

Diseño de una metodología para pruebas eléctricas en la introducción de nuevos productos electrónicos en la industria manufacturera¹

Design of a methodology for electrical testing in the introduction of new electronic products in the manufacturing industry

L. León, E.G. Parada y J.M. Preciado

Recibido: abril 29 de 2025 – Aceptado: diciembre 30 de 2025.

Resumen— Para las industrias dedicadas a la fabricación de equipo electrónico, es fundamental realizar las pruebas eléctricas que garanticen la calidad, el correcto funcionamiento y la seguridad de los productos. El objetivo principal de esta investigación es desarrollar y definir un proceso para la implementación de pruebas eléctricas en aquellos productos que lo requieran. Para ello, se propone una metodología que estandariza dicho proceso mediante las validaciones IQ (Calificación de instalación), OQ (Calificación de operación) y PQ (Calificación de desempeño), comúnmente utilizadas en la industria de manufactura médica. Además, se incorporan herramientas que fortalecen la validación del proceso, como el diagrama de SIPOC (diagrama general del proceso), que ofrece una visión general del mismo; la prueba de GR&R (Gage de repetibilidad y reproducibilidad), que analiza la repetibilidad y reproducibilidad de las pruebas; y el análisis de capacidad, que refuerza la etapa final de la metodología al validar el desempeño de los equipos.

Palabras clave— equipo electrónico, productos electrónicos, metodología, pruebas eléctricas, validación.

¹Producto derivado del proyecto de investigación “Diseño de una metodología para pruebas eléctricas en la introducción de nuevos productos en la industria manufacturera”, apoyado por la Universidad de Sonora a través de la Maestría en Ingeniería: Ingeniería en Sistemas y Tecnología, del Departamento de Ingeniería Industrial.

L. Leon, Universidad de Sonora, Hermosillo, México, email: a222230097@unison.mx.

E. G. Parada, Universidad de Sonora, Hermosillo, México, email: elsy.parada@unison.mx.

J. M. Preciado, Universidad de Sonora, Hermosillo, México, email: juan.preciado@unison.mx.

Como citar este artículo: : Leon, L., Parada, E.G. y Preciado, J.M., Diseño de una metodología para pruebas eléctricas en la introducción de nuevos productos en la industria manufacturera, Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 19, no. 38, pp. 23-28, julio-diciembre 2025.

DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.3221>.

Abstract— For industries dedicated to the manufacture of electronic equipment, it is essential to perform electrical tests that guarantee the quality, proper functioning, and safety of the products. The main objective of this research is to develop and define a process for implementing electrical testing on products that require it. To this end, a methodology is proposed that standardizes this process using IQ (Installation Qualification), OQ (Operational Qualification), and PQ (Performance Qualification) validations, commonly used in the medical manufacturing industry. Furthermore, tools that strengthen process validation are incorporated, such as the SIPOC diagram (General Process Chart), which provides an overview of the process; the GR&R test (Repeatability and Reproducibility Gauge), which analyzes the repeatability and reproducibility of the tests; and capability analysis, which reinforces the final stage of the methodology by validating the performance of the equipment.

Keywords— electronic equipment, electronic products, methodology, electrical tests, validation.

I. INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera requiere de una metodología que permita la realización de pruebas eléctricas en nuevos productos de manera eficiente. Para ello, se llevó a cabo un estudio en una empresa dedicada a la fabricación de productos electrónicos, el cual permitió hacer una aportación significativa para la mejora del proceso. La estructura de la empresa donde se realizó la intervención está conformada por los departamentos de calidad, ingeniería, almacén, compras, producción y pruebas eléctricas; en este último es donde se realizó el proyecto y se desarrolló la metodología propuesta.

El objetivo general es el diseño e implementación de una metodología para la estandarización del proceso de pruebas eléctricas mediante las validaciones IQ (calificación de instalación), OQ (calificación de operación) y PQ (calificación de desempeño) [1]. Este tipo de validación ha sido utilizado en investigaciones de otros autores en el ámbito farmacéutico [2],



debido a su eficacia en la validación de procesos ya que ayuda en asegurar la calidad, reducir costos y cumplir estándares gubernamentales. El no contar con un proceso definido en las pruebas provoca problemas de organización, resultando en incidentes como: la omisión de alguna prueba especificada por el cliente y el incumplimiento de los parámetros de calidad requeridos. Para cumplir con el objetivo general, se definieron los objetivos específicos: seleccionar las herramientas para validar la metodología, diseñar la metodología para introducir las pruebas eléctricas, diseñar una lista de validación con los puntos críticos a revisar durante el proceso y elaborar un registro con las pruebas realizadas que demuestren la confiabilidad de la prueba eléctrica y la metodología.

La planta analizada presenta deficiencias en el manejo de la información; se identificaron fallas en la instalación y operación de las pruebas, las cuales se deben a la ausencia de análisis pertinentes, la limitada capacidad de las herramientas utilizadas por la empresa o la falta de validación de los procesos. Al no estar estandarizados los pasos a seguir en la introducción de nuevas pruebas, cada ingeniero ejecuta según su propio criterio, esto genera serios conflictos en el desarrollo y los tiempos de ejecución al iniciar el proceso de producción.

II. MARCO TEÓRICO

A. Calificación de procesos IQ, OQ y PQ.

Para llevar a cabo el diseño de los procesos, es necesario tener un método de validación [3]. La calificación de instalación (IQ) es la verificación documentada de que todos los aspectos clave de la instalación del sistema cumplen con los códigos apropiados, las intenciones de diseño aprobadas y que las recomendaciones de los fabricantes se han cumplido adecuadamente. La calificación de operación (OQ) significa la verificación documentada de que el sistema o subsistema relacionado con el equipo funciona según lo especificado a través de rangos operativos representativos o anticipados. La calificación de desempeño (PQ) se puede definir como una verificación documentada de que el proceso y/o el sistema total relacionado con el proceso se desempeña según lo previsto en todos los rangos operativos previstos.

B. Diagrama de SIPOC.

Una herramienta importante en la metodología propuesta es el diagrama SIPOC, que deriva de las siglas de Supplier (proveedores), Inputs (entradas), Process (proceso), Outputs (salidas) y Customers (clientes) [4], que es la representación gráfica de un proceso de gestión que permite entender e identificar los elementos importantes en un proceso. La herramienta sirve para analizar el proceso de una manera amplia, reconociendo los respectivos proveedores, todas las entradas y salidas del proceso y la vinculación de los clientes con cada paso del proceso; de este modo se pueden entender, clasificar y adaptar los requerimientos de los clientes.

C. GR&R.

Una herramienta orientada a garantizar la veracidad de las

mediciones obtenida es el Gage Repetibilidad y Reproducibilidad (GR&R) [5], es un proceso para examinar la no conformidad de herramientas, equipos y operadores. El estudio de Gage muestra a los operadores si el sistema de medición es aceptable para el uso previsto, también informa qué parte del sistema contribuye con la mayor variación de las mediciones, ayudando así al operador a mejorar el sistema de medición.

D. 5S.

Las 5S deriva de las palabras japonesas seiri (separar), seiton (ordenar), seiso (limpiar), seiketsu (sistematizar) y shituke (estandarizar) y es un método que hace visibles las anomalías [6]. En Toyota [7], inició en los años 1960 para lograr lugares de trabajo mejor organizados, más ordenados y limpios de forma permanente para conseguir una mayor productividad y un mejor entorno laboral.

E. Análisis de capacidad.

El análisis de capacidad [8], es una herramienta que se utiliza para la evaluación de la capacidad de una empresa que implica examinar su capacidad para satisfacer las necesidades del mercado mediante la producción de bienes o servicios. Este análisis se concentra en determinar si la empresa dispone de los recursos, habilidades y tecnología necesarios para cumplir con su capacidad productiva y atender la demanda. Para este proyecto el análisis de capacidad se enfoca en las pruebas eléctricas, su introducción e implementación.

F. Diagrama de Pareto.

Es una herramienta que permite comprender los problemas de una organización y analizar los tiempos para encontrar las falencias exactas para comparar y comprobar las mejoras realizadas. Desde el punto de vista estadístico, el Diagrama de Pareto determina que el 20% de esfuerzo en la resolución de los problemas significará 80% de resultados eficientes, en cambio 80% de esfuerzo significará 20% de resultados [9]. Esta herramienta ayuda a identificar fallas detectadas en la prueba eléctrica y así descartar las que no correspondan a este proceso.

III METODOLOGÍA

La metodología propuesta es del tipo explicativa, ya que plantea un objetivo claro y se basa en la revisión de información existente relacionada con el proyecto. No se enfoca en la creación de nuevas herramientas, sino en la recopilación y análisis de datos relevantes para el desarrollo de este mismo, con el fin de llegar a conclusiones sustanciales. Esta metodología incorpora un proceso que utiliza herramientas de validación para la introducción de pruebas eléctricas, lo que permite reducir los tiempos de ejecución y mantener el orden en las distintas etapas. De esta manera, se busca garantizar el cumplimiento de los parámetros establecidos y la calidad del producto final.

La metodología se desarrolla en 3 etapas según lo indica el proceso de calificación IQ, OQ y PQ (Fig. 1).

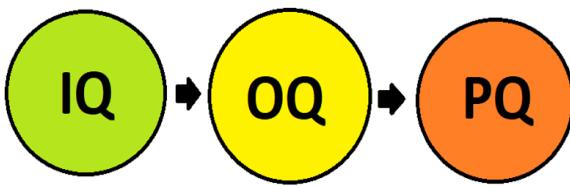


Fig. 1. Proceso de validación IQ, OQ y PQ.

El primer paso es la calificación de instalación (IQ), que consta de la revisión y validación de la correcta instalación de las herramientas y equipos, incluyendo los recibidos de otras instalaciones y los que fueron comprados o desarrollados internamente; se busca conocer todos los aspectos importantes para tener la seguridad de que todos los equipos se instalen correctamente. Para fortalecer esta primera etapa, se propone considerar dos herramientas: la primera es el diagrama SIPOC que permite la comprensión del proceso general de las pruebas eléctricas y la segunda es la metodología 5S que mantiene el orden en las áreas de trabajo para que toda la instalación se pueda concretar adecuadamente.

En el caso de los equipos y herramientas que provienen de distintos proveedores, se recomienda seguir las instrucciones del manual de fabricante para su correcta instalación. Para ello, es importante el desarrollo del diagrama de SIPOC (enfocado en las pruebas eléctricas) para conocer los equipos y proveedores con los que se estará trabajando. Además, se sugiere la aplicación de las 5S en todo momento del proceso, con el fin de prevenir contratiempos y asegurar un entorno de trabajo ordenado y eficiente.

Una vez concluido el análisis IQ, se da inicio a la segunda etapa que corresponde a la calificación de operación (OQ), cuyo objetivo es asegurar que la prueba eléctrica funcione correctamente, sin variación en sus mediciones. En esta parte se propone realizar un análisis GR&R (Gage Repeatability and Reproducibility), el cual permite verificar que la prueba sea precisa y consistente; para ello, se utilizan piezas del producto modificadas por parte del departamento de pruebas eléctricas con valores conocidos por ingeniería, que sean probadas por tres operadores para verificar que las mediciones de cada pieza no tengan variación.

Por último, si las dos etapas (IQ y OQ) fueron realizadas y validadas exitosamente, se prosigue con la tercera parte de la metodología, que es la calificación de desempeño (PQ). En esta etapa se propone el análisis de capacidad como herramienta fundamental, ya que con este se puede medir si la máquina cumple con el desempeño esperado y es capaz de satisfacer las demandas del cliente, es decir, que cumpla de manera óptima con los tiempos requeridos en cada prueba.

Una vez concluidas las tres etapas y habiendo ejecutado una corrida controlada, se deben extraer los datos de prueba y realizar un filtrado de las fallas que se hayan presentado en el producto, para lo que se propone realizar un diagrama de Pareto con las fallas, que permita identificar las que fueron causadas por la prueba eléctrica (aquellas que no correspondan a la prueba eléctrica serán descartadas) para así poder

documentar la confiabilidad de la prueba o bien, en caso contrario, identificar los puntos de mejora.

Para finalizar, se propone realizar una lista de validación con los puntos importantes a revisar encontrados durante las tres etapas. Esta servirá como referencia para futuras liberaciones por parte de los departamentos correspondientes cada vez que se realice el Setup de la prueba eléctrica del producto. El análisis del diagrama de Pareto, lista de validación, GR&R, análisis de capacidad y diagrama de SIPOC se resguardarán en un archivo como evidencia de que el proceso de introducción y validación se llevó de manera correcta.

IV. IMPLEMENTACIÓN

Una vez desarrollada la metodología, se procedió con la fase de implementación.

A. Calificación de instalación (IQ).

Para la calificación de instalación, se identificaron las herramientas necesarias: multímetros, osciloscopios, fuentes de poder variable, medidores de iluminación entre otros. Es recomendable incluir otros tipos de equipos complementarios como lo son computadoras, mesas, cables banana, bajadas de aire presurizado y corriente eléctrica.

1) Desarrollo del diagrama SIPOC.

Para comprender adecuadamente el proceso para la introducción de pruebas eléctricas para nuevos productos, se desarrolla un diagrama de SIPOC considerando los puntos solamente para pruebas eléctricas, ya que el resto del proceso deberá tener un diagrama SIPOC por separado.

2) 5S en la introducción y desarrollo para pruebas eléctricas.

Para las pruebas eléctricas al introducir nuevos productos, se debe mantener orden constante en todos los equipos y herramientas que se utilizarán en la instalación de la prueba eléctrica (la prueba eléctrica se instalará según las instrucciones de instalación del proveedor de los equipos) para evitar pérdidas de tiempo por equipos y herramientas confundidas o extraviados, tomando en cuenta las 5S (Clasificación, Organización, Limpieza, Estandarización y Disciplina)

B. Calificación de operación (OQ).

Para la calificación de operaciones (OQ), se requiere haber elaborado de manera óptima la fase anterior (IQ), ya que una mala instalación puede afectar el resultado de esta etapa, donde el principal objetivo es valorar si la prueba cuenta con variaciones en sus mediciones.

Para llevar a cabo la calificación de operación, se tomó un producto de la empresa en la cual se desarrolla el proyecto; en este caso el modelo de PCBA con el número de parte MPRQ40002-308 (Fig. 2).



Fig. 2. PCBA MPRQ40002-308.

Para obtener los datos, se requirió de la ayuda del equipo técnico para la instalación de la prueba eléctrica (que internamente se le llama Setup de prueba) y del personal de producción para realizar las pruebas.

Con el personal necesario, se realizó la prueba de GR&R, que es la herramienta principal necesaria durante la calificación de operación, la cual indica si la operación de la prueba es correcta.

1) Análisis mediante prueba de GR&R.

En este proyecto, se consideraron 10 piezas del producto MPRQ40002-308 (algunas manipuladas por el departamento de pruebas eléctricas para que variara el resultado de su medición y fuese más sencillo identificar la repetibilidad y reproducibilidad de la prueba), probadas por tres operadores diferentes, por tres ocasiones cada una, lo cual resultó con un total de 90 pruebas realizadas. Para la prueba de GR&R se utilizó el software Minitab® en la cual se creó una hoja de trabajo las instrucciones de prueba anteriormente mencionadas.

Una vez creada la hoja de trabajo, se ingresaron los resultados de las mediciones obtenidas en la prueba eléctrica, en este caso se consideró como valor de medición, el amperaje de las piezas, ya que varía según el estado de la pieza y es una medida visible, a diferencia del voltaje que se encuentra en 3.3V en todo momento.

Una vez completado el llenado de las opciones para la prueba de GR&R, se obtuvieron los resultados. Uno de los puntos más importantes a revisar, es la tabla de Evaluación del sistema de medición en la línea de Gage R&R total (Tabla I); éste debe arrojar un resultado menor al 10%; en el caso de la prueba eléctrica del modelo MPRQ40002-308, el Gage R&R total se encuentra en 9.84% lo que demuestra que la repetibilidad y reproducibilidad de la prueba es excelente, así mismo el elevado número de categorías (18) evidencia que es posible distinguir claramente entre las piezas.

TABLA I
RESULTADOS DE PRUEBA DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD
(GR&R).

Fuente	Desv. Est. (DE)	Var. estudio (6 x DE)	%Var. estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	0.65611	3.9367	7.4100	9.84
Repetibilidad	0.65611	3.9367	7.4100	9.84
Reproducibilidad	0.00000	0.00000	0.00000	0.00
Operadores	0.00000	0.00000	0.00000	0.00
Parte a parte	8.82676	52.9606	99.7200	132.40
Variación total	8.85111	53.1067	100.0000	132.77

Número de categorías distintas: 18

C. Calificación de desempeño (PQ).

En la etapa de Calificación de Desempeño, se evaluó y validó el desempeño en la prueba eléctrica, para lo cual se realizaron análisis de comportamiento y parámetros del producto. A diferencia de la calificación de operación (OQ) que se centra en el comportamiento de la máquina, en esta validación se utilizó el análisis de capacidad como fundamento principal.

1) Análisis de capacidad.

Para el análisis de capacidad se recopilaron los datos basados en el tiempo de prueba, ya que es un requisito indispensable para saber si tiene la capacidad de realizar las pruebas en un tiempo suficiente para cumplir con la demanda esperada por el cliente. Cabe aclarar que si los resultados del análisis de capacidad son negativos no significa que la prueba sea negativa, sino que simplemente se necesitan más de una máquina para poder lograr con el objetivo; por ejemplo, si se necesita que la prueba dure 5 segundos por pieza para poder dar un estándar suficiente para la producción diaria, semanal o mensual y la prueba dura 10 segundos, no significa que la prueba sea negativa, sino que se requieren dos máquinas para lograr los 5 segundos requeridos.

Para el caso del ensamble seleccionado para este análisis, se calculó el tiempo de ciclo (el tiempo máximo que se necesita para poder cumplir con la demanda especificada por el proveedor). Se requiere que sean completadas 2,000 piezas diariamente, y si se considera un horario de lunes a jueves de 10.5 horas productivas, entonces como resultado se obtiene un tiempo ciclo por pieza de 18.9 segundos, lo cual indica que es el tiempo máximo que debe de durar la prueba por pieza para poder cumplir con la demanda.

Una vez que se obtuvo el tiempo de ciclo, se realizó el análisis de capacidad utilizando una pieza del ensamble y probándola 30 veces en la prueba eléctrica; después de eso, esos 30 datos fueron colocados en Minitab® y se realizó el análisis (Fig. 3).

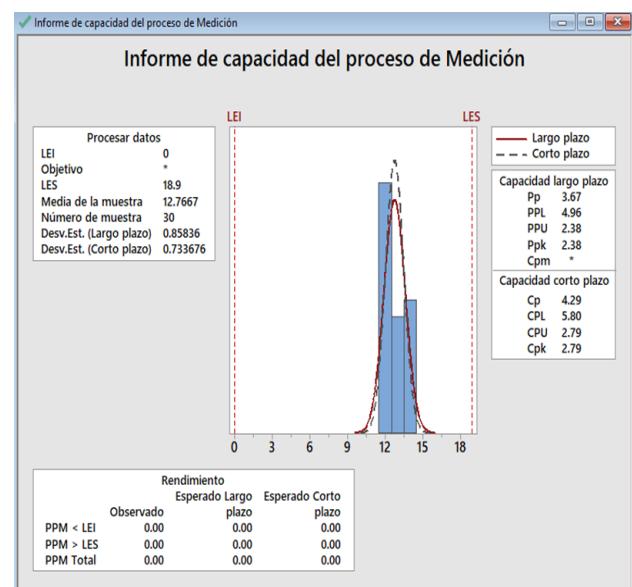


Fig. 3. Resultados de Análisis de capacidad.

Los límites establecidos fueron 0 para el inferior debido a que, entre más bajo el tiempo de prueba, es mejor para el proceso y 18.9 que son los segundos máximos que debe de tardar la prueba para poder cumplir con el requerimiento.

Se presentó una capacidad del proceso a corto plazo (Cpk) de 2.79, por lo cual se concluyó que, en este caso, el proceso tiene la capacidad suficiente para cumplir con la demanda requerida, así mismo, en el largo plazo (Ppk) de 2.38 indica una buena capacidad para condiciones reales.

2) Análisis mediante diagrama de Pareto.

El análisis mediante el diagrama de Pareto se realizó mediante un muestreo de datos que posteriormente se plasmaron gráficamente solo tomando en cuenta aquellos pertenecientes a las pruebas eléctricas, lo que permite identificar la cantidad de fallas encontradas y el tipo de defectos. En este caso, se extrajeron los datos de una semana de producción, ya que para poder realizar el análisis de fallas se requiere que se tenga una corrida controlada durante un tiempo determinado, y se realizó un filtrado de las fallas presentadas.

Al extraer los datos de fallas, por tratarse de una base de datos compartido, aparecen todos los defectos, por lo que se requiere centrar la búsqueda solamente en los defectos detectados en las pruebas funcionales.

Al realizarse el filtrado en la tabla dinámica (seleccionando en ensamble el número de parte utilizado) se obtienen el número de fallas y el tipo de defecto que presentaron en ese modelo en específico (Tabla II).

TABLA II

FILTRADO DE FALLAS POR NÚMERO DE PARTE USADO EN EL PROYECTO.

Historial de defectos en operación Semana Ensamble	Prueba funcional/retrabajo 4 MPRQ40002-408
Etiquetas de fila	Contador
AOI-TSS-AOI- Terminales sin soldar	12
TR-Terminales sin soldar	1
Total General	13

En la gráfica de Pareto puede apreciarse de mejor manera la cantidad de fallas presentadas, acomodadas de mayor a menor; en este caso, solo se tomaron en cuenta las fallas presentadas en las pruebas eléctricas (Fig. 4).

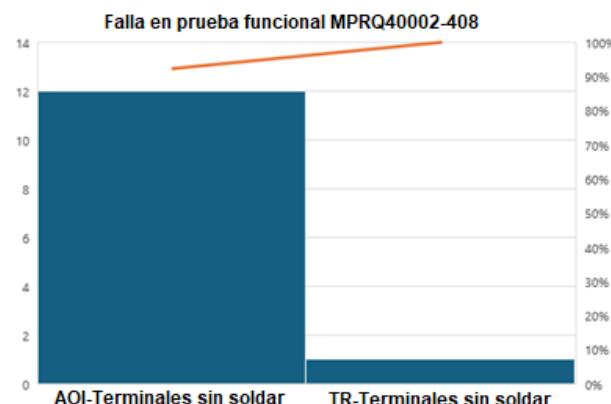


Fig. 4. Fallas en prueba eléctrica de PCBA MPRQ40002-408.

Se aprecia que los defectos presentados durante una semana de producción no se encuentran relacionados con las pruebas eléctricas, lo que ayuda a reforzar la funcionalidad de la metodología, concluyendo que los equipos se validaron exitosamente.

3) Lista de validación.

Con los puntos importantes a revisar durante las tres etapas de la metodología, se diseñó una lista de validación que podrá usarse para cada ocasión que la prueba eléctrica validada sea instalada, esto para mejora de los puntos de inspección y tiempo de instalación.

4) Evaluación de los resultados.

Para la evaluación de los resultados de la metodología, se recomienda recopilar los siguientes análisis realizados durante la metodología:

- Diagrama SIPOC: donde se muestren todos los puntos generales del proceso, con la información recopilada por los clientes y los departamentos involucrados.
- Análisis de GR&R: en el que se demuestre que la prueba eléctrica es estable y confiable.
- Análisis de Capacidad: el análisis mejora la comprensión de la capacidad de la prueba para cumplir con los requerimientos.
- Diagrama de Pareto: para mostrar los defectos encontrados durante la producción, o bien, la buena instalación, operación y desempeño.
- Lista de validación: con los puntos importantes a revisar encontrados durante las calificaciones IQ, OQ y PQ, que deberá ser utilizada cada vez que la prueba eléctrica sea instalada nuevamente.

El líder del proyecto dentro de la empresa asignará la forma y departamento encargado de archivar la información; cuando se necesite introducir o desarrollar una prueba eléctrica nueva, deberá realizarse el mismo proceso de validación que el mostrado en esta metodología.

V. CONCLUSIONES

Según la información obtenida por la empresa, inicialmente no se tenía un proceso definido para realizar las pruebas eléctricas durante la introducción de nuevos productos, por lo que no se recopilaba información mediante análisis de validación y calificación de equipos, ni se contaba con herramientas estandarizadas ni metodologías establecidas.

Una vez revisada la literatura en el tema, se seleccionaron herramientas de validación de la instalación, operación y desempeño de las pruebas eléctricas. Se adoptaron los métodos de calificación IQ (Instalación), OQ (Operación) y PQ (Desempeño), los cuales fueron complementados con herramientas de validación como el análisis de GR&R, análisis de capacidad y el diagrama de Pareto. Con base en ellos, se desarrolló una metodología para establecer un proceso estandarizado de pruebas eléctricas aplicable a la introducción de nuevos productos. Adicionalmente se propuso

una lista de verificación con los puntos clave a evaluar durante las etapas de calificación y validación.

Al tener las herramientas necesarias y un proceso estandarizado, se cuenta con el respaldo documental de los análisis realizados durante la metodología que evidencian su confiabilidad.

La metodología propuesta servirá a la industria manufacturera, particularmente a la industria electrónica, para contar con procesos estandarizados y validados que permitan cumplir con la calidad esperada por los clientes, así como la entrega oportuna de los productos y la reducción de los costos industriales. Se propone como trabajos futuros el desarrollo de metodologías similares en diferentes tipos de pruebas requeridas por la industria como las mecánicas e hidráulicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por el financiamiento de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Bearss, J.J., Honnold, S.P., Picado, E.S., Davis, N.M. y Lackemeyer, J.R. 2017. Validation and verification of steam sterilization procedures for the decontamination of biological waste in a biocontainment laboratory. *Applied Biosafety* 22(1), pp. 33–37. doi: 10.1177/1535676017694147.
- [2] Sabale, S. y Thorat, S. 2021. An Overview on Validation Process in Pharmaceutical Industries. *Scholars Academic Journal of Pharmacy* 10(6), pp. 95–101. doi: 10.36347/sajp.2021.v10i06.001.
- [3] Fraune, E., Kappel, W., “Factory IQ/OQ, A New Approach for Streamlining Validation of Cell Culture Equipment,” *ESACT Proceedings*, vol. 1. Springer, Dordrecht, 2001. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0369-8_115.
- [4] González González, H., Escobar Prado, C. A., “Aplicación de la herramienta SIPOC a la cadena de suministro interna de una empresa distribuidora de medicamentos,” *Revista Lumen Gentium*, 5(2), 119–134, 2021. https://doi.org/10.52525/lg.v5n2a8.
- [5] Jameel Haleel, A., Hussein, R., & Abd Alkareem, F. “Gage Repeatability and Reproducibility Study,” *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences*, 25(1), 213-225, 2018. Retrieved from https://jaaru.org/index.php/auisseng/article/view/120
- [6] Faulí Marín, A., Ruano Casado, L., Latorre Gómez, M. E., & Ballestar Tarín, M. L., “Implantación del sistema de calidad 5S en un centro integrado público de Formación Profesional,” *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 16(2), 147–161, 2013. https://doi.org/10.6018/reifop.16.2.181081.
- [7] Justine Roy O. Balinado and Yogi Tri Prasetyo. 2020. The Impact of 5S Lean Tool to Service Operation: A Case Study in Toyota Dasmarinas CaviteService Operations. In 2020 The 6th International Conference on Industrialand Business Engineering (ICIBE 2020), September 27–29, 2020, Macau, Macao.ACM, New York, NY, USA, 6 pages. https://doi.org/10.1145/3429551.34295801.
- [8] Vélez Valdivieso, M. A., “Propuesta de layout y análisis de capacidad para la Empresa LACTOVEL,” Tesis de grado de la Universidad del Azuay, 2023. http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13309.
- [9] Barrezueta Orellana, J. A., “Aplicación del diagrama de pareto en el departamento de cobranzas de la compañía de seguros Condor,” Trabajos de Titulación Facultad de Ciencias Empresariales (UTMACH),2020.http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/152 68.



Leonel León Maldonado. Ingeniero en Electrónica por parte del Instituto Tecnológico de Hermosillo y estudiante de la Maestría en Ingeniería: Ingeniería en sistemas y tecnología en la Universidad de Sonora. Con amplio conocimiento en la industria manufacturera, enfocado en pruebas eléctricas para productos electrónicos, industriales y automotrices. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3786-1998>.



Ely Guadalupe Parada Ruiz. Doctora en Ciencias Administrativas por el Instituto Politécnico Nacional, CDMX, México (2017). Actualmente es Profesora Investigadora del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Sonora. Ha trabajado como consultora de empresas y publicado artículos nacionales e internacionales en tópicos del área administrativa con enfoque en la manufactura. Es autora de capítulos de libro y libro, ha participado en congresos nacionales e internacionales y dirigido Tesis de Licenciatura y Posgrado. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1966-0749>.



Juan Martín Preciado Rodríguez. Doctor en Ingeniería con especialidad en computación por la Universidad Autónoma de Baja California (2011). Actualmente es Profesor Investigador en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Sonora. Ha dirigido tesis de doctorado, maestría y licenciatura en el CIAD, dentro de la Coordinación de Desarrollo Regional, en la línea de Organización Industrial, Mercado y Cadenas Productivas. También ha publicado artículos nacionales e internacionales en diversas áreas vinculadas al CIAD. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4997-0679>