombs (2008), es recomendable usar todas las herramientas CAE, CAD y CAM del mismo desarrollador de software para garantizar la compatibilidad de interfaz entre las mismas. Por otro lado, si se desea diseñar un PCB con proyección global es recomendable que el software de diseño esté empatado en la configuración predeterminada con los estándares IPC e IEEE, ya que esto ayuda a reducir retrabajo en el diseño final, debido al incumplimiento de algún estándar. Finalmente, entre las herramientas de diseño y software utilizados se pueden mencionar: *Altium*, *Altium circuit maker*, *Cadstar*, *DesignSpark*, *Eagle*, *Kicad*, *Livewire&PCBwizard*, *OrCAD*, *Pads PCB*, *Proteus*, *Sprint-Layout*. *Altium* es la más popular y utilizada en la actualidad. Algunas de estas herramientas tienen costo y se pueden adquirir directamente de la página del fabricante. Los desarrolladores también tienen versiones libres como el caso de *Altium*, por mencionar alguno (Coombs, 2008; Khandpur, 2006).

2.1. Estándares y normas aplicables al diseño

Como se ha mencionado previamente en este texto, es importante realizar el diseño de PCB conforme a normas o estándares internacionales, si se desea que el producto cumpla con requerimientos de seguridad y desempeño a nivel internacional. Por el contrario, si es un producto de escala local será suficiente el cumplimiento de la norma mexicana NMX-I-60065-NYCE-2015.

En resumen, los puntos a cuidar en el diseño de la PCB respecto a la norma mexicana son: Capítulo 9, requisitos de construcción relativos a la protección contra choques eléctricos, apartados 9.11 inciso D, que habla de la sujeción de partes vivas a la PCB; Capítulo 12, condiciones de falla, apartado 12.2.6 que habla de las tarjetas impresas PCB; Capítulo 14, líneas de fuga y distancias en el aire, apartado 14.4 líneas de fuga, que habla de la distancia entre pistas en PCB. Apartado 14.5 tarjetas impresas líneas de fuga y al aire en PCB; Capítulo 21, resistencia al fuego, apartado 21.1.3 tarjetas impresas, que habla del material de las PCB, cuando manejan potencias superiores a 15 W con tensiones superiores a 50V e inferior a 400V, en donde la categoría de flamabilidad debe ser V-1 y si están protegidas por un gabinete puede ser V-0. (NYCE, 2016). La norma mexicana antes referida coincide básicamente con la norma internacional IEC 60065 edición 7.2. Si bien tenemos normas IEC, IEEE e IPC, éstas últimas son la referencia a nivel global de manera específica hablando de PCB.

El Instituto de Circuitos Impresos (IPC, Institute of Printed Circuits) fundado en Estados Unidos de Norte América en 1957, se ha dedicado a eliminar los obstáculos de la cadena de suministro, crear estándares de la industria y respaldar el avance de la industria, siendo la máxima autoridad en todo lo relacionado al campo de PCB (IPC, 2021). Los estándares IPC más relevantes en cuanto al diseño de PCB son (IPC, 2021; Laverde, 2020; Khandpur, 2006): IPC-2220-FAM: Design Standards for Printed Boards; IPC-2221 Generic Standard on Printed Board Design; IPC-2222 Sectional Design Standard for Rigid Organic Printed Boards, IPC-2223 Sectional Design Standard for Flexible/Rigid-Flexible Printed Boards; IPC-2225 Sectional Design Standard for Organic Multichip Modules (MCM-L) and MCM-L Assemblies, IPC-JPCA-2315: Design Guide for High Density Interconnects and Microvias, IPC-2615: Printed Board Dimensions and Tolerances, IPC-D-322: Guidelines for Selecting Printed Wiring Board Sizes Using Standard Panel Sizes, IPC-D-325A: Documentation Requirements for Printed Boards, IPC-7351B: Generic Requirements for Surface Mount Design and Land Pattern Standard.

Una vez diseñado el PCB, el siguiente paso es la fabricación y pruebas del mismo. Dependiendo de las necesidades, se pueden aplicar técnicas de fabricación manuales, mecanizadas y automatizadas. El proceso manual generalmente es utilizado en el campo académico, que solo requiere una pieza para el prototipo. Habitualmente, el circuito no manejará alta frecuencia y su grado de complejidad, así como el número de componentes, es bajo. En cambio, la fabricación a gran escala permite atender una necesidad de prototipo para la fabricación de PCB en grado comercial, industrial o médico, ya que se debe cumplir con ciertos estándares.

En la actualidad no existe una Norma Oficial Mexicana o Norma Mexicana específica para la fabricación de PCB. Sin embargo, existen normas y leyes aplicables al macroproceso, entre las que destacan: NOM-018-STPS-2015. Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo; NOM-161-SEMARNAT-2011. Establece los criterios para clasificar los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos al Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo; NADF-019-AMBT-2018. Norma ambiental para el distrito federal – Residuos eléctricos y electrónicos – requisitos y especificaciones para su manejo; NMX-I-121/2-11-NYCE-2002. Productos electrotécnicos-tarjetas y circuitos impresos-materiales base para circuitos impresos-parte 2 especificaciones-sección 11: tejido de vidrio fino con resina epoxídrica, laminado con cobre, de calidad para uso general para la fabricación; NMX-I-121/2-12-NYCE-2002. Productos electrotécnicos – tarjetas y circuitos impresos – materiales base para circuitos impresos– parte 2: especificaciones – sección 12: tejido de vidrio fino con resina epoxídrica, laminado con cobre de inflamabilidad definida para la fabricación de tarjetas multicapa.

Por otro lado, como se ha mencionado previamente, a nivel internacional hay estándares IEC, RoHS por mencionar algunos. Al igual que para el diseño, los estándares IPC son el gran referente en materia de fabricación de PCB. Los más relevantes son (Coombs, 2008; IPC, 2021; Laverde, 2020; Khandpur, 2006): IPC-2231; DFX Guidelines (Design for Manufacturing, Fabrication, Assembly, Testability, Cost, Reliability, Environment, Reuse); IPC-A-610H. Acceptability of Electronic Assemblies (proporciona requisitos para la aceptación de conjuntos electrónicos); IPC-A-610G-ILLUS-S. A-610G Illustrations - Entire Image Set (proporciona requisitos para la aceptación de conjuntos electrónicos); IPC-CH-65-A. Guidelines for Cleaning of Printed Boards and Assemblies. Es una hoja de ruta para los problemas de limpieza actuales y emergentes en la industria electrónica. Incluye descripción y análisis de varios métodos de limpieza; explica la relación entre materiales, procesos y contaminantes en las operaciones de fabricación y montaje; IPC-Dr-572. Drilling Guidelines for Printed Boards. Proporciona pautas para perforar orificios de calidad en una amplia gama de materiales de tableros impresos; IPC/EIA/JEDEC J-STD-003A: Solderability Tests for Printed Boards; IPC-HDBK-830: Guidelines for Design, Selection and Application of Conformal Coatings. Es una recopilación de la experiencia práctica de la industria de recubrimientos para ayudar a los diseñadores y usuarios de recubrimientos conformados a tomar decisiones informadas; IPC-M-108. Cleaning Guides and Handbooks Manual. Incluye las últimas ediciones de guías y manuales de limpieza de IPC. Ayuda a los ingenieros de fabricación a tomar decisiones sobre productos y procesos de limpieza. Proporciona orientación para la resolución de problemas; IPC-NC-349. Computer Numerical Control Formatting for Drillers and Routers. Define un formato de entrada legible para máquinas de herramienta de perforación y enrutamiento con control numérico por computadora utilizadas por la industria de placas de circuito impreso. El formato se puede utilizar para transferir información de perforación y enrutamiento entre diseñadores, fabricantes y usuarios de placas impresas; IPC-SM-840C. Qualification and Performance of Permanent Solder Mask—Includes Amendment 1. Cubre los requisitos para la calificación y conformidad de calidad de la máscara de soldadura de película seca y líquida; IPC-SM-839. Pre-and Post-solder Mask Application Cleaning Guidelines. Cubre todos los aspectos de la limpieza relacionados con la aplicación de la máscara de soldadura, incluida la preparación de la placa, el control

durante el proceso y el mantenimiento de la limpieza durante los procesos previos al ensamblaje; IT-95080. Improvements/Alternatives to Mechanical Drilling of PCB Vias. Define y caracteriza alternativas a la perforación mecánica de agujeros pequeños y analiza los avances en la tecnología de perforación mecánica.

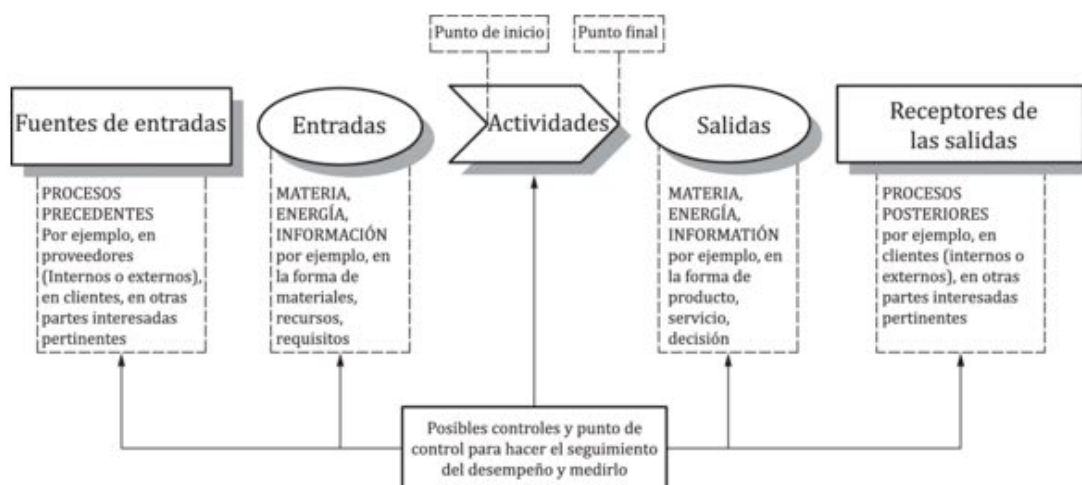
2.2. Gestión de la calidad

Se han mencionado algunos estándares para el diseño y fabricación de PCB, donde la finalidad es contar con un producto seguro y funcional para el usuario. En cada etapa de su fabricación se verifican puntos de control para cuidar la calidad en la manufactura. Sin embargo, generalmente esto no es suficiente para el aseguramiento de la calidad por lo que es necesario acudir a otras normas o estándares que contribuyan a la correcta implementación, satisfacción y rentabilidad. Una de las herramientas a nivel global para el aseguramiento de los procesos es la norma internacional ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad. La implementación de esta norma puede ayudar a mejorar el desempeño global de cualquier organización y dar bases firmes para las iniciativas de desarrollo sustentable.

Los beneficios potenciales al implementar un sistema de gestión de la calidad basado en esta norma internacional son: A) Proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente, en el ámbito legal y reglamentario aplicables; B) Facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente; C) Abordar los riesgos y oportunidades asociadas con su contexto y objetivos; D) La capacidad de demostrar la conformidad con requisitos del sistema de gestión de la calidad especificados (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2015). Un proceso es el conjunto de actividades mutuamente relacionadas con una serie de entradas que serán tratadas para proporcionar un resultado previsto (salidas); esta salida puede ser un producto o servicio (ISO, 2015) (Figura 2).

Figura 2

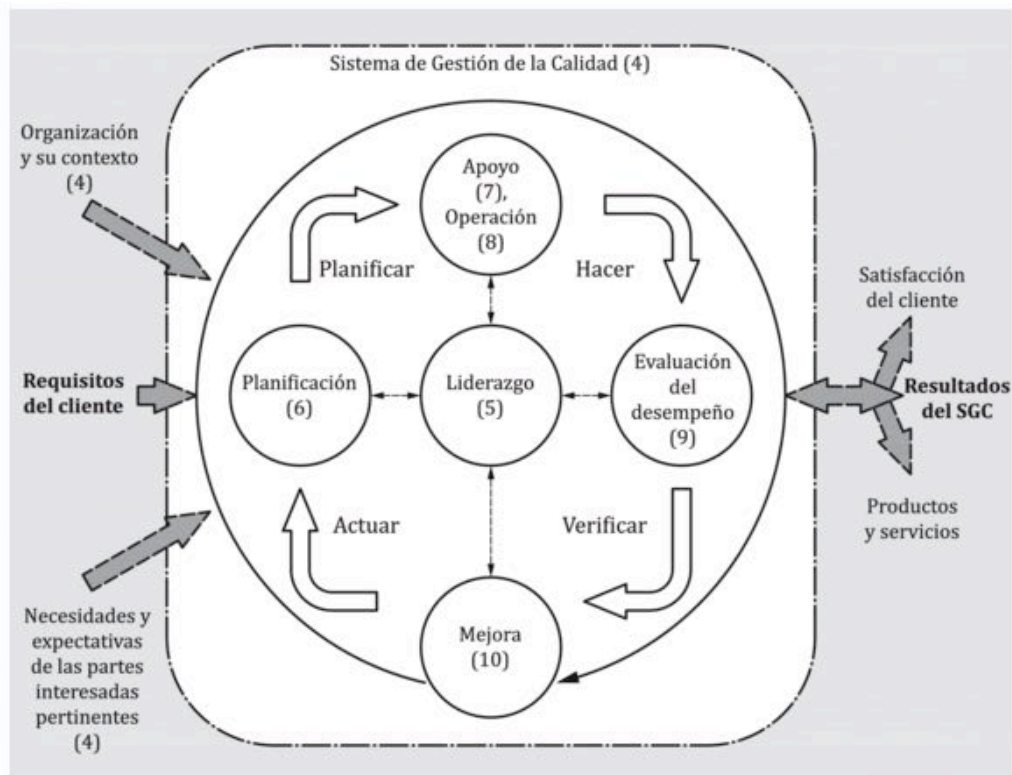
Elementos de un proceso



Nota. Tomado de ISO (2015, párr. 53).

Por lo tanto, se requiere tener claro y definido qué procedimientos intervienen en el proceso para la fabricación de PCB, así como implementar controles. Esto permite llegar a los objetivos planteados. Pueden existir desviaciones, pero la aplicación correcta del sistema de gestión de calidad ayudará a mitigar el impacto y buscar la mejora continua hasta cumplir con lo esperado. La gestión de los procesos y el sistema en su conjunto pueden alcanzarse utilizando el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) en todos los procesos; también puede aplicarse al sistema de gestión de la calidad (ISO, 2015) (Figura 3). Adicionalmente, incorpora un enfoque de pensamiento global basado en riesgos para aprovechar las oportunidades y prevenir resultados no deseados. Cabe mencionar que *proceso* no es igual a *procedimiento*, ya que el último es la forma especificada de llevar a cabo una actividad (proceso).

Figura 3
Ciclo PHVA



Nota. Tomado de ISO (2015, párr. 54).

2.3. Análisis de riesgos

La definición de riesgo, según la Real Academia Española ([RAE], 2021), es la contingencia o la proximidad de un daño. En los procesos, no solo está limitado a que sea algo negativo, también puede ser positivo. Sin embargo, esto dependerá de lo esperado. Por ello puede ser considerado como una desviación con respecto a la salida definida. Con frecuencia, el riesgo se caracteriza por hacer referencia a eventos potenciales y consecuencias

o a una combinación de éstos (ISO, 2015; RAE, 2021). El pensamiento basado en riesgos es fundamental para lograr un sistema de gestión de la calidad eficaz.

Los requisitos de la norma internacional ISO 9001:2015, indican que una organización necesita planificar e implementar acciones para abordar los riesgos y las oportunidades. Entonces, se tienen que abordar, tanto los riesgos como las oportunidades, establecer una base para aumentar la eficacia del sistema de gestión de la calidad, alcanzar mejores resultados y prevenir los efectos negativos. Las oportunidades pueden surgir como resultado de una situación favorable para lograr un resultado previsto. Por ejemplo, un conjunto de circunstancias que permita a la organización atraer clientes, desarrollar nuevos productos y servicios, reducir los residuos o mejorar la productividad. Las acciones para abordar las oportunidades también pueden incluir la consideración de los riesgos asociados. El riesgo es el efecto de la incertidumbre y dicha incertidumbre puede tener efectos positivos o negativos. La desviación positiva de un riesgo puede proporcionar una oportunidad, pero no todos los efectos positivos del riesgo tienen como resultado oportunidades (ISO, 2015).

Por otra parte, la norma internacional ISO 9001:2015, en el capítulo 8 “Operación” presenta, en el apartado 5, las condiciones que se deben mantener para el tema de producción y provisión del servicio o, en este caso, el producto. Previamente a este apartado específico sobre la producción, están las definiciones sobre los requisitos para los productos y servicios, que involucran la comunicación con el cliente, la determinación de los requisitos y las especificaciones, así como el control de cambio de las mismas. En particular, el apartado 8.5 contempla todos los puntos y consideraciones para el aseguramiento de la calidad en la producción conforme a condiciones controladas de disponibilidad de información (especificaciones del producto a producir y resultados deseados), seguimiento y medición del proceso (indicadores), uso adecuado de la infraestructura, competencia del personal, acciones de prevención para mitigar el error humano, así como las actividades para realizar liberación y entrega del producto (ISO, 2015).

A continuación, se enumeran todos los rubros de este punto: 8.5.1 Control de la producción y de la provisión del servicio; 8.5.2 Identificación y trazabilidad; 8.5.3 Propiedad perteneciente a los clientes o proveedores externos; 8.5.4 Preservación; 8.5.5 Actividades posteriores a la entrega; 8.5.6 Control de cambios. La implementación de un sistema de gestión de calidad (SGC) y, en particular, la implementación completa de la norma internacional ISO 9001:2015, requiere el cumplimiento total de la misma para obtener la certificación. Para el presente caso de estudio, se mencionarán a continuación los numerales y/o temas relevantes, ya que finalmente se pueden implementar como mejores prácticas, aunque no esté en el alcance, la certificación de la organización.

Personas. El capital humano debe contar con las competencias necesarias para el correcto desarrollo de sus actividades. Se debe contar con descripción de puesto bien definida con alcances y responsabilidades de cada colaborador.

Infraestructura. Se debe contar con las herramientas, máquinas, mobiliario y equipo de seguridad indicados que permitan el alcance de los objetivos, tomando en cuenta el correcto aprovechamiento. Se deben integrar los planes de mantenimiento a la infraestructura y maquinaria. Estos son muy importantes de manera preventiva en un área de producción, ya que evita detener la operación y afectar la rentabilidad de la organización.

Recursos de seguimiento y medición. Hablando de equipos de medición, estos deben contar con certificado de calibración para asegurar la trazabilidad de las mediciones.

Control de las salidas no conformes. Existen riesgos que en ocasiones convergen para que las salidas o productos no cumplan las características o especificaciones. Para evitar una insatisfacción por esta causa se debe contar con un buen control de la calidad y la correcta identificación, manejo y disposición del producto no conforme.

Seguimiento, medición, análisis y evaluación. Para los procesos, se debe contar con indicadores o key performance indicator (KPIs) relevantes para la operación, enfocados al logro de los objetivos con una periodicidad frecuente, que permita ayudar en la toma de decisiones de manera inteligente y en tiempo óptimo para el cumplimiento del proceso/objetivo y la satisfacción del cliente.

Auditoría interna. Es una herramienta de monitoreo y mejora continua. Se requiere realizar auditorías internas al producto como medida de control de la calidad y a los procesos para identificar áreas de oportunidad en el mismo, lo que puede derivar en acciones preventivas y correctivas documentadas para un mayor seguimiento por parte de los involucrados.

Finalmente, es relevante mencionar el papel del *benchmarking*. Una definición muy aceptada es la que expone David T. Kearns, Xerox Corporation, quien dice que es un proceso continuo para medir productos, servicios y prácticas contra los competidores más duros o contra aquellas compañías reconocidas como líderes en la industria (Pavisich Serrate, 2006). Esta herramienta se caracteriza por un análisis de atributos y cualidades de los productos o servicios ofertados. Esta comparativa pretende identificar los diferenciadores entre un producto u otro con la finalidad de ofrecer una mejor oferta de valor. Una posible desventaja de esta herramienta en la actualidad es lo básico que puede ser un solo estudio derivado de la gran diversidad y competencia que existe.

De acuerdo con Spendolini (1994), existen cinco fases que garantizan la correcta aplicación de esta herramienta:

1. Definir a qué se le va a aplicar el *benchmarking*: definir los clientes, sus necesidades de información, definición de los factores críticos de éxito.

2. Formar el equipo de *benchmarking*: formar equipos de acuerdo a la función, a la interfuncionalidad, a las personas involucradas en el proceso de *benchmarking*, o de manera *ad hoc*; definir las funciones y responsabilidades del equipo y capacitarlos.
3. Identificar a los socios del *benchmarking*: personas u organizaciones relacionada con la investigación, búsqueda de las mejores prácticas.
4. Recopilar y analizar la información: definición de los métodos como entrevistas, encuestas, publicaciones, archivos, asociaciones, organizar la información, analizar la información.
5. Aplicar.

3. Método de investigación

El objetivo de esta investigación fue determinar la viabilidad de unificar cuatro tarjetas de circuito impreso de reguladores y compensadores de voltaje, en una sola tarjeta de circuito impreso, así como el análisis de competitividad y rentabilidad con respecto a los proveedores actuales. Para eso, fue necesario investigar y definir una estructura o modelo productivo sugerido, para la implementación de la línea de producción y determinar una aproximación de los costos de producción. Posteriormente, se realizó el análisis y estudio de *benchmarking*, para determinar si el producto propuesto es competitivo, con referencia a los productos ofertados por proveedores actuales.

La hipótesis que condujo la investigación fue: si se integran cuatro diseños diferentes de PCB de reguladores y compensadores de voltaje en uno solo, conforme a disponibilidad de componentes; entonces se pueden reducir costos y tener disponibilidad de producto para el consumidor final. La variable independiente fue: Integración o unificación de circuitos impresos de reguladores de voltaje. Se sabe que un circuito impreso es la interconexión e integración de componentes electrónicos para realizar alguna función determinada. Si se habla de reguladores de voltaje doméstico, se tiene que la función que realiza el circuito es censar el voltaje de la red eléctrica y, dependiendo del voltaje de referencia, determina si está recibiendo un voltaje alto, bajo o normal. En función de ello, el circuito envía el voltaje de entrada al devanado de un transformador que realiza la función de compensación o reducción de voltaje, según sea el caso. De lo anterior se puede definir que la variable independiente es la tarjeta de circuito impreso, ya que su propósito es igual en el caso de los cuatro equipos que comercializa la empresa de soluciones en electrónica: el transformador es la pieza que cambiará según la especificación de potencia requerida para cada uno de los productos en cuestión.

La variable dependiente fue: reducir costos de producción y tener disponibilidad de producto. Conforme al desarrollo de la variable independiente, que corresponde a unificar las cuatro tarjetas en una sola y que este insumo con respecto a su costo es fijo, tenemos que si se logra optimizar el circuito en una sola tarjeta, una de las posibles resultantes es la reducción del costo de producción. Aunque esto podría no ser cierto de manera global si es que esta tarjeta resultante es más compleja que cualquiera de las cuatro versiones originales y los costos asociados con la maquila de la misma. Dado que el resultado dependerá de la integración de las cuatro tarjetas en una, así como de la cantidad de componentes que intervienen, se puede declarar que esta variable sobre la reducción de costos es dependiente de la integración y desarrollo. Adicionalmente, para el diseño se considera la disponibilidad de *chips* y la tarjeta de circuito impreso final, que también esto es dependiente del entorno.

3.1. Tipo y alcance de la investigación

Conforme a los objetivos, características y condiciones de la problemática, el tipo de investigación es no experimental. Fue un estudio efectuado sin manipular deliberadamente alguna variable; solo se analizó la información conforme a las variables establecidas respecto a los costos de producción y componentes que podrán ser empleados para el ensamble de los reguladores de voltaje (Hernández Samperi et al., 2006, pp. 57 - 68). Si bien se podrían modificar algunos costos por el entorno globalizado de los componentes electrónicos, no se puede considerar que fueron variables manipuladas a discreción, ya que dichos costos solo están regidos por el mercado y serán fijos tomando en cuenta que son los mismos insumos pre definidos en el diseño electrónico de los reguladores y compensadores de voltaje.

Adicionalmente, la suposición sobre el desarrollo de varias propuestas de tarjetas de circuito impreso con diferentes componentes podrían determinar que el tipo de investigación es experimental ya que se podrían tomar en cuenta cada tarjeta como una variable. Lo cierto es que para el desarrollo de cada una de las tarjetas se debe cumplir con cierta normatividad, adicional a que los esfuerzos en investigación y prototipado podrían exceder al alcance y posible presupuesto para la toma de decisiones. Por tanto, al contemplar solo dos versiones de tarjetas, se concluye que se podría aplicar un buen número de muestras para aseverar que el tipo de investigación más adecuado es el experimental, con lo que se ratifica que el tipo de investigación más adecuado para el presente planteamiento es no experimental.

Se infiere que el alcance de la presente investigación descriptiva, ya que se busca medir y/o evaluar diversos aspectos del fenómeno a investigar (Hernández Samperi et al, 2006). Para este caso particular, la investigación pretende evaluar la rentabilidad y beneficios hacia la empresa y el consumidor referente a disponibilidad y costos. Es importante mencionar que la investigación abordó algunos elementos de otros alcances

de investigación como el evaluativo porque se valoraron alternativas de dos tarjetas de circuitos impresos con la finalidad de asegurar la disponibilidad de componentes, teniendo más de una sola opción de solución o producto para la disponibilidad de reguladores o compensadores de voltaje. Sin embargo, estos elementos no corresponden al eje principal del alcance de la investigación.

3.2. Fuentes de información e instrumentos

El tipo de fuente de información empleada fue primaria, considerando que se requería información de primera mano para el análisis y diseño de las tarjetas electrónicas de los reguladores y compensadores de voltaje, incluyendo componentes que integran dichos equipos para poder obtener los valores de insumos, así como información de su estructura y costos de producción en su línea de ensamble. Respecto al *benchmarking*, si bien se pudo obtener información secundaria, esto no era recomendable por la distorsión y desactualización de precios, lo que generaría errores para el análisis de competitividad. También para este punto se usaron fuentes de información primaria para obtener las características de los productos ofertados y elegir de manera adecuada los productos rivales conforme a sus especificaciones. Adicionalmente, los precios de mercado se debían recabar directamente con los distribuidores, fabricantes o importadores y establecimientos comerciales con datos actuales.

Para fines de la presente investigación y análisis de viabilidad de unificación de tarjeta electrónica para reguladores y compensadores de voltaje de uso doméstico, considerando exponer los beneficios en la disponibilidad y costos para el consumidor final al ser ensamblado en México, se desglosa en cada apartado el instrumento de recopilación de datos empleado:

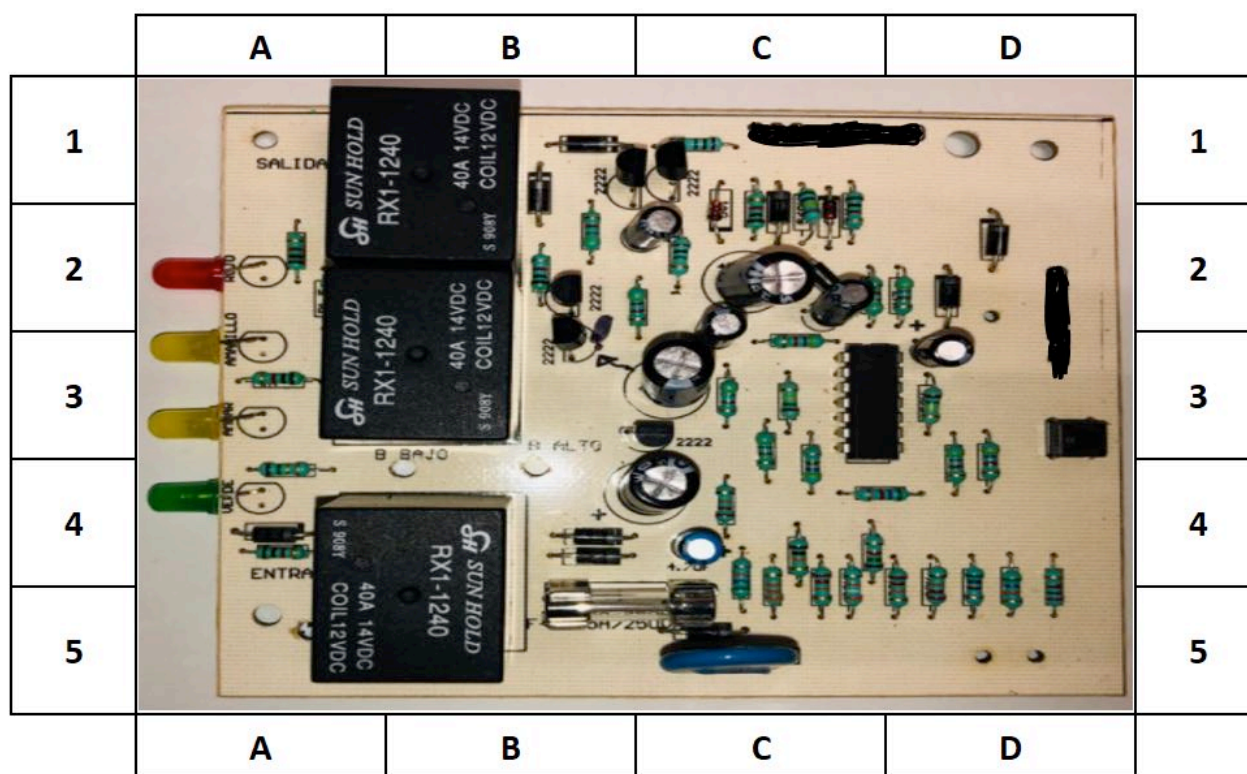
1. Recabar información sobre el diseño electrónico y su posible unificación de circuito. Instrumento seleccionado: la entrevista, realizada a la fuente de información primaria como es al área de ingeniería de la empresa.
2. Realizar el cálculo de costos de producción. Instrumento seleccionado: el cuestionario, realizado a la fuente de información primaria, para recabar datos de costos operativos en el proceso de ensamble, así como reconocer si se cuenta con los recursos necesarios para la implementación de la línea de ensamble entre ellos; herramental, procesos y personal capacitado.
3. Realizar estudio de *benchmarking*, para determinar si la propuesta de solución permite ofrecer una ventaja competitiva. Instrumento seleccionado: la observación y recopilación de datos de fuentes primarias como establecimientos comerciales y páginas electrónicas de los fabricantes y distribuidores de reguladores de voltaje y compensadores de uso doméstico conforme a las características y especificaciones eléctricas de los modelos del presente caso de estudio y sus equivalentes.

4. Resultados

De los resultados de las entrevistas se desprende que, técnicamente, no existe impedimento para la integración y unificación de las diferentes versiones de reguladores y compensadores de voltaje y sus respectivas tarjetas electrónicas PCB en una sola. Si bien el desarrollo puede llevar un par de meses, el área de ingeniería asegura que se puede utilizar la tarjeta electrónica PCB del equipo compensador de mayor potencia (Figura 4) y solo ajustar el programa cargado en el microcontrolador para los tiempos de retardo quedando conforme la Tabla 1.

Figura 4

Tarjeta electrónica PCBA



Nota. Imagen de carácter ilustrativo, con autorización del área de ingeniería. Por confidencialidad no se proporciona diagrama electrónico.

Dentro del código de programación del microcontrolador, el parámetro de retardo *delay* es el único que se puede ajustar para que cumpla la tarjeta electrónica con cualquiera de las dos funciones: regulador de voltaje electrónico o compensador de voltaje electrónico para equipo de uso doméstico.

Tabla 1

Diferencia de tiempos de retardo en operación y programación de reguladores y compensadores

Modelo	Descripción	Tiempo de retardo (min)	Valor Delay (ms)
REG-1000	Regulador de voltaje 1000W	0	0
REG-2000	Regulador de Voltaje 2000W	0	0
COM-1000	Compensador de voltaje 1000W	5	300000
COM-2000	Compensador de voltaje 2000W	7	420000

Con respecto a la información recabada de los cuestionarios, se complementa con la recolección de datos conforme a los costos de componentes generales (Tabla 2) y costos de componentes particulares (Tabla 3). La recopilación de datos del cuestionario permitió realizar el análisis de costos de producción para posteriormente realizar el análisis de viabilidad a través del *benchmarking*.

Tabla 2

Lista general de costos y componentes para ensamble de regulado o compensador de voltaje

Item	Especificación	Valor/matrícula	Cantidad	Costo	Total
D1	Diodo led rojo	E5/ROJ-C	1	\$0.69	\$0.69
D2-D3	Diodo led amarillo	E5/AMB-C	2	\$0.69	\$1.38
D4	Diodo led verde	E5/VER-C	1	\$0.69	\$0.69
R1	Café, negro, rojo, dorado	1K	1	\$0.05	\$0.05
R2	Café, verde, dorado, dorado	15	1	\$0.05	\$0.05
R3	Café, negro, rojo, dorado	1K	1	\$0.05	\$0.05
R4	Café, verde, dorado, dorado	15	1	\$0.05	\$0.05
R5	Café, negro, rojo, dorado	1K	1	\$0.05	\$0.05
D5-D14	Diodo rectificador	1N4007	10	\$0.34	\$3.40
K1-K3	Relevador Automotriz 1P/2T Bobina de 12 Volts CD	E-RX1-1240	3	\$22.10	\$66.30
T1-T5	Transistor MPS 2222A	MPS/2222A	5	\$0.88	\$4.40
CI	LM339N/19DXG	LM339	1	\$2.43	\$2.43
DZ1	Diodo Zener 6.2V 1/2W	Z6.2V 1/2	1	\$0.69	\$0.69

Tabla 2*Lista general de costos y componentes para ensamble de regulado o compensador de voltaje*

Item	Especificación	Valor/matrícula	Cantidad	Costo	Total
DZ2	Diodo Zener 5.1V 1/2W	Z5.1V 1/2	1	\$0.69	\$0.69
F1	Fusible europeo 53-1.0	FEUR 1.0	1	\$0.75	\$0.75
PF	Porta fusible abrazadera-tipo europeo	FUS-EUR	1	\$1.21	\$1.21
V1	Varistor 14 Joules (V201KD14)	DNR/14D201K	1	\$3.78	\$3.78
S1	Microswitch	AU-101	1	\$0.41	\$0.41
C1-C3	Capacitor electrolítico	470 uF/25V	3	\$1.87	\$5.61
C4-C7	Capacitor electrolítico	1 uF/ 63V	4	\$0.52	\$2.08
C8	Capacitor electrolítico	4.7 uF/ 63V	1	\$0.53	\$0.53
R6-R7	Café, negro, verde, dorado	1M	2	\$0.05	\$0.10
R8-R10	Café, negro, rojo, dorado	1K	3	\$0.05	\$0.15
R11	Verde, azul, amarillo, dorado	560K	1	\$0.05	\$0.05
R12-R22	Amarillo, violeta, rojo, dorado	4.7K	10	\$0.05	\$0.50
R23	Verde, azul, rojo, dorado	5.6K	1	\$0.05	\$0.05
R24-R25	Café, verde, amarillo, dorado	150K	2	\$0.05	\$0.10
R26-R29	Rojo, rojo, naranja, dorado	22K	4	\$0.05	\$0.20
R30-R31	Verde, azul, naranja, dorado	56K	2	\$0.05	\$0.10
R32	Naranja, naranja, naranja, dorado	33K	1	\$0.05	\$0.05
R33	Café, negro, naranja, dorado	10K	1	\$0.05	\$0.05
R34	Naranja, blanco, naranja, dorado	39K	1	\$0.05	\$0.05
R35	Café, verde, rojo, dorado	1.5K	1	\$0.05	\$0.05
R36	Verde, azul, rojo, dorado	5.6K	1	\$0.05	\$0.05
R37	Rojo, violeta, rojo, dorado	2.7K	1	\$0.05	\$0.05
F2	Fusible 15a /250v	FAME15	1	\$0.84	\$0.84
P2	Porta fusible tipo americano	AMPF-3	1	\$5.98	\$5.98
	Toma corriente aterrizado	905-120	1	\$7.40	\$7.40
	Cable de línea uso rudo Calib14 1.2 m	E-SJT3X14Z-120	1	\$40.80	\$40.80
	Cincho de nylon	TY23BL	1	\$0.08	\$0.08
	Soldadura de Rollo \$580 x rollo/ se utiliza un 4% por pieza	SOL60-400	1	\$4.00	\$4.00
Externos	Gromet pasa Cable		1	\$1.00	\$1.00
	Pata de hule		4	\$4.00	\$16.00

Tabla 2*Lista general de costos y componentes para ensamble de regulado o compensador de voltaje*

Item	Especificación	Valor/matrícula	Cantidad	Costo	Total
	Pija No 8 X 3/8"		9	\$4.50	\$40.50
	Cable calibre 14		1	\$2.00	\$2.00
	Tornillo de 3/16 x1/2" con tuerca hexagonal		4	\$4.00	\$16.00
	Caja de cartón master (empaques múltiples)		1	\$13.50	\$13.50
	Caja de cartón Individual		1	\$5.50	\$5.50
	Fajilla COLOR BOX		1	\$12.00	\$12.00
Empaque	Bolsa de polietileno		1	\$0.36	\$0.36
	Instructivo y garantía		1	\$0.70	\$0.70
	Etiqueta NOM		1	\$0.35	\$0.35
	Etiqueta de Identificación de Producto		1	\$0.40	\$0.40
				Subtotal:	\$264.25

Nota. No se incluye el costo de transformador y gabinete por ser diferente para cada modelo. Precios en pesos mexicanos.

Tabla 3*Lista de costos de gabinete y transformador por modelo de regulador o compensador de voltaje*

Modelo	Descripción	Costo estimado de gabinete	Costo estimado de transformador	Subtotal
REG-1000	Regulador de voltaje 1000W	\$165.00	\$188.00	\$353.00
REG-2000	Regulador de Voltaje 2000W	\$195.00	\$328.00	\$523.00
COM-1000	Compensador de voltaje 1000W	\$180.00	\$188.00	\$368.00
COM-2000	Compensador de voltaje 2000W	\$195.00	\$328.00	\$523.00

Nota. Precios en pesos mexicanos.

De acuerdo con el área de producción (maquila), y la información proporcionada respecto al número de personal requerido, y los tiempos de ensamble, se obtuvieron los valores de la Figura 5, para el análisis VSM, considerando cuatro operadores en la línea de ensamble. En la Tabla 4 se muestran los valores de costos de mano de obra para la producción de 500pz considerando la venta mensual obtenida del estadístico de venta.

Figura 5

Tabla VSM por operador para línea de ensamble de reguladores y compensadores de voltaje

OP1		OP2		OP3		OP4	
1	@	1	@	1	@	1	@
CT	300	CT	240	CT	300	CT	300
CO	10	CO	10	CO	10	CO	10
WH	3600	WH	3600	WH	3600	WH	3600
Pc/shi	12	Pc/shi	14	Pc/shi	12	Pc/shi	12

Tabla 4

Costos de mano de obra considerando producción de 500pz

Concepto	Valor
Tiempo de operación	20 min/pz
Piezas por hora	12
Cantidad a producir	500
Tiempo de fabricación	42 h
Costo de operación	\$14,784.00
Costo unitario	\$30.00

Conforme los costos parciales, se pudo obtener el costo por número de parte, el cual se desglosa en la Tabla 5. No se considera el margen de utilidad esperado por la alta dirección. Sin embargo, se obtiene el costeo que puede ser comparado directamente con el costo de los proveedores externos que provee los reguladores y compensadores de voltaje de uso doméstico.

Tabla 5

Costos de producción por número de parte para lotes de 500pz

Modelo	Descripción	Costo general de componentes	Costo particular de componentes	Costo de mano de obra	Costo total
REG-1000	Regulador de voltaje 1000W	\$264.25	\$353.00	\$30.00	\$647.25
REG-2000	Regulador de Voltaje 2000W	\$264.25	\$523.00	\$30.00	\$817.25
COM-1000	Compensador de voltaje 1000W	\$264.25	\$368.00	\$30.00	\$662.25
COM-2000	Compensador de voltaje 2000W	\$264.25	\$523.00	\$30.00	\$817.25

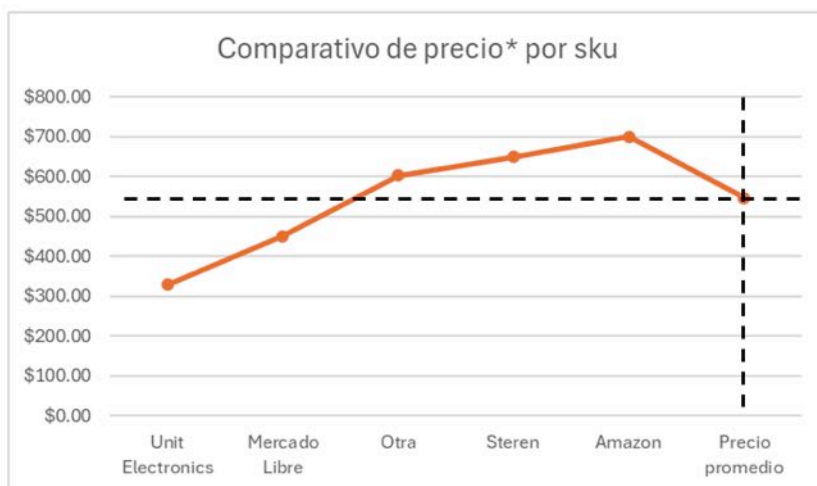
No se tuvo el nivel de utilidad, por lo tanto se presenta el estudio de *benchmarking* con los precios correspondientes al producto ofertado actualmente. La recopilación de información se realizó en plataformas de *e-commerce*, tiendas departamentales y especializadas de diferentes distribuidores. Fueron pocas las ofertas de características y especificaciones similares al producto ofertado por la empresa; se recabó la información disponible, pero no fue conveniente realizar los cálculos para cantidad de muestra (Figuras 6, 7 y 8).

Figura 6

Benchmarking del regulador de voltaje modelo REG-1000 – regulador de voltaje 1000W con cuatro contactos

Vendedor	Precio
Unit Electronics	\$329.00
Mercado Libre	\$450.00
Otra	\$602.68
Steren	\$649.00
Amazon	\$699.00

**Precio promedio:
\$545.94**



*Precio al público C/IVA

Figura 7

Benchmarking del compensador de voltaje modelo COM-1000 – compensador y regulador de voltaje 1000W para electrodomésticos

SITIO WEB	VENDEDOR	PRECIO
CYBERPUERTA	CYBERPUERTA-KOBLENZ	\$1,289.00
Amazon	TEMISA-RVR	\$849.00
	BAZOOKA-KOBLENZ	\$1,581.00
	SK-KLEINSTAD	\$1,769.00
Otra	COCOISA-TEMISA	\$1,530.00
STEREN	STEREN-STEREN	\$1,590.00
CHEDRAUI	CHEDRAUI-KOBLENZ	\$1,645.00
LIVERPOOL	LIVERPOOL-KOBLENZ	\$1,665.15
OFFICE DEPOT	OFFICE DEPOT-KOBLENZ	\$1,759.00
WALMART	WALMART ON LINE-KOBLENZ	\$1,799.00
MERCADO LIBRE	MERETI BENDIX-TEMISA	\$970.00
	ECOMM-SE-KOBLENZ	\$1,512.00
	VUELODEGRANAD-KLEINSTAD	\$3,361.00



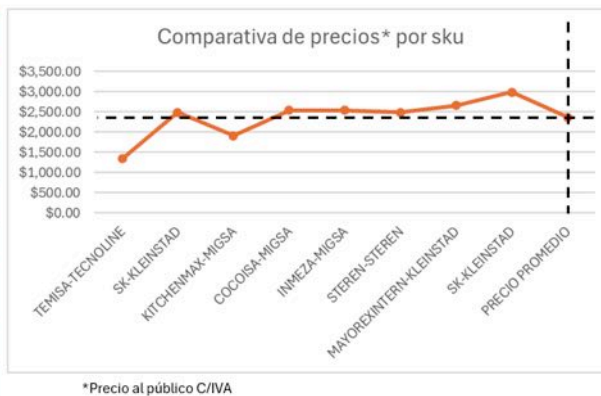
*Precio al público C/IVA

Precio promedio:
\$1,639.94

Figura 8

Benchmarking del compensador de voltaje modelo COM-2000 – compensador y regulador de voltaje de 2000W para electrodomésticos

SITIO WEB	VENDEDOR	PRECIO
AMAZON	TEMISA-TECNOLINE	\$1,339.00
	SK-KLEINSTAD	\$2,488.20
OTRA	KITCHENMAX-MIGSA	\$1,914.00
	COCOISA-MIGSA	\$2,541.00
	INMEZA-MIGSA	\$2,541.00
STEREN	STEREN-STEREN	\$2,490.00
MERCADO LIBRE	MAYOREXINTERN-KLEINSTAD	\$2,664.00
	SK-KLEINSTAD	\$2,990.00



*Precio al público C/IVA

Precio promedio:
\$2,370.90

5. Discusión y conclusiones

El presente trabajo explora de manera sistemática la estructura, características relevantes y críticas de un circuito impreso para que, con el conocimiento previo sobre lo que se espera entregar como producto terminado, que consiste en una única tarjeta de circuito impreso unificada para la fabricación y ensamble de cuatro modelos diferentes de compensadores y reguladores electrónicos de voltaje, se pueda proyectar y presentar propuesta para la implementación del área de ensamble encargada de una línea de producción.

Derivado del trabajo de investigación, se desprende que la mayoría de las hipótesis planteadas al inicio son ciertas con respecto a la viabilidad técnica del desarrollo y unificación de una sola tarjeta de circuito impreso para cuatro modelos diferentes. Sin embargo, también se desprende que, en término de costos, sería mejor la generación de dos tarjetas unificadas: una para reguladores de voltaje y otra para compensadores de voltaje, ya que estos últimos requieren una mayor cantidad de componentes como relevadores y semiconductores para las funciones de ajuste de tiempo (timer) y corte de voltaje. Se estima que para el caso particular de reguladores se puede conseguir una reducción adicional de hasta el 15% en el costo de componentes que conforma la tarjeta de circuito impreso.

La lección aprendida del reto inicial fue no contar con información detallada que permitiera tener la especificación concreta detallada de todos los elementos respecto a dimensiones de los gabinetes y otros elementos asociados al ensamble. Esto hubiera acortado el tiempo de espera de las fuentes primarias logrando reducir el tiempo de ejecución del presente trabajo de investigación. Asimismo, se consideraron algunos precios de los componentes de páginas de comercio electrónico, por lo que una gran área de oportunidad corresponde a contar con cotizaciones formales de proveedores, pues supondría mayor precisión en dicho estudio.

Para profundizar en las normas, también hay áreas de oportunidad y limitantes tomando en cuenta que la mayoría no son de libre acceso y se debe cubrir una cuota por las mismas, pero como parte del método y contenido de investigación, sí se debió identificar cuáles son aplicables al estudio.

Referencias

- Coombs, C. F. (2008). *Printed Circuits Handbook* (6ta. ed.). McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Hillmanurtis.com (2021). Rogers PSB Vs Fr4 PSB and its Performance. *Página web oficial de Hillman Curtis*.
<https://hillmancurtis.com/rogers-pcb/>
- IPC (2021). IPC standards. *Página web oficial de IPC*. <https://www.ipc.org/ipc-standards>
- ISO (2015). ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad.
<https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>

- Khandpur, R. S. (2006). *Printed Circuit Board Design, Fabrication, Assembly and Testing*. McGraw-Hill.
- Laverde A. (2020). *Diseño de tarjetas electrónicas PCB con estándares internacionales*. Aldelta.
- NYCE (2016). *NMX-I-60065-NYCE-2015 Equipo electrónico-aparatos de audio, video y aparatos electrónicos análogos-requisitos de seguridad, Publicación de declaratoria de vigencia en el DOF 22/02/2016*. NYCE S. C.
- Pavisich Serate, L. (2006). Las nuevas Herramientas de la Administración Moderna. *Página web oficial de Comercio Exterior*. <https://comercioexteriorcunl.files.wordpress.com/2013/10/reg060124203711.pdf>
- PCBWay.com (2021). Apilado de PCB de aluminio. *Página oficial de PCBWay*. https://www.pcbway.es/pcb_prototype/General_introduction_of_Aluminum_PCB.html
- Proto-Electronics.com (2021). Material de los PCB: una elección importante para su tarjeta electrónica ensamblada. *Página web oficial de Proto-Electronics*. <https://www.proto-electronics.com/es/blog/material-de-los-pcb-una-eleccion-importante-para-su-tarjeta-electronica-cableada>
- RAE (2021). "Riesgo" en Diccionario de la Lengua Española. *Página web oficial de la Real Academia Española*. <https://dle.rae.es/riesgo>
- Robertson, C. T. (2003). *Printed Circuit Boards Designer's Reference: Basics*. Prentice Hall.
- Spendolini, M. J. (1994). *Benchmarking*. Norma.

Transdigital[®]

revista científica

La revista científica *Transdigital* está indizada en varias bases de datos y evalúa los textos con el sistema de pares de doble ciego. Se admiten Artículos de investigación y Ensayos científicos. Opera con el modelo de *publicación continua*, de manera que se reciben textos todo el año. El costo de publicación es de 3,500 pesos mexicanos (220 USD). Una vez admitido, el artículo se publicaría en máximo 30 días naturales. Preferentemente, hasta tres autores(as) por texto. Conoce los detalles en:

www.revista-transdigital.org

Transdigital[®]

editorial

La Editorial Transdigital publica libros de carácter científico y académico. Se pueden publicar tesis de posgrado, una vez que han sido sometidas al sistema de evaluación de pares de doble ciego. Podemos cotizar tu libro si nos dices cuántas palabras tiene. El libro también se promocionaría en *Google Books*, *Amazon Kindle*, *Google Play*, *Scribd* y *iBooks de Apple*. Conoce los detalles en:

www.editorial-transdigital.org

Transdigital[®]

congreso virtual

Anualmente se realiza el *Congreso Virtual Transdigital*. Este evento académico se realiza de manera totalmente virtual. Las ponencias serán publicadas como capítulo de libro científico con ISBN, DOI y código de barras. La inscripción por texto, con un máximo de tres autores(as) es de 5,000 pesos mexicanos (300 USD). Todos los detalles en:

www.congreso-transdigital.org

