

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL (Sede Central)

Ingeniería en Procesos y Calidad (IPC)

“Propuesta de análisis de la prueba de impedancia para la detección de las causas de variación y su reducción por medio de la metodología lean six sigma en la empresa Boston Scientific para el área de imaging core en el producto de HD en el departamento de opticross”

Trabajo final de graduación como requisito para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Procesos y Calidad

Integrantes

Wilberth Daniel Garita Araya

Brayan Antonio Calvo Barquero

Alajuela, Costa Rica

2024

## I.I Aprobaciones

25 de junio del 2024

Comisión de Trabajo Final de Graduación (TFG)

Carrera Ingeniería en Procesos y Calidad (IPC)

Universidad Técnica Nacional

**Asunto: Aprobación de tutor para el Proyecto Final de Graduación (TFG)**

Por medio de la presente, certifico que yo Zindy León Estrada, cédula 204800282 que he participado del proceso como tutora, he revisado y aprobado el proyecto de Trabajo de Final de Graduación (TFG) titulado: "Propuesta de análisis de la prueba de impedancia para la detección de las causas de variación y su reducción por medio de la metodología lean six sigma en la empresa Boston Scientific para el área de imaging core en el producto de HD en el departamento de opticross", presentado por los estudiantes Brayan Antonio Calvo Barquero, con número de identificación 206190794 y Wilberth Daniel Garita Araya, con número de identificación 402150476. Después de una cuidadosa revisión, confirmo que el proyecto cumple con los requisitos académicos y metodológicos establecidos por el Reglamento de Trabajo Final de Graduación de la Universidad Técnica Nacional y considero que está listo para ser presentado ante la comisión y continúe con las etapas siguientes. Agradezco la atención prestada y quedo a disposición para cualquier consulta adicional.

Atentamente,

**ZINDY LEON**  
**ESTRADA**  
**(FIRMA)**

Firmado digitalmente  
por ZINDY LEON  
ESTRADA (FIRMA)  
Fecha: 2024.06.25  
13:33:27 -06'00'

Firma del Tutor: \_\_\_\_\_

Nombre de la tutora: Zindy León Estrada  
Cargo: Docente UTN  
Email: zleon@utn.ac.cr  
Teléfono: 88292335

18/08/2024  
Alajuela/Costa Rica

**Miembro de Comisión de Trabajos Finales de Graduación**

**Licenciatura en Ingeniería en Procesos y Calidad**

**Universidad Técnica Nacional**

**Asunto:** Aval de lector de Trabajo Final de Graduación

Reciban un cordial saludo y éxitos en sus labores, la presente es para indicar que mi persona Ing. José Mauricio Alcázar Román, académico de la carrera de Ingeniería en Procesos y Calidad en la Universidad Técnica Nacional, certifico la lectura y aval del trabajo final de graduación titulado "Propuesta de análisis de la prueba de impedancia para la detección de las causas de variación y su reducción por medio de la metodología lean six sigma en la empresa Boston Scientific para el área de imaging core en el producto de HD en el departamento de opticross" de los estudiantes Wilberth Daniel Garita Araya y Brayan Antonio Calvo Barquero de la carrera de Ingeniería en Procesos y Calidad en la Universidad Técnica Nacional.

Agradeciendo de antemano su atención y colaboración.

Atentamente

JOSE MAURICIO  
ALCAZAR  
ROMAN (FIRMA)

Firmado digitalmente por  
JOSE MAURICIO ALCAZAR  
ROMAN (FIRMA)  
Fecha: 2024.08.18 11:18:39  
-06'00'

Ing. José Mauricio Alcázar Román MSc.  
Académico de la carrera de Ingeniería en Proceso y Calidad  
Sede Central  
Universidad Técnica Nacional

16 de julio, 2024

Alajuela

Miembro de Comisión de Trabajos Finales de Graduación  
Licenciatura en Ingeniería en Procesos y Calidad  
Universidad Técnica Nacional

**Asunto: Aval de lector de Trabajo Final de Graduación**

Reciban un cordial saludo y éxitos en sus labores, la presente es para indicar que mi persona Jason Gabriel Acevedo Esquivel, académico de la carrera de Ingeniería en Procesos y Calidad en la Universidad Técnica Nacional, certifico la lectura y aval del trabajo final de graduación titulado ***“Propuesta de análisis de la prueba de impedancia para la detección de las causas de variación y su reducción por medio de la metodología lean six sigma en la empresa Boston Scientific para el área de imaging core en el producto de HD en el departamento de opticross”*** de los estudiantes Wilberth Daniel Garita Araya y Brayan Antonio Calvo Barquero de la carrera de Ingeniería en Procesos y Calidad en la Universidad Técnica Nacional.

Agradeciendo de antemano su atención y colaboración.

Atentamente

JASON GABRIEL  
ACEVEDO  
ESQUIVEL (FIRMA)

Firmado digitalmente por  
JASON GABRIEL ACEVEDO  
ESQUIVEL (FIRMA)  
Fecha: 2024.07.16 14:47:31  
'06'00'

Jason Gabriel Acevedo Esquivel  
Académico de la carrera de Ingeniería en Proceso y Calidad  
Sede Central. Universidad Técnica Nacional

**CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA**

San Ramón de Alajuela, 26 de agosto, 2024


Universidad Técnica Nacional  
Ingeniería en Procesos y Calidad (IPC)

A quien corresponda:

Por este medio yo, Yurien Vindas González, mayor, casada, docente del Castellano y la Literatura, incorporada al Colegio de Licenciados y Profesores en Letras, Filosofía, Ciencias y Artes, con el número de carné 85873, vecina de San Ramón de Alajuela, portadora de la cédula de identidad 2-0735-0765 hago constar lo siguiente:

1. Que he revisado el Proyecto de Graduación para optar por el grado de licenciatura, titulado "Propuesta de análisis de la prueba de impedancia para la detección de las causas de variación y su reducción por medio de la metodología lean six sigma en la empresa Boston Scientific para el área de imaging core en el producto de HD en el departamento de opticross".
2. Que el Proyecto de Graduación es sustentado por los estudiantes Wilberth Daniel Garita Araya y Brayan Antonio Calvo Barquero.
3. Que el proyecto asignado por los autores para su revisión, se les hicieron las correcciones pertinentes en acentuación, ortografía, puntuación, concordancia gramatical, estilo y otras del campo filológico; queda en responsabilidad de los autores, haber hecho las recomendaciones pertinentes para tal caso.

En espera de que mi participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Técnica Nacional suscribe atentamente,



---

Yurien Vindas González

Licenciada en la Enseñanza del Castellano y Literatura

Estudiante de Maestría en la Enseñanza del Castellano y la Literatura

Carné

No. 85873

Filóloga

## II. 1 Agradecimientos

Expresar nuestro más sincero agradecimiento a **Boston Scientific** por brindarnos la oportunidad de realizar nuestro proyecto de graduación en su empresa. Su apoyo y confianza nos permitieron aplicar los conocimientos en un entorno profesional de alto nivel, lo que fue fundamental para el desarrollo de este trabajo. La experiencia adquirida en Boston Scientific ha sido invaluable para el crecimiento académico y profesional, y estamos profundamente agradecidos por la oportunidad de haber sido parte de este equipo durante este proyecto.

A la profesora **Zindy León Estrada**, nuestra tutora, por su invaluable apoyo, paciencia y sabiduría a lo largo de este proceso. Desde el inicio de este proyecto, nos has guiado con una dedicación que va más allá de lo académico. Tu orientación, siempre paciente y clara, ha sido esencial para superar los desafíos que surgieron en el camino. Gracias a tus consejos y al tiempo que has invertido en nuestra formación, hemos logrado culminar este trabajo con éxito.

Al profesor **Jason Acevedo Esquivel**, un educador excepcional que, con su vocación y esfuerzo, nos ha demostrado que los sueños se pueden lograr. Tu pasión por la enseñanza y tu dedicación han sido una fuente constante de inspiración para nosotros y para todos tus estudiantes. Gracias por mostrarnos que, con esfuerzo y determinación, podemos alcanzar nuestras metas y superar nuestras propias expectativas.

Y, por supuesto, a la **Universidad Técnica Nacional (UTN)**, por ser una institución educativa excepcional que ha brindado un ambiente propicio para nuestro crecimiento académico y personal. La UTN no solo nos ha proporcionado el conocimiento técnico necesario, sino que también nos ha formado como unas profesionales integrales, preparados para enfrentar los retos del mundo laboral con confianza y competencia. Estamos profundamente agradecidos por todo lo que hemos aprendido y vivido en esta universidad.

### **III.1 Dedicatorias**

#### **Brayan Antonio Calvo Barquero**

Con profundo agradecimiento dedico este trabajo a Dios, fuente inagotable de fortaleza, sabiduría y orientación. En cada momento de duda, en cada decisión importante y en cada paso que he dado su presencia ha sido mi guía constante. Sin su amor y apoyo, este logro no habría sido posible.

A mis padres, **Néstor Calvo González** y **Marubeny Barquero González**, quienes han sido mis pilares de apoyo incondicional. Gracias por creer en mí, por estar siempre a mi lado y por inculcarme los valores que han sido fundamentales en mi formación académica y personal. Su amor, sacrificio y confianza en mi potencial me han impulsado a alcanzar este objetivo, donde el apoyo además de mis hermanos siempre estuvo presente para lograr el éxito como profesional.

A **Tatiana Chaves Murillo**, quien ha estado a mi lado, brindándome su apoyo, confianza y cariño incondicional. Tu fe en mí ha sido un pilar fundamental, dándome la seguridad y la motivación necesarias para enfrentar cada desafío que se presentó. No solo has sido una compañera inigualable, sino también una fuente constante de inspiración y fortaleza. En los momentos más difíciles, tu presencia ha sido un faro de esperanza que me ha guiado hacia adelante, permitiéndome alcanzar mis metas. Este logro no es solo mío, sino también tuyo, porque sin ti, este camino habría sido mucho más arduo y solitario. Te agradezco de todo corazón por estar siempre ahí, creyendo en mí, incluso, cuando yo dudaba.

¡Este trabajo es un reflejo del amor, el apoyo y la fe de todos ustedes!

**Wilberth Daniel Garita Araya**

Quiero dedicar este logro, que representa años de esfuerzo, dedicación y perseverancia, a las personas más importantes en mi vida, quienes han sido mi fuente inagotable de inspiración y apoyo.

A mi querida esposa, Pamela Torres, quien ha estado a mi lado en cada momento de este camino, brindándome su amor, comprensión y aliento en los días más difíciles. Sin su paciencia y su fe en mí, este proyecto no habría sido posible. Gracias por ser mi compañera en esta aventura de la vida y por compartir conmigo cada sueño y meta.

A mis hermosos hijos, Sofía Garita y Liam Garita, quienes llenan mi vida de alegría y propósito. Ustedes son mi mayor motivación para seguir adelante y, cada logro que alcanzo es para asegurar un futuro mejor para ustedes. Ver sus sonrisas y sentir su amor me ha dado la fuerza para superar cada obstáculo. Este logro es tanto suyo como mío.

A mis padres, quienes desde siempre me enseñaron el valor del trabajo duro, la honestidad y la perseverancia. Ustedes me han mostrado el camino y me han apoyado en cada decisión que he tomado. Gracias por creer en mí y por estar siempre presentes, incluso en la distancia. Todo lo que soy y lo que he logrado se lo debo a los valores que ustedes me inculcaron.

A todos ustedes, que son mi pilar y mi razón de ser, dedico con todo mi corazón este proyecto. Su amor y apoyo incondicional han sido la clave para que hoy pueda celebrar este éxito. ¡Gracias por estar siempre a mi lado!

**Tabla de contenido****Contenido**

I.I Aprobaciones.....	2
II.1 Agradecimientos .....	6
III.1 Dedicatorias .....	7
CAPÍTULO I.....	14
1.1 Introducción .....	15
1.2 Antecedentes .....	17
1.3 Justificación .....	21
1.3.1. Prueba de impedancia .....	21
1.3.2. Métrica de Scrap .....	22
1.3.3. Producción (unidades confirmadas buenas).....	22
1.3.4. Métrica de rendimiento (yield) .....	23
1.4 Pregunta de Investigación .....	24
1.5. Hipótesis .....	24
1.6 Objetivo General.....	24
1.7 Objetivos Específicos.....	24
CAPÍTULO II.....	26
2. Marco teórico .....	27
2.1. Dispositivos médicos .....	27
2.2. Administración de Alimentos y Medicamentos (Food and Drug Administration) 27	
2.3 Proceso de OptiCross de Boston Scientific .....	28
2.4 Prueba de impedancia .....	28
2.5 Métodos de Prueba de Impedancia .....	28
2.6 Variación en la Prueba de Impedancia.....	29
2.7 Seis sigmas.....	29
2.8 Metodología DMAIC.....	29
2.9 SIPOC .....	31
2.10 Diagrama de flujo de proceso .....	32
2.11 Diagrama de Ishikawa.....	32
2.12 Diagrama de Vester.....	33
2.13 Análisis financiero .....	33
CAPÍTULO III .....	36
3. Marco Metodológico.....	37
3.2 Diseño y/o Tipo de Investigación .....	37
3.3 Alcance de Investigación .....	37
3.4 Tabla de Variables .....	37
3.5 Fuentes .....	39
3.6 Muestra .....	39
3.7 Instrumentos y Técnicas .....	40

3.8 Procedimiento .....	41
3.8.1 Definición el tema.....	41
3.8.2 Diseño de la investigación .....	42
3.8.3 Alcance de la investigación .....	42
3.8.3 Cuadro de variables.....	42
3.8.4 Fuentes .....	42
3.8.5 Muestra .....	42
3.8.6 Instrumento y técnica.....	43
3.8.7 Procedimiento .....	43
3.8.8 Antecedentes .....	43
3.8.9 Antecedentes .....	43
3.8.10 Justificación .....	43
3.8.11 Pregunta de investigación .....	44
3.8.12 Hipótesis (Según alcance de investigación).....	44
3.8.13 Objetivo general y específico.....	44
3.8.14 Conceptual .....	44
3.8.15 Herramientas aplicables.....	44
3.8.16 Análisis estadísticos .....	44
3.8.17 Análisis financiero .....	45
3.8.18 Referencias.....	45
3.8.19 Conclusiones y recomendaciones .....	45
CAPÍTULO IV.....	47
4. Desarrollo.....	48
4.1 Etapa de Definición.....	48
4.2 Etapa de Medición .....	55
4.3 Etapa de Análisis.....	71
4.4 Etapa de Mejora .....	82
4.5 Simulación del proceso actual de la propuesta de mejora para implementar .....	85
CAPÍTULO V.....	96
5. Evaluación financiera.....	97
CAPÍTULO VI.....	99
6. Conclusiones y recomendaciones .....	100
6.1 Conclusiones .....	100
6.2 Recomendaciones .....	102
CAPÍTULO VII.....	104
7 Referencias.....	105
CAPÍTULO VIII.....	108
8. Anexos .....	109

## Índice de figuras

### Contenido

Figura 1. <i>Tendencia % de scrap del defecto RM de enero a agosto 2023.</i> .....	22
Figura 2. <i>Unidades desechadas de enero a agosto 2023.</i> .....	23
Figura 3. <i>Rendimiento (yield) de enero a diciembre 2023.</i> .....	24
Figura 4. <i>Diagrama de SICOP Imaging Core</i> .....	49
Figura 5. <i>Diagrama de bloques Imaging Core.</i> .....	50
Figura 6. <i>Diagrama de flujo de Imaging Core.</i> .....	51
Figura 7. <i>Determinación de los CTQs.</i> .....	54
Figura 8. <i>Prueba de impedancia análisis enero 2023.</i> .....	57
Figura 9. <i>Prueba de impedancia análisis febrero 2023.</i> .....	58
Figura 10. <i>Prueba de impedancia análisis marzo 2023.</i> .....	58
Figura 11. <i>Prueba de impedancia análisis abril 2023.</i> .....	59
Figura 12. <i>Prueba de impedancia análisis mayo 2023.</i> .....	59
Figura 13. <i>Prueba de impedancia análisis junio 2023</i> .....	60
Figura 15. <i>Prueba de impedancia análisis agosto 2023.</i> .....	61
Figura 16. <i>Prueba de impedancia análisis septiembre 2023.</i> .....	61
Figura 17. <i>Prueba de impedancia análisis octubre 2023.</i> .....	62
Figura 18. <i>Prueba de impedancia análisis noviembre 2023.</i> .....	62
Figura 19. <i>Prueba de impedancia análisis diciembre 2023.</i> .....	63
Figura 20. <i>Análisis de producción enero 2023.</i> .....	64
Figura 21. <i>Análisis de producción de febrero 2023.</i> .....	64
Figura 22. <i>Análisis de producción marzo 2023.</i> .....	65
Figura 23. <i>Análisis de producción abril 2023.</i> .....	65
Figura 24. <i>Análisis de producción mayo 2023.</i> .....	66

Figura 25. <i>Análisis de producción junio 2023.</i> .....	66
Figura 26. <i>Análisis de producción julio 2023.</i> .....	67
Figura 27. <i>Análisis de producción agosto 2023.</i> .....	67
Figura 28. <i>Análisis de producción septiembre 2023.</i> .....	68
Figura 29. <i>Análisis de producción octubre 2023.</i> .....	68
Figura 30. <i>Análisis de producción noviembre 2023.</i> .....	69
Figura 31. <i>Análisis de producción diciembre 2023.</i> .....	69
Figura 32. <i>% Scrap diario enero a diciembre 2023.</i> .....	70
Figura 33. <i>% rangos de rendimiento enero a diciembre 2023.</i> .....	71
Figura 34. <i>Diagrama Ishikawa prueba de impedancia.</i> .....	74
Figura 35. <i>Cuadrante de las variables de la matriz Vester.</i> .....	76
Figura 36. <i>Diagrama de Pareto de las causas del defecto de alto RM.</i> .....	77
Figura 37. <i>Histograma de la interferencia eléctrica del conector.</i> .....	78
Figura 38. <i>Conector azul con visible desgaste en las conexiones.</i> .....	79
Figura 39. <i>Conector verde con visible desgaste en las conexiones.</i> .....	79
Figura 40. <i>Conector rojo sin desgaste en las conexiones.</i> .....	79
Figura 41. <i>Simbología de las unidades de calibración (compensation unit).</i> .....	80

## Índice de tablas

### Contenido

Tabla 1. <i>Análisis de variable del proyecto.</i> .....	38
Tabla 2. <i>Fuentes de investigación del proyecto.</i> .....	39
Tabla 3. <i>Diagrama de Grantt de las actividades del proyecto</i> .....	46
Tabla 4. <i>Acta de proyecto</i> .....	48
Tabla 5. <i>Análisis de la voz del cliente.</i> .....	53
Tabla 6. <i>Análisis del plan de medición de datos.</i> .....	55
Tabla 7. <i>Datos estadísticos de las variables de análisis.</i> .....	72
Tabla 8. <i>Análisis de la Matriz de Vester en la prueba de impedancia alto RM.</i> .....	75
Tabla 9. <i>Comparación de proceso actual vs la propuesta de la mejora.</i> .....	94
Tabla 10. <i>Resumen del costo del capital.</i> .....	97
Tabla 11. <i>Resumen Flujo de caja.</i> .....	97
Tabla 12. <i>Resumen Flujo de caja general de inversión.</i> .....	98

# CAPÍTULO I

## 1.1 Introducción

La metodología Six Sigma es útil y clave en el ámbito empresarial porque mediante su ciclo DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), logra la minimización de pérdidas de riesgo operativo en procesos críticos. Debido a su valor y resultados en este trabajo se propone su aplicación en la empresa Boston Scientific que comercializa sus productos bajo estrictos estándares de calidad por lo que la aplicación de la metodología permitirá la optimización del proceso en el área de *Imaging Core* en el producto de HD en el departamento de Opticross.

De acuerdo con Linsay (2021) la metodología *Six Sigma* a través del uso del ciclo DMAIC, logra una significativa reducción de las causas de la variación en la producción de dispositivos médicos, lo que contribuye a mejorar la seguridad y eficacia de los productos, beneficiando tanto a pacientes como a la industria en general.

El presente proyecto pretende analizar las causas de la variación presentes en las pruebas de impedancia que se realizan en el área de *Imaging Core* en el producto de HD en el departamento de opticross. Dicha prueba, es esencial en el mundo de la electrónica y dispositivos médicos para determinar su calidad. Para Cruz (2020) la impedancia es aquella que mide la resistencia y reactancia de un circuito para así entender como los dispositivos interactúan con las señales eléctricas.

El resultado esperado de este proyecto es contribuir al desarrollo de productos médicos y electrónicos, por medio de la determinación de las causas de variación en las pruebas de impedancia con el fin de lograr una mejora en la calidad y la precisión de las mediciones eléctricas, asegurando que estos sean confiables y precisos en diversas condiciones.

Siguiendo los principios de *Six Sigma* se buscará identificar y eliminar las fuentes de variación que afectan negativamente la calidad, utilizando herramientas y técnicas específicas, que permitan que la prueba de impedancia logre estar dentro de las especificaciones determinada por la compañía y así disminuir los problemas de imagen. Como parte del desarrollo del proyecto es crucial el concepto técnico de los operadores, así como los ingenieros del proceso para

identificar las fuentes claves de las causas de la variación y las fuentes de información que serán cruciales para esta investigación.

## 1.2 Antecedentes

El dispositivo médico *Impedance Test Imaging Core* es una herramienta crucial en el ámbito de la medicina, ya que permite evaluar mediante la prueba de impedancia la respuesta eléctrica de los tejidos biológicos en un amplio rango de frecuencias, permitiendo la caracterización de tejidos biológicos; así como la evaluación de su transformación de sano a patológico y detección de posibles problemas de funcionamiento.

Este dispositivo presenta un problema recurrente de impedancia, lo cual puede comprometer su precisión y confiabilidad en la detección de anomalías. Aplicar la metodología *Six Sigma DMAIC* al problema de impedancia del dispositivo médico *Impedance Test Imaging Core* proporciona un marco estructurado para identificar las causas de las variaciones en la prueba de impedancia, además analizar los datos recopilados, desarrollar soluciones efectivas y establecer controles para mantener la calidad a largo plazo.

Según Morales et al., (2021), en los transductores de pruebas de impedancia, la migración de iones en el electrolito, al igual que la circulación de electrones en los metales, muestra un comportamiento óhmico lejos de la interfaz. Por esta razón es común incluir un elemento resistivo o resistencia (RE). en el circuito que simula o representa la interfaz; por lo que se puede deducir que cuando se diseña un circuito para simular o representar una interfaz (como puede ser un componente electrónico), siempre se incluye un componente llamado resistencia (RE) en ese circuito. La resistencia se utiliza para controlar la cantidad de corriente eléctrica que fluye a través de la interfaz y garantizar que funcione correctamente, que no se presente: una pérdida de eficiencia en el dispositivo, variaciones en las mediciones de impedancia, interferencia en la transmisión de señales, o incluso, fallos en su funcionamiento.

Según Morales et al., (2021) es crucial abordar de manera adecuada los problemas de impedancia relacionados con la soldadura en dispositivos médicos para garantizar su rendimiento óptimo y confiable.

También, Buchini (2021) en su investigación llevó a cabo una comparación crítica entre los modelos previos, como *Giaecer-Keese*, *LoGiacer-Keese* y de campo medio, y el modelo mesoscópico. En este análisis se examinó el efecto del diámetro de microelectrodo desde la

perspectiva de cada modelo. Los resultados indican que el modelo mesoscópico se destaca al ser el que mejor predice los resultados experimentales. A pesar de la dependencia de los parámetros con el radio de los microelectrodos que se exhibió, se demostró que este modelo es capaz de representar los datos experimentales para un amplio rango de radios.

El estudio destaca la importancia y efectividad del modelo mesoscópico en la predicción de resultados experimentales donde se puede relacionar con la impedancia en dispositivos médicos y la capacidad de representar los datos experimentales para un amplio rango de radios de microelectrodos de muestra su aplicabilidad y utilidad en la investigación y desarrollo de soluciones en este campo.

Como bien lo afirma Peláez, (2022) las calibraciones que usan el método SOLT, de acuerdo con la literatura encontrada, dependen de la calidad de los conectores y cables. Por este motivo si los conectores o cables se encuentran con defectos o dañados las mediciones resultantes no serían las óptimas. Esto se pudo demostrar con las simulaciones mostradas en este trabajo, ya que los conectores influenciaron en los resultados, donde la calibración garantiza que los equipos de medición y prueba proporcionan resultados precisos y confiables. Esto es esencial para asegurar la calidad de los productos y servicios, así como para cumplir con los estándares y regulaciones establecidos.

Como Domínguez et al., (2020), señala, al aplicar la metodología DMAIC en el área de *cytology* se obtuvieron resultados favorables para realizar mejoras en el sistema de calidad y de producción. El uso de esta herramienta permitió disminuir los costos, los rechazos, retrabajos y tiempos de entrega hasta un 60%. Además, otro aspecto importante es que, para implementar la mejora, no fue necesaria ninguna inversión, sino solamente controlar el ajuste de cada uno de los factores en los niveles establecidos. Antes de este proyecto no existía una forma fija de operar el proceso y este se modificaba dependiendo del punto de vista o criterio de los operadores o del supervisor de línea.

De acuerdo con lo que menciona Desimavilla (2021), la metodología DMAIC en sus diferentes etapas propone el uso de diferentes herramientas que permiten identificar problemas y que ayudan a reducir las causas de la variación en los procesos. En su trabajo se propone la disminución de merma de envases usados en el proceso productivo de una línea de envasado, lo

cual mediante control estadístico se terminó los defectos críticos identificando su causa raíz, y permitieron monitorear de manera práctica las causas de la variación de la línea en función del tiempo. Por lo que se puede deducir, que este estudio se centró en proponer la disminución de desperdicios de envases en una línea de envasado a través del control estadístico, logrando eliminar defectos críticos al identificar las causas fundamentales.

Otro hallazgo importante es el que menciona Ortiz (2020) relacionado con la introducción exitosa del *Six Sigma* por Motorola y la posterior consolidación de la estrategia en las grandes corporaciones como *Allied Signal* y *General Electric (GE)*, las cuales contribuyeron a crear desde el inicio, una cultura de mejora que trajo consigo grandes rasgos significativos y ventajas en la competitividad y productividad de las empresas. Además, su evolución a través del tiempo evidenció la inclusión de herramientas (Ciclo DMAIC) que les permitieron a las pequeñas empresas ser parte de este enfoque revolucionario.

Por otra parte, y como señala Barrera (2021), la metodología *Six Sigma* posterior a la propuesta de implementación tuvo influencia de manera positiva en la calidad del servicio del proceso de *picking* de la empresa SALOG S.A. en referencia a la entrega de los pedidos en la hora programada. Antes de la propuesta se muestra que el resultado del indicador era de 97.65% y debido a las simulaciones arrojadas como resultados muestra la reducción de errores obteniendo como resultado de cumplimiento un 98.00% de la entrega de pedidos en la hora programada. Mediante el uso de la metodología se puede concluir que tiene impactos en la eficiencia y satisfacción del cliente de los procesos.

Posteriormente, según Pérez (2022), en el estudio de la situación actual del nivel de *Scrap* en la línea *Deeplex Needle* se detectó la necesidad de implementar un plan de mejora para reducir este nivel al menos a un 3% y así poder combatir este problema. Con esto se logró identificar la razón del aumento de los productos defectuosos aplicando herramientas tales como diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto y gráficos de control, para la determinación de la causa raíz, y así fue posible, determinar cuáles defectos constituyen el 80% del problema, no relacionados con la la cantidad sino a los que generan más costos, y por consiguiente, son más críticos y significan mayores pérdidas.

Según Lizcano et al., (2021), por medio del desarrollo de la metodología DMAIC seis

sigmas se estableció la relevancia de la medición del tiempo del indicador puerta balón, así como el cálculo del nivel sigma con un resultado de 0,9939 defectos por oportunidad y un DPMO'S (Defectos Por Millón de Oportunidades) de 693596,5096 lo que demuestra falencias del sistema y posibilidades de mejorar en el proceso para reducir las causas de la variación en los tiempos de atención.

Por lo tanto, es crucial para evaluar la calidad del proceso y determinar el cumplimiento de los estándares establecidos proporcionar métricas objetivas para identificar oportunidades de mejora y tomar decisiones basadas en datos, ayudando a reducir defectos y optimizar la eficiencia operativa.

Por último, Pérez (2021), indica que la implementación de procesos de mejora continua puede optimizar la eficiencia, la calidad y la competitividad en la industria médica. Además, las estrategias y herramientas utilizadas en otros estudios o proyectos similares han identificado las mejores prácticas y lecciones aprendidas para desarrollar una propuesta sólida, y que permita la mejora de la calidad.

### **1.3 Justificación**

Esta investigación se encuentra justificado a partir de cuatro áreas, las cuales van a demostrar la problemática existente, a continuación, se mencionan:

- Prueba de impedancia
- Métrica de scrap
- Producción (unidades confirmadas buenas)
- Métrica de rendimiento (Yield)

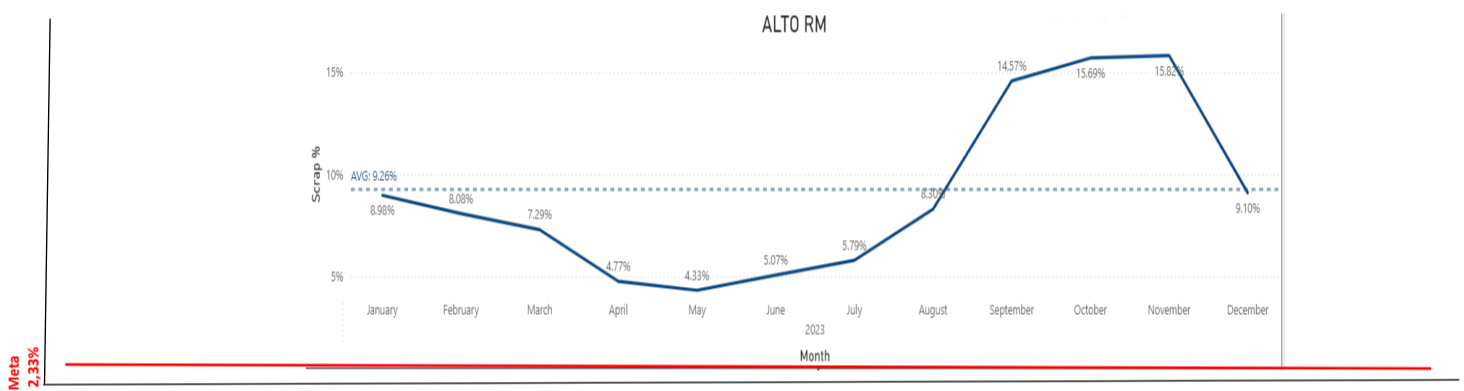
#### **1.3.1. Prueba de impedancia**

Actualmente en la compañía Boston Scientific en el proceso llamado *impedance test* o prueba de impedancia en el área de *Imaging Core*, para el producto *Opticross HD* específicamente en un solo defecto bajo sus siglas *RM (High RM / Alto RM)*, se encuentra fuera de especificación debido a que cuando se realiza la prueba, las unidades no cumplen la especificación, (<15 ohmios ), por esta razón la empresa está experimentando resultados inconsistentes y errores en las mediciones de la prueba de impedancia durante las pruebas de los dispositivos médicos.

### 1.3.2. Métrica de Scrap

De acuerdo con la métrica de scrap, que mide el porcentaje diario de scrap para el defecto de RM de la prueba de impedancia en el área de *Imaging Core*, cuya meta es de 2.3% (representada por una línea roja en el gráfico), se puede observar en la figura 1 que en los meses de julio y agosto muestran una tendencia al alza. Durante el año 2023, este indicador se ha mantenido por encima de la meta, siendo agosto el mes con el porcentaje más alto:

Figura 1. Tendencia % de scrap del defecto RM de enero a agosto 2023.



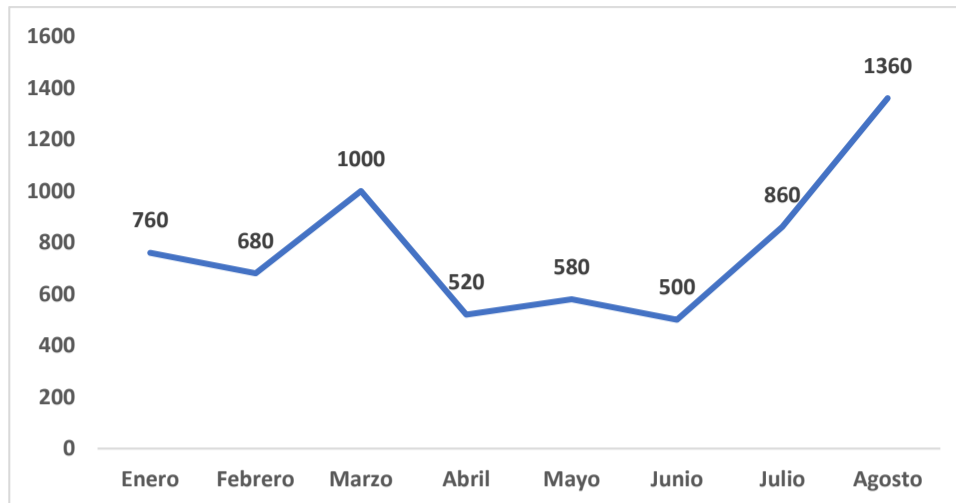
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Actualmente la métrica de scrap se encuentra en un promedio de un 5.41%, lo cual representa una pérdida económica de \$3 756 000 UDS en el periodo de enero 2023 hasta diciembre del año 2023 y con un promedio de \$313 000 UDS por mes.

### 1.3.3. Producción (unidades confirmadas buenas)

La métrica de producción mide la cantidad de unidades buenas por día en la línea de *Imaging Core*, con una meta establecida de 900 unidades diarias. Sin embargo, debido a la presencia del defecto RM identificado a través de la prueba de impedancia, se genera un desperdicio significativo de unidades que no superan dicha prueba. Este defecto provoca un incumplimiento en la meta de producción. A continuación, se presenta la cantidad de unidades que fueron desechadas debido al defecto RM (ver figura 2), las cuales podrían haber sido consideradas como unidades buenas si hubieran pasado las pruebas de impedancia. En la gráfica de la figura 2, se presenta en el eje Y la cantidad de unidades desechadas y en el X los meses del año:

Figura 2. Unidades desechadas de enero a agosto 2023.



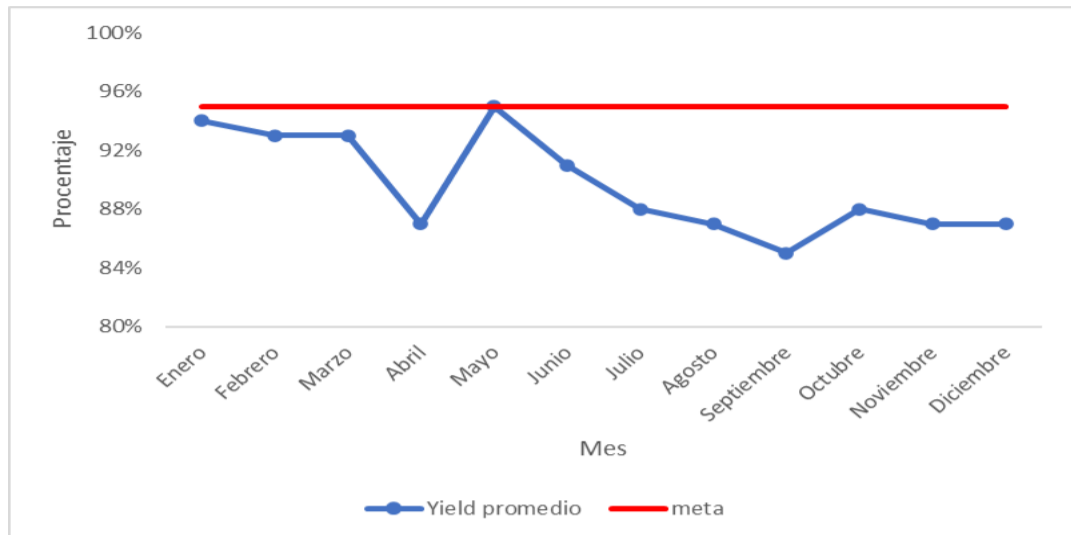
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico anterior se refleja una alta variabilidad en la cantidad de unidades desechadas, con dos picos significativos en los meses de marzo y agosto. A partir de julio la tendencia aumenta alcanzando un pico máximo en el mes de agosto con 1360 unidades.

#### 1.3.4. Métrica de rendimiento (yield)

Como parte de la métrica de yield, la cual mide el rendimiento de las órdenes de producción con una meta de 95% y que actualmente se encuentra en un promedio de 91%, es decir 4% por debajo de la meta establecida para producción, evidencia que las órdenes no estén cumpliendo la meta establecida para la compañía en el defecto de RM. Este hecho se observa en la figura 3, específicamente en el rendimiento (yield), en un lapso de enero a diciembre del año 2023, en el eje Y el promedio en porcentaje y en el eje X los meses.

Figura 3. Rendimiento (yield) de enero a diciembre 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

#### 1.4 Pregunta de Investigación

¿De qué manera se puede reducir las causas de la variación que están impactando el proceso de la prueba de impedancia en la línea de *Imaging Core* afectando las métricas de % de defectos (Scrap), calidad, Rendimiento (Yield) y producción?

#### 1.5. Hipótesis

¿Se logra una reducción estadísticamente significativa en las causas de la variación de la línea de *Imaging Core* para el producto de HD en el departamento de Opticross a través del análisis de mejoras basadas en la metodología *Six Sigma* (DMAIC)?

#### 1.6 Objetivo General

- Analizar la prueba de impedancia para las posibles causas de variación presentes y su mejora por medio de la metodología lean six sigma de la empresa Boston Scientific para el área de *Imaging Core* del producto de HD en el departamento de opticross.

#### 1.7 Objetivos Específicos

- Determinar el proceso de la prueba de impedancia actual con el propósito de un conocimiento más profundo de su funcionamiento en el área de *Imaging Core* en el producto de HD.
- Identificar las posibles causas de variación presentes en la realización de la prueba de impedancia para la selección de la causa raíz en el área de *Imaging Core* en el producto de HD.

- Elegir propuestas de solución que minimicen la causa raíz permitiendo un desempeño mejorado de la prueba de impedancia en el área *Imaging Core* en el producto de HD.
- Simular el proceso con la propuesta de solución implementada para la determinación de la mejora alcanzada en la prueba de impedancia en el área de *Imaging Core* en el producto de HD.
- Calcular la viabilidad financiera para la factibilidad económica de la propuesta de mejora del proyecto.

# CAPÍTULO II

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Dispositivos médicos**

Según Drug (2020), los dispositivos médicos son instrumentos, aparatos, equipos o sistemas utilizados con fines de diagnóstico, prevención, tratamiento o mitigación de enfermedades, lesiones o discapacidades en seres humanos. Los dispositivos médicos se clasifican en diferentes categorías según su uso y riesgo asociado. Además, se dividen en clases según su grado de invasión y nivel de riesgo, lo que influye en la regulación y vigilancia.

La regulación de dispositivos médicos es crucial para garantizar su seguridad y eficacia. Los organismos reguladores como la FDA en Estados Unidos o la Agencia Europea de Medicamentos (EMA), evalúan la calidad, seguridad y rendimiento antes de su comercialización y establecen estándares para su fabricación Agency (2019). Para Topol (2019) los avances tecnológicos han revolucionado los dispositivos médicos, permitiendo innovaciones como dispositivos portátiles, telemedicina, inteligencia artificial aplicada al diagnóstico y tratamiento, así como bioimplantes personalizados.

### **2.2. Administración de Alimentos y Medicamentos (*Food and Drug Administration*)**

La FDA evalúa la seguridad y eficacia de los dispositivos médicos a través de diferentes procesos, dependiendo del nivel de riesgo que representen para los pacientes. Los dispositivos de alto riesgo, como los implantes y equipos para soporte vital, pasan por un proceso de revisión más riguroso que los dispositivos de bajo riesgo, como ciertos tipos de vendajes y material de curación. Cuando un dispositivo médico es nombrado es vital entender qué son, para qué sirven y para qué se utilizan. Según la Organización Panamericana de la Salud (2020) un dispositivo médico es un:

Aparato o máquina que se utiliza en la prevención, el diagnóstico o el tratamiento de una enfermedad o condición o para detectar, medir, restaurar, corregir o modificar la estructura o función del cuerpo con fines de salud. Típicamente, el propósito de un dispositivo médico no se logra por medios farmacológicos, inmunológicos o metabólicos.

(s. p)

### **2.3 Proceso de OptiCross de Boston Scientific**

Opticross es un dispositivo médico desarrollado por Boston Scientific que se utiliza para el tratamiento de enfermedades coronarias, específicamente para la dilatación y apertura de las arterias bloqueadas o estrechas. Este dispositivo está destinado a mejorar la salud cardiovascular de los pacientes; el catéter de cruce intraluminal presenta un diseño específico para atravesar las oclusiones totales crónicas (CTO) de las arterias coronarias.

Maeremans (2018) menciona que el diseño flexible y avanzado permite una navegación precisa y segura a través de las obstrucciones, facilitando el acceso a áreas difíciles del sistema arterial. Para el producto Opticross, Boston Scientific realiza pruebas impedancia para asegurar que el dispositivo no va a tener fallas de imagen durante su uso: imagen pobre, imagen perdida, imagen distorsionada o no da imagen.

### **2.4 Prueba de impedancia**

Pubmed (2018) menciona que la prueba de impedancia es determinante en la caída calidad de los productos en los que aplica. Estas pruebas de impedancia en transductores refieren a procedimientos utilizados para evaluar, garantizar la calidad y precisión de los transductores médicos utilizados en diversas aplicaciones: ecografía, electrocardiogramas y monitoreo de signos vitales, además son esenciales para verificar el funcionamiento óptimo de los transductores y asegurar resultados confiables en el diagnóstico y tratamiento médico y se realizan utilizando diferentes métodos.

### **2.5 Métodos de Prueba de Impedancia**

Vistnes (2018) establece que existen diferentes métodos para realizar las pruebas de impedancia en transductores, incluyendo: pruebas de carga, pruebas de respuesta en frecuencia, pruebas de *crosstalk*, y pruebas de linealidad, entre otras. Estas pruebas evalúan aspectos como la sensibilidad, la precisión y la respuesta del transductor a diferentes estímulos. La calibración de los transductores es muy importante para las pruebas de impedancia, esto porque la calibración adecuada de los transductores es fundamental para obtener mediciones precisas y repetibles.

## **2.6 Variación en la Prueba de Impedancia**

Las causas de la variación en la prueba de impedancia se refieren a las fluctuaciones o diferencias en los resultados de las mediciones de impedancia obtenidas de un mismo dispositivo o equipo bajo condiciones similares. Esta variación puede ser causada por diversos factores y es importante comprenderla para garantizar la precisión y confiabilidad de las mediciones de impedancia. Las causas de la variación en la prueba de impedancia pueden ser influenciadas por varios factores, así lo menciona Sensors (2019): la calibración del equipo, el estado del dispositivo bajo prueba, las condiciones ambientales, la técnica del operador, y el tipo de tejido o medio en el que se realiza la medición. Estos problemas en la variabilidad pueden ser abordados por medio metodologías seis sigmas.

## **2.7 Seis Sigmas**

“Sigma es la letra griega que se usa para denotar la desviación estándar poblacional (proceso), la cual proporciona una forma de cuantificar la variación” (Gutiérrez, 2020, p.84). A nivel empresarial, Seis Sigma es una estrategia que busca alcanzar siempre una mejora significativa en el crecimiento de las organizaciones, su capacidad y el enfoque en la satisfacción del cliente. A nivel operacional, se enfoca en la mejora de métricas para la eficiencia operacional, véase tiempos de entregas, defectos por unidad y costos de no calidad, propósito con el que se aplicará en este proyecto, por medio del uso de la metodología DMAIC.

## **2.8 Metodología DMAIC**

Seis Sigma es un método de mejora continua, el cual busca la causa raíz de los defectos, así la mejora de la calidad de productos o servicios y la reducción de costos a través de la optimización de procesos, enfocándose en la satisfacción de los clientes Wang et al., (2021). De acuerdo con Wang et al., (2021), Six Sigma es un método que se implementa a través de mejora de calidad bajo la ayuda de conceptos de gestión de calidad. Por esta razón, la metodología DMAIC juega un papel importante durante todo el proceso. Los autores mencionan en la revista de educación que DMAIC es una herramienta importante de mejora de procesos en toda la gestión de Six Sigma.

Para Wang et al., (2021) DMAIC consiste en cinco etapas, las cuales permiten la optimización de procesos por medio de una aplicación sistemática de la metodología, misma que

permitirá mejorar varios aspectos: la calidad del servicio, reducción de costos y satisfacción de clientes, todo esto con la mejora competitiva de la empresa. Wang et al., (2021) menciona las etapas:

1. Definir. Se define la problemática que está ocurriendo en la organización y las metas que se desean alcanzar junto con equipo de trabajo.
2. Medir. Esta fase se encarga de recolectar los datos considerando los objetivos previamente planeados para la mejora, basados en hechos. Todo esto se lleva a cabo a través de un sistema de medición (personas, herramientas de medición, objetos de medición, métodos o cualquier ambiente relacionado con medición).
3. Analizar. Se resumen todos los datos recolectados, verificando los factores clave que se identificaron mediante la etapa de medición, con el fin de encontrar los fallos potenciales que necesitan una mejora de la mano con la experimentación.
4. Mejorar. Luego de realizar un análisis exhaustivo en la etapa anterior, se crea un diseño de propuesta, considerando los objetivos planteados de la propuesta bajo los parámetros de las organizaciones.
5. Controlar. Por medio de análisis y validación de todas las etapas anteriores, se establecen controles que permitan a la organización garantizar la calidad en el proceso y producto/servicio, con el fin de estar mejorando constantemente.

La palabra japonesa muda significa desperdicio [...] Los recursos que intervienen en cada proceso, el personal y las máquinas, pueden o bien añadir valor o no añadirlo. Muda hace referencia a cualquier actividad que no aporta valor (Masaaki, 2019, p.75). De acuerdo con Masaaki (2019) existen siete categorías de muda, a continuación, se mencionan:

- Muda de sobreproducción. Cuando se produce más de lo necesario y de lo avanzado en el calendario de producción.
- Muda de existencias. Esta muda se presenta cuando hay más producto del necesario como piezas y suministros en el inventario; esto no añade valor, al contrario, se consideran un gasto más de costes de operación, ya que requieren mayor espacio, equipo e instalaciones adicionales, por ejemplo: almacenamiento, carretillas, etc.

- Muda de artículos defectuosos. Se refiere a todos los defectos que interrumpen producción y requieren de retoques que incurren gastos, en general, estos artículos se deben desechar y, de igual manera, es un desperdicio de recursos, tiempo y esfuerzo del personal.
- Muda de movimiento. Los movimientos del personal que no estén destinados a añadir valor se consideran una muda.
- Muda de procesamiento. Está relacionado con el diseño o tecnología que no estén apropiadas para el proceso productivo. Por ejemplo, el disponer más tiempo en los ajustes de máquinas o limpiezas, realizar un trabajo específico por más tiempo de lo normal desde luego, es considerado una muda de procesamiento.
- Muda de espera. Cuando las manos del personal o algún operario no están haciendo nada, ya sea por detener sus tareas debido a cualquier inconveniente en la línea o tiempo improductivo de máquinas.
- Muda de transporte. Esto ocurre generalmente cuando hay dos procesos separados uno del otro. A veces la transportación de materiales, productos, etc., no añade valor. Además, en el transcurso los materiales que van en el transporte pueden dañarse.

A partir de lo anterior, se considera importante conocer el proceso por analizar, de esta manera tener claridad sobre las actividades y procesos que serán estudiados, también las causas de variación y para ello se darán uso de diferentes herramientas de mapeo y diagramación.

## 2.9 SIPOC

“Es una herramienta de mapeo del proceso de alto nivel, SIPOC corresponde a las siglas de Supplier (proveedor), Input (entrada), Process (proceso), Output (salida) y Customer (cliente)” (Bahena, 2020, p.96). A continuación, se detalla cada uno de los del SIPOC:

- Los proveedores son los que se encargan de proporcionar los productos.
- Las entradas son los recursos o insumos que se requieren en el proceso, siempre son los proveedores.
- El proceso se refiere a cada actividad que se encarga de transformar esos recursos o insumos en el resultado final.
- La salida es el producto o servicio que termina siendo el resultado de un proceso.

- Los clientes son las partes interesadas, los cuales indican qué productos o servicios requieren.

El SIPOC será utilizado en la fase de definición para este trabajo final, cuyo propósito es determinar todas las entradas y salidas del proceso de la prueba de impedancia de manera específica, así como tener conocimiento de los proveedores de los insumos o recursos, también las actividades que se encargan de transformar los recursos en un resultado final, hasta que el producto es creado y llega a manos de los clientes.

### **2.10 Diagrama de flujo de proceso**

Según Gutiérrez (2020) esto no va así, es una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso. Por medio de este diagrama es posible ver en qué consiste el proceso y cómo se relacionan las diferentes actividades; asimismo es útil para analizar y mejorar el proceso.

También, Aiteco Consultores (s.f.) expresan que el diagrama de flujo permite tener una mejor descripción visual de todas las actividades relacionadas a un proceso de forma secuencial entre las mismas, con el fin de brindar una mayor comprensión de cada actividad y cómo estas se relacionan entre sí. Se desea hacer uso de esta herramienta en el proyecto de la prueba de impedancia para reconocer y entender el proceso en estudio (lo que debe o no ocurrir), así como las acciones que se deben tomar para el cumplimiento satisfactorio de las actividades. Esta herramienta es relevante para determinar en qué tarea se está presentando alguna discrepancia. Adicionalmente, para analizar el proceso, será fundamental determinar y estudiar las causas de variación; etapa en la que se usarán herramientas enfocadas en este propósito.

### **2.11 Diagrama de Ishikawa**

El Diagrama de Ishikawa es una herramienta que usa un método llamado 6M, el cual consiste en agrupar las causas en seis ramas esenciales que empiezan con la letra M, con el fin de relacionar el problema con todas las causas potenciales. Las 6M poseen los siguientes significados: métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente Six Sigma Institute (2019). De acuerdo con Six Sigma Institute (2019), se deben considerar los siguientes factores en el método 6M:

1. Métodos. Causa raíz relacionada a procedimientos, transferencias, problemas de entrada-salida.
2. Mano de obra. Causa raíz que se relacione con todo personal involucrado en las tareas ejecutadas.
3. Materiales. Insumos necesarios para ejecutar el proceso.
4. Maquinaria: Equipos o maquinarias usadas para en el proceso.
5. Medición: Cualquier error debido a sistemas de medición mecánicos o humanos.
6. Medio ambiente. Por ejemplo, las condiciones climáticas, del mercado o problemas regulatorios o cualquier problema relacionado con el ambiente de trabajo.

Esta herramienta es indispensable en la fase de análisis, su creación será a partir de una lluvia de ideas por medio de todo el equipo del departamento de opticross, con el fin de plantear posibles causas que estén afectando el problema de la variabilidad. El diagrama de Ishikawa es indispensable para la identificación de la causa raíz.

### **2.12 Diagrama de Vester**

Según Betancourt (2018), la matriz de Vester se basa en una serie de filas y columnas que representan las posibles causas o variables relacionadas con el problema en cuestión. Mediante la asignación de valores numéricos, que indican el nivel de influencia de una variable sobre otra:

- 0: No lo causa.
- 1: Lo causa indirectamente o tiene una relación de causalidad muy débil.
- 2: Lo causa de forma semidirecta o tiene una relación de causalidad media.
- 3: Lo causa directamente o tiene una relación de causalidad fuertes determinar la fuerza de la relación causal entre ellas.

Es importante para el análisis identificar las posibles causas del problema. Esto se logra mediante el diagrama de Ishikawa, que permite visualizar y explorar las diversas categorías de causas que podrían estar contribuyendo al problema en cuestión.

### **2.13 Análisis financiero**

Evaluación de inversiones: VAN y TIR Para el análisis de inversiones, existen varios

métodos, sin embargo, los más conocidos y usados son el ROI, VAN y TIR, pero estos dependen del tipo de estudio o evaluación que se desee realizar, de acuerdo con Otero (2020). La evaluación de retorno de inversión se debe realizar en este proyecto, con el fin de demostrar que los cambios propuestos son rentables para la organización y en cuánto tiempo se recuperaría lo invertido. Otero (2020) también expresa que el VAN o VC es el valor actual neto que evalúa el valor del dinero durante el tiempo, en otras palabras, mide la rentabilidad de un proyecto de inversión.

$$VAN = -A + \text{Valor de los activos} \quad (1)$$

$$\text{Valor de los activos} = \frac{Q1}{(1+k)^{\wedge 1}} + \frac{Q2}{(1+k)^{\wedge 2}} + \frac{Qn}{(1+k)^{\wedge n}} \quad (2)$$

$$VAN = -A + \frac{Q1}{(1+k)^{\wedge 1}} + \frac{Q2}{(1+k)^{\wedge 2}} + \frac{Qn}{(1+k)^{\wedge n}} \quad (3)$$

Teniendo el resultado del VAN se determina si una inversión de proyecto es rentable, si el VAN es positivo; en caso contrario, no es rentable:

- A es el valor del desembolso inicial de la inversión
- Q1, Q2, ..., Qn representa los cash-flows o flujos de caja.
- n representa el número de momentos temporales en que se divide el período global considerado de la duración del proyecto.
- k es la tasa de descuento. González (2019) El TIR hace referencia a la tasa interna de retorno y analiza la variabilidad de inversión.

Otero (2020), menciona que ayuda a obtener la rentabilidad de lo invertido en porcentaje, además, mide la ganancia del activo en cuanto al capital que permanece invertido a principios de cada período.

El cálculo de la TIR se debe tratar otro método dinámico de valoración de inversiones, el Valor Actual Neto (VAN), ya que ambos criterios están directamente vinculados. Dicha relación se establece porque ambas herramientas utilizan la misma fórmula. El VAN toma como punto de partida los flujos de caja futuros que un proyecto de inversión podría generar. González (2019) explica la relación entre la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el VAN, dicho vínculo es directo, ya que la TIR se define como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero:

$$VAN = \frac{Q_1}{(1+k\text{ Tir})^{\wedge 1}} + \frac{Q_2}{(1+K\text{ Tri})^{\wedge 2}} + \frac{Q_n}{(1+k\text{ Tri})^{\wedge n}}$$

Donde la K Tri es la tasa de descuento que representa la TIR.

# CAPÍTULO III

### **3. Marco Metodológico**

Para poder cumplir con el objetivo principal del presente proyecto, el cual se enfoca en encontrar las causas de la variación de la prueba de impedancia de la línea de *Imaging Core* a través de la metodología DMAIC, se deben cumplir una serie de pasos que permitan mejorar el proceso actual. Una vez implementada la metodología se usarán técnicas estadísticas y descriptivas para analizar los datos recolectados. Además, se procederá con un análisis financiero que proporcione los costos y gastos que representaría para la empresa la implementación de la propuesta de mejora que puedan, a su vez, disminuir la variación de la prueba. Este estudio se dará por medio de herramientas mencionadas en el cuadro de variables.

#### **3.2 Diseño y/o Tipo de Investigación**

Para Ulate Soto y Vargas Morúa (2016), el objetivo de esta investigación es detectar las causas de variación en el proceso de la prueba de impedancia a través de la metodología *Six Sigma* (DMAIC) para determinar las variaciones que causan el defecto RM y así definir propuestas de mejora para la prueba de impedancia, por lo mencionado anteriormente la investigación es de carácter cuantitativo.

#### **3.3 Alcance de Investigación**

El alcance de la investigación es brindar una propuesta de implementación que conlleve mejoras para las causas de variación de la prueba de impedancia en el defecto RM para el departamento de *Imaging Core* de la empresa Boston Scientific C.R. Esta propuesta beneficiará principalmente a la empresa, ya que busca reducir sus gastos en los defectos, la mejora de su producción diaria, rendimiento en su yield y facilitar el cumplimiento de la especificación de la prueba de impedancia (Ulate Soto y Vargas Morúa (2016)).

#### **3.4 Tabla de Variables**

A continuación, la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto (Taxonomía de bloom, n.d.) ver anexo 1:

Tabla 1. *Análisis de variable del proyecto.*

Objetivos específicos	Variable	Definición conceptual de la variable	Indicadores	Definición instrumental
Determinar el proceso de la prueba de impedancia actual con el propósito de un conocimiento más profundo de su funcionamiento en el área de <i>Imaging Core</i> en el producto de HD.	Proceso de Prueba de Impedancia.	El proceso que evalúa la resistencia eléctrica en el área de <i>Imaging Core</i> del producto de HD para garantizar su funcionamiento óptimo.	<p>-Prueba de impedancia conforme por unidad (no <math>\geq 15</math> ohm).</p> <p>-Unidades conformes por día (<math>\geq 945</math> u/h).</p> <p>-Valor de scrap generado por prueba de impedancia no conforme diario (<math>\leq 2.3\%</math>).</p> <p>-Valor de rendimiento yield de cada orden de producción sea <math>\geq 95\%</math>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Voz del cliente.</li> <li>▪ Diagrama de Bloques.</li> <li>▪ SIPOC.</li> <li>▪ Diagrama de flujo.</li> <li>▪ Crítica para la calidad (CTQ).</li> </ul>
Identificar las posibles causas de variación presentes en la realización de la prueba de impedancia para la selección de la causa raíz en el área de <i>Imaging Core</i> en el producto de HD.	Causas de Variación de la Prueba de Impedancia.	Factores que contribuyen a las causas de la variación en el proceso de prueba de impedancia.	<p>- % de mejora en la precisión de las mediciones.</p> <p>- % de reducción en la frecuencia de fallas.</p> <p>- % de eficiencia en la operación.</p> <p>- % de ahorro en reprocesos. - % de cumplimiento de regulaciones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diagrama de Ishikawa (Espina de Pescado).</li> <li>▪ Estadística descriptiva.</li> </ul>
Elegir propuestas de solución que minimicen la causa raíz permitiendo un desempeño mejorado de la prueba de impedancia en el área <i>Imaging Core</i> en el producto de HD.	Propuestas de Solución.	Las soluciones propuestas para abordar las causas raíz de las causas de la variación en la prueba de impedancia.	<p>- % de efectividad de las propuestas.</p> <p>- % de reducción de costos asociados a las soluciones.</p> <p>- % de eficiencia en la implementación.</p> <p>- % de ahorro en tiempos de implementación.</p> <p>- % de cumplimiento de metas de reducción de variación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prueba e hipótesis de contraste.</li> <li>▪ Análisis Vester.</li> <li>▪ Diagrama Causa-efecto.</li> <li>▪ Pareto.</li> <li>▪ Histograma .</li> </ul>
Simular el proceso con la propuesta de solución implementada para la determinación de	Proceso Simulado con Propuesta de Solución.	La representación virtual del proceso de prueba de impedancia con la solución implementada.	- % de reducción de variación simulada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Simulación.</li> <li>▪ Evaluación de Factibilidad.</li> </ul>

la mejora alcanzada en la prueba de impedancia en el área de <i>Imaging Core</i> en el producto de HD.			<ul style="list-style-type: none"> <li>- % de mejora en la calidad simulada.</li> <li>- % de eficiencia del proceso simulado. % de ahorro en materiales simulados. % de cumplimiento de especificaciones simuladas.</li> </ul>	
Calcular la viabilidad financiera para la factibilidad económica de la propuesta de mejora del proyecto.	Viabilidad Financiera.	La factibilidad económica de la propuesta de mejora del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- % de reducción de costos operativos proyectados.</li> <li>- % de eficiencia en el flujo de efectivo.</li> <li>- % de ahorro en el presupuesto proyectado.</li> <li>- % de cumplimiento de las metas financieras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análisis financiero.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia, 2024.

### 3.5 Fuentes

Para el proyecto se utilizan fuentes primarias, secundarias y terciarias tal como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2. *Fuentes de investigación del proyecto.*

Fuentes primarias	Fuentes Secundarias	Fuentes terciarias
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Power BI de la empresa Boston Scientific.</li> <li>▪ Archivos de Excel interno del departamento.</li> <li>▪ Experto del proceso. llamado “SME”.</li> <li>▪ Operadores del proceso de impedance test.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informes de investigaciones previas.</li> <li>▪ Publicaciones de organizaciones mundiales de dispositivos médicos y salud.</li> <li>▪ Informes estadísticos.</li> <li>▪ Bases de datos académicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Libros.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia, 2014.

### 3.6 Muestra

"La muestra es una parte representativa de una población donde sus elementos comparten características comunes o similares" (Neuman, 2020, p.71).

En el marco de esta investigación se trabajarán registros de datos de control del proceso de *Imaging Core* durante el periodo que abarca enero a diciembre del año 2023. Estos registros

proporcionarán los datos necesarios para analizar: el rendimiento (yield), las unidades buenas, el scrap y la prueba de impedancia a lo largo del tiempo, cuyo fin sea determinar las causas de variación de la prueba de impedancia. Este análisis permitirá evaluar si el proceso actual cumple con las especificaciones técnicas establecidas, también determinar si se requieren acciones correctivas para mejorar las métricas mencionadas. En resumen, el análisis de las causas de variación de la prueba de impedancia ayudará a fundamentar la necesidad de implementar esta propuesta de mejora en el proceso de medición de la impedancia en el área de *Imaging Core* Vargas (2018).

En el desarrollo del proyecto se optará por no emplear un enfoque de muestreo debido a varias consideraciones: En primer lugar, dada la naturaleza dispersa y heterogénea de la población meta, se reconoció que un muestreo podría no capturar todas las variaciones relevantes de dicha población. Además, se valoró la importancia de obtener una comprensión precisa y completa de cada elemento de la población para alcanzar los objetivos del proyecto. Teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos financieros y temporales limitados, se consideró que realizar un muestreo exhaustivo sería costoso y consumiría tiempo. Además, al evaluar la disponibilidad de datos completos de toda la población, se determinó que era posible acceder a la información necesaria sin la necesidad de recurrir a un enfoque de muestreo. En consecuencia, la decisión de no utilizar un muestreo se basó en la necesidad de maximizar la precisión y la representatividad de los resultados, así como en la optimización de los recursos disponibles para el proyecto.

### **3.7 Instrumentos y Técnicas**

En el presente proyecto se utilizarán diversas herramientas y técnicas para el desarrollo de cada uno de los objetivos donde se detallan:

- **Voz del cliente:** Obtener información de los clientes internos y externos sobre sus necesidades y expectativas en relación con el proceso de producción y calidad de los productos.
- **SIPOC:** Analizar y documentar los proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes del proceso de producción en la línea de producción.
- **CTQ (Critical to Quality):** Lista de atributos críticos de calidad definidos para el proceso de producción y los defectos en la línea de producción Foist (2023).

- Estadística descriptiva: Análisis descriptivo de los datos de defectos que proporciona información sobre su distribución, tendencia central y dispersión López (2019).
- Estudio de correlación: Identificar y analizar la relación entre la variable del defecto y otras variables relevantes en el proceso de análisis Rus Arias (2020).
- Prueba de hipótesis de contraste: Recolectar datos relevantes sobre los defectos en el proceso de análisis utilizando técnicas y métodos apropiados López (2017).
- Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa): Identificar y analizar las posibles causas que contribuyen a los defectos en el proceso de análisis Sánchez (2021).

### **3.8 Procedimiento**

En el ámbito de la industria de dispositivos médicos, la garantía de calidad y el correcto funcionamiento de los equipos utilizados en el ámbito clínico son relevantes. En este contexto, el dispositivo médico llamado Opticross en la línea de *Imaging Core* para la prueba de impedancia ha surgido como una herramienta fundamental para evaluar la impedancia en los transductores del dispositivo médico. Sin embargo, se ha identificado un desafío recurrente: las causas de variación de la prueba de impedancia que afecta los indicadores de rendimiento (yield), porcentaje de defectos (Scrap), unidades buenas por hora y la prueba de impedancia. La investigación se desarrolla a partir de los siguientes pasos:

#### **3.8.1 Definición el tema**

En esta etapa, se debe establecer claramente el tema de investigación: “Propuesta de análisis de la prueba de impedancia para la detección de las causas de variación y su reducción por medio de la metodología lean *Six Sigma* en la empresa Boston Scientific para el área de *Imaging Core* en el producto de HD en el departamento de opticross”. Se delimitarán los aspectos específicos por investigar y se establecerá la relevancia del problema en el contexto de la industria de dispositivos médicos.

### **3.8.2 Diseño de la investigación**

En esta etapa, se determinará el enfoque de la investigación, que puede ser cuantitativo, cualitativo o mixto. Se seleccionará el diseño más apropiado para abordar el problema de impedancia en el dispositivo. Además, se planificarán las diferentes etapas del estudio, como la recopilación de datos, el análisis y la interpretación de resultados.

### **3.8.3 Alcance de la investigación**

Se establecerá el alcance del estudio, definiendo los límites y las limitaciones de la investigación. Se identificarán las características específicas del dispositivo *Impedance Test Imaging Core* que serán abordadas y se delimitarán los aspectos relacionados con la problemática de la impedancia.

### **3.8.3 Cuadro de variables**

En esta etapa, se elaborará un cuadro de variables donde se identificarán las independientes y dependientes relacionadas con el problema de impedancia. Las variables pueden incluir soldadura, calibración de equipos, capacitación del personal, entre otros aspectos relevantes.

### **3.8.4 Fuentes**

Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con el problema de impedancia en dispositivos médicos. Se identificarán fuentes confiables y relevantes que respalden la investigación y proporcionen información sobre las mejores prácticas, metodologías y avances en el campo.

### **3.8.5 Muestra**

En esta etapa, se determinará el tamaño y la composición de la muestra que se utilizará en el estudio. Se establecerán los criterios de inclusión y exclusión para la selección de la muestra, con el objetivo de obtener una muestra representativa de los dispositivos médicos afectados por el problema de impedancia.

### **3.8.6 Instrumento y técnica**

Se seleccionará el instrumento o herramienta de recolección de datos más adecuado para medir y evaluar las variables identificadas en el cuadro de variables. Además, se definirá la técnica o metodología específica que se utilizará para recopilar los datos como encuestas, entrevistas, observaciones o análisis documental.

### **3.8.7 Procedimiento**

Se describirá detalladamente el procedimiento que se seguirá para llevar a cabo la investigación. Esto incluye la secuencia de actividades, el cronograma, los recursos necesarios y las etapas específicas, desde la preparación y ejecución de la recolección de datos hasta el análisis y la interpretación de los resultados.

### **3.8.8 Antecedentes**

Se presentarán los antecedentes relevantes sobre el dispositivo médico *Impedance Test Imaging Core* y el problema de impedancia. Se proporcionará información sobre investigaciones previas, estudios relacionados, desarrollos tecnológicos y avances en el campo de dispositivos médicos y calidad.

### **3.8.9 Antecedentes**

En esta etapa del procedimiento, se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con el dispositivo médico *Impedance Test Imaging Core* y el problema de impedancia que presenta. El objetivo es obtener un conocimiento profundo de los antecedentes existentes, incluyendo el estado del arte, investigaciones previas y desarrollos relevantes en el campo.

### **3.8.10 Justificación**

En esta etapa, se expondrán las razones y motivaciones para llevar a cabo la investigación. Se destacará la importancia del problema de impedancia en el dispositivo *Impedance Test Imaging Core* y se argumentará la necesidad de abordar este problema mediante la aplicación de la metodología *Six Sigma*.

### **3.8.11 Pregunta de investigación**

Se formulará una pregunta de investigación clara y concisa que guiará el estudio. Esta pregunta debe estar directamente relacionada con el problema de impedancia y orientará la recolección y análisis de datos.

### **3.8.12 Hipótesis (Según alcance de investigación)**

En esta etapa, se plantearán las hipótesis de investigación, las cuales suposiciones tentativas sobre la relación entre las variables. Las hipótesis pueden ser nulas (no hay relación) o alternativas (hay relación), además deberán ser verificadas o refutadas mediante el análisis de datos.

### **3.8.13 Objetivo general y específico**

Se establecerá el objetivo general de la investigación, así como los específicos, mismos que representan los logros que se pretenden alcanzar al final del estudio. Estos objetivos deben estar alineados con la pregunta de investigación, reflejar los propósitos y metas del proyecto.

### **3.8.14 Marco conceptual**

Se desarrollará un marco conceptual que proporcionará un enfoque teórico para comprender el problema de impedancia en el dispositivo *Impedance Test Imaging Core*. Se utilizarán teorías, modelos y conceptos relevantes para establecer un marco de referencia sólido y contextualizar la investigación.

### **3.8.15 Herramientas aplicables**

Se identificarán las herramientas y técnicas específicas de la *metodología Six Sigma* que serán aplicadas en el análisis y solución del problema de impedancia. Estas herramientas pueden incluir análisis de causa raíz, diagramas de flujo, diagramas de Pareto, análisis de capacidad, entre otros.

### **3.8.16 Análisis estadísticos**

Se determinarán los análisis estadísticos que se utilizarán para evaluar los datos recopilados. Estos análisis pueden incluir pruebas de hipótesis, muestreos, gráficas de control entre otros métodos estadísticos apropiados para analizar la relación entre las variables y

determinar la efectividad de las soluciones propuestas.

### **3.8.17 Análisis financiero**

En esta etapa, se realizará un análisis financiero del proyecto, centrándose en los costos asociados al problema de impedancia. Se recopilarán datos financieros relevantes, como los costos de producción, los gastos operativos y los ingresos generados por el dispositivo. Además, se evaluarán los posibles beneficios económicos que podrían derivarse de la solución del problema de impedancia.

### **3.8.18 Referencias**

En esta fase, se recopilarán las referencias bibliográficas de los estudios, investigaciones y documentos relevantes relacionados con el dispositivo médico y el análisis de problemas de impedancia. Se utilizará un enfoque sistemático para buscar y seleccionar las referencias más relevantes y actualizadas. Se aplicarán las normas APA 7ª edición para citar y referenciar adecuadamente las fuentes utilizadas.

### **3.8.19 Conclusiones y recomendaciones**

En resumen, la investigación ha encontrado y estudiado las razones detrás de las diferencias en las pruebas de impedancia del producto HD en el área *Imaging Core* de Boston Scientific. Esto demuestra que la metodología *Lean Six Sigma* es una excelente manera de hacer las cosas más precisas y menos variables. Para mejorar el control estadístico, se recomienda utilizar métricas como la desviación estándar, seguir capacitando al personal en herramientas avanzadas, verificar y mantener los equipos periódicamente, evaluar proveedores, estandarizar y documentar procesos mejorados y realizar revisiones periódicas para encontrar nuevas formas de mejorar.

A continuación, se muestran un Gantt de actividades en la tabla 3.

Tabla 3. Diagrama de Grantt de las actividades del proyecto

Parte del trabajo	29/05/23	28/06/23	28/07/23	27/08/23	26/09/23	26/10/23	25/11/23	25/12/23	24/01/24	23/02/24	24/03/24	23/04/24	23/05/24	22/06/24
Capítulo 3	X	X												
Capítulo 1			X											
Capítulo 2				X										
Aprobación CTFG					X									
Asignación de tutor					X									
Capítulo 4						X								
Capítulo 5							X							
Capítulo 6								X						
Capítulo 7								X						
Capítulo 8								X						
Aprobación de tutor									X					
Aprobación CTFG									X					
Aprobación lectores										X				
Aprobación CTFG											X			
Defensa												X		
Filología													X	
Tramitar graduación														X

Fuente: Elaboración propia, 2024.

# CAPÍTULO IV

#### 4. Desarrollo

##### 4.1 Etapa de Definición

Para iniciar esta fase, se ha identificado un problema importante para la organización, el cual será abordado como un proyecto de mejora. Este proyecto se gestionará bajo la metodología DMAIC, para lo cual se realiza la presentación de este proyecto en la tabla 4:

Tabla 4. Acta de proyecto

Project Charter			
NOMBRE:	Daniel Garita Araya & Brayan Calvo Barquero		
EMPRESA:	Boston Scientific		
DEPARTAMENTO:	Opticross		
PROCESO ANALIZADO:	Imaging Core		
PROCESO	MIEMBROS DEL EQUIPO	NOMBRE	DEPARTAMENTO / ÁREA
El proceso llamado impedance test o prueba de impedancia en el área de Imaging Core, para el producto Opticross HD específicamente en un solo defecto bajo sus siglas RM (High RM / Alto RM), se encuentra fuera de especificación debido a que cuando se realiza la prueba, las unidades no cumplen la especificación, (>15 ohmios ), la empresa está experimentando resultados inconsistentes y errores en las mediciones de la prueba de impedancia durante las pruebas de los dispositivos médicos.	Master Black Belt	Gabriel Monge	Supervisor de Ingeniería
	Black Belt	Javier Salazar	Gerente de Ingeniería
	Dueño de Proceso	Jimena Flores	Supervisora Senior
	Green Belts	Daniel Garita Araya	Supervisor de producción
		Brayan Calvo Barquero	Ingeniero procesos
	Miembros del Equipo	Erick Perez	Operario
		Adriana Barrantes	Calidad
		Jean Carlos Campos	Operario
		Jennifer Pravias	Calidad
	LÍDER DE PROYECTO	Daniel Garita Araya & Brayan Calvo Barquero	
DECLARACIÓN DEL PROBLEMA / OPORTUNIDAD	OTROS INVOLUCRADOS EN EL PROYECTO		
El problema se en cuatro grandes áreas que dan a demostrar la problemática existente, los cuales son: <ul style="list-style-type: none"> <li>•Prueba de impedancia</li> <li>•Métrica de scrap</li> <li>•Producción (unidades confirmadas buenas)</li> <li>•Métrica de rendimiento (Yield)</li> </ul>	Tutora Zindy Leon		
MEJORA ESPERADA	ENFOQUE / LIMITACIONES / SUPUESTOS		
La mejora esperada incluye optimizar la prueba de impedancia, reducir el scrap con mejores controles de calidad, aumentar la producción de unidades buenas mediante eficiencia y capacitación, y mejorar el rendimiento (Yield) reduciendo defectos, lo que llevará a un proceso más confiable, costos menores y productos de mayor calidad.	<b>Enfoque:</b> Optimizar pruebas, reducir scrap, mejorar eficiencia en producción y rendimiento (Yield) para lograr mayor confiabilidad y calidad. <b>Limitaciones:</b> Restricciones presupuestarias, resistencia al cambio, y tiempo de implementación pueden afectar el éxito. <b>Supuestos:</b> Disponibilidad de recursos, impacto positivo esperado, y ausencia de problemas imprevistos durante la implementación.		
PLAN PRELIMINAR DE EJECUCIÓN	PREPARADO POR:		
Etapa	Fecha Propuesta	Fecha Real	FECHA: 20/07/2023  Nombre de responsable: Daniel Garita Araya
1. DEFINIR	12/12/2023	1/24/2024	
2. MEDIR	2/28/2024	3/6/2024	
3. ANALIZAR	3/16/2024	5/16/2024	
4. IMPLEMENTAR	4/24/2024	6/20/2024	
5. CONTROLAR	5/21/2024	7/16/2024	FECHA: 20/07/2023  Nombre de responsable: Brayan Calvo Barquero +B18:G39B8:G39E25B24:G39

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Adicionalmente es necesario identificar el proceso para tener una comprensión clara del mismo. Por tanto, se utilizará el diagrama SIPOC que permite de una forma concisa la identificación del proceso, por medio de los proveedores, entradas, proceso, salidas y sus clientes. Esto ayuda a visualizar el alcance del proceso.

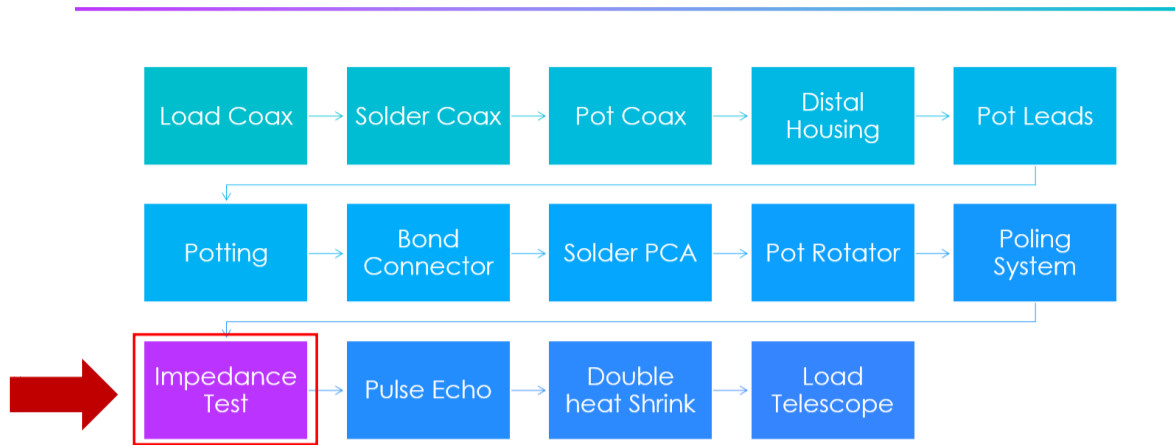
En la siguiente figura se presenta el diagrama SIPOC del proceso *Imaging Core*:

Figura 4. Diagrama de SICOP *Imaging Core*

<b>S</b>	Proveedores	<b>I</b>	Entradas	<b>P</b>	Proceso	<b>O</b>	Salidas	<b>C</b>	Cliente
	quién proporciona entrada a un proceso		recurso proporcionado por el proveedor para la incorporación al proceso		pasos realizados para convertir de entrada a salida		recurso resultante desde el proceso		receptor de salida creada
TÍTULO DEL PROCESO: <b>Proceso de Imaging Core</b>									
PROVEEDORES		ENTRADA		PROCESO		SALIDA		CLIENTE	
	Mount transducer		Proceso de soldado		Se realizan procesos de soldado a los cables electricos del coaxial				
	Telescope		Ensamble		Se ensamblan materiales				
			curados		Se realizan procesos de horneado		Ordenes de Imaging Core		
	Drive		proceso de adhesivos		Se colocan adhesivos al dispositivo				
			Pruebas electricas		Se realizan pruebas al producto				Final Assembly

Fuente: Elaboración propia, 2024.

El diagrama SIPOC permite conocer las entradas, salidas y el proceso de *Imaging Core*, sin embargo, para comprender las actividades y relaciones entre cada una de las etapas del proceso se realiza un diagrama de bloques del proceso de producción el cual presenta de manera general las etapas del proceso como: soldado, ensambles, curados, adhesivos, pruebas eléctricas, y la prueba de impedancia (*Impedance test*), el cual se aprecia en la figura 5:

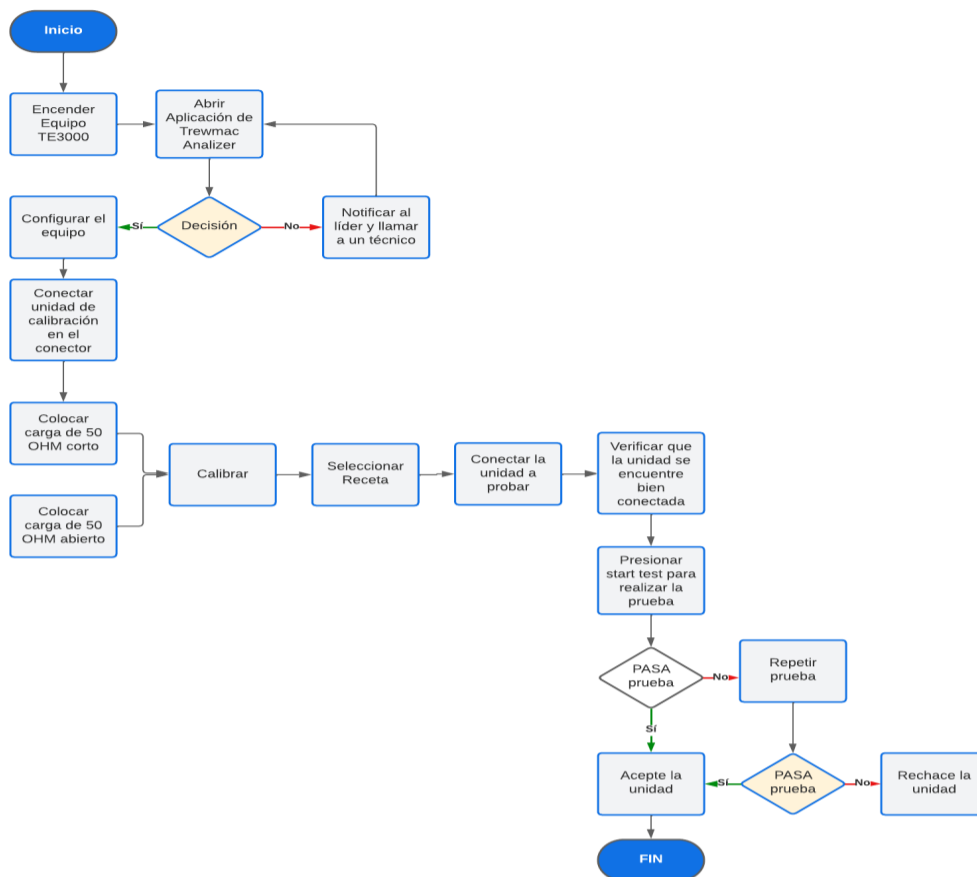
Figura 5. Diagrama de bloques *Imaging Core*.

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Mediante el diagrama de bloques se logra una comprensión del proceso general para identificar cuál es el proceso en el que se estaría ejecutando y desarrollando el proyecto; sin embargo, para una comprensión más detallada y clara se realiza un diagrama de flujo del proceso de prueba de impedancia para el área de *Imaging Core* en el producto HD.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo de la prueba de impedancia del proceso de *Imaging Core*, en la figura 6:

Figura 6. Diagrama de flujo de Imaging Core.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

A través del diagrama de flujo se obtiene una mayor comprensión del proceso de la prueba de impedancia y la serie de actividades por las que atraviesa el proceso:

**Paso 1.** El operario debe encender el equipo si se encuentra apagado, presionando un botón que indica el on/off de color rojo.

**Paso 2.** Debe abrir la aplicación que utiliza el computador para la prueba de impedancia llamado *Trewmac Analyzer*, debe asegurar que exista conexión y aquí el operador debe tomar una decisión, si el equipo muestra V12.0 o COM10 puede continuar con la calibración del equipo, de lo contrario debe notificar de inmediato a su líder de producción y al equipo de técnicos del departamento.

**Paso 3.** El operador procede a realizar la calibración del equipo establecida en Start: 1 stop: 100 y simples: 128.

**Paso 4.** El operador debe conectar una unidad de compensación al conector del equipo de impedancia.

**Paso 5.** Conecta una carga de corto al equipo y realiza calibración.

**Paso 6.** Conecta una carga de abierto al equipo y realiza calibración.

**Paso 7.** El operador debe seleccionar la receta “OCHD-IC”, la cual se ve reflejada en el espacio loaded récipe del equipo.

**Paso 8.** El operador conecta una unidad para realizar la prueba del equipo, ingresa sus credenciales y verifica que la unidad se encuentre bien conectada.

**Paso 9.** El operador inicia la prueba.

**Paso 10.** El operador identifica a través del equipo *impedance analyzer* y resultado obtenido si la unidad es aceptada o rechazada.

**Paso 11.** Si la unidad es aceptada, la aprueba, si la unidad es rechazada debe volver a realizar la prueba de impedancia una segunda vez.

**Paso 12.** Si el operario realiza por segunda ocasión la prueba de impedancia, identifica a través del equipo *Impedance Analyzer* (analizador de impedancia) si la prueba es aceptada o rechaza, si por segunda ocasión es rechaza, el operador debe rechazar la unidad.

Después de comprender el proceso a un nivel de detalle más profundo, se reconoce la importancia de la interacción de los pasos a través del proceso, por consiguiente, el siguiente paso es realizar la voz del cliente, porque proporciona una comprensión directa de las necesidades, requerimientos y expectativas de los clientes para definir los CTQs de la prueba de impedancia.

Tabla 5. Análisis de la voz del cliente.

Cliente	Calidad	Producción	Ingeniería	
			Métrica Scrap (% de defectos)	Métrica Yield (Rendimiento)
Lo que dijo el cliente	Que la prueba de impedancia cumpla la especificación.	Las unidades del plan de producción deben cumplirse.	No generar un alto scrap de material por unidades de producción que no pasan la prueba de impedancia (por defecto alto RM).	Cumplir con el rendimiento yield de cada orden de producción.
Lo que necesita el cliente	Que cada unidad cumpla la especificación de la prueba de la impedancia (15 ohm).	Cumplimiento de la meta diaria de producción	Que el valor de scrap diario generado por prueba de impedancia no conforme sobrepase la meta	Que el valor del rendimiento Yield de cada orden de producción cumpla
Lo que pide el cliente	Prueba de impedancia conforme por unidad (no >15ohm)	Unidades buenas Por DIA ( $\geq 900$ u/d)	Valor de scrap generado por prueba de impedancia no conforme diario ( $\leq 2.3\%$ )	Valor de rendimiento yield de cada orden de producción sea $\geq 95\%$

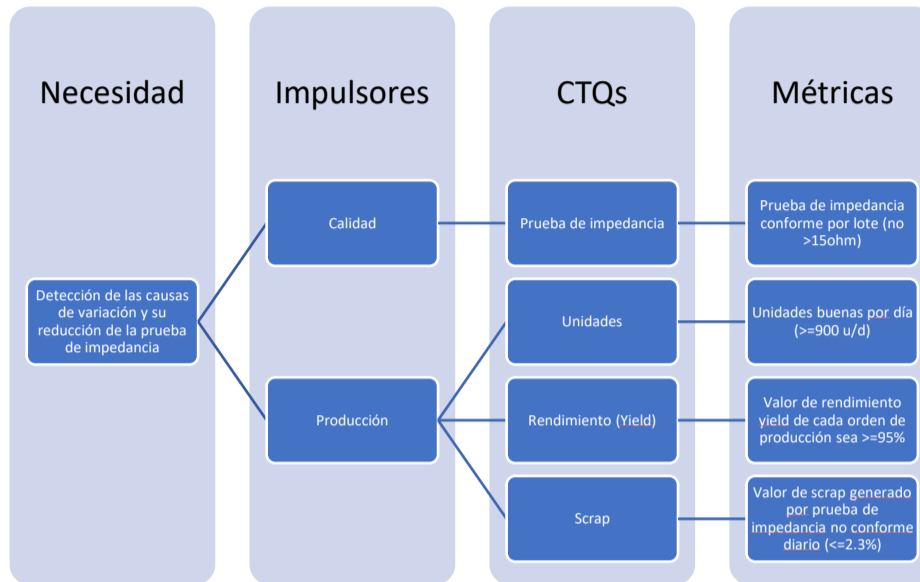
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Ahora que se estableció la voz del cliente es importante identificar y comprender las Características Críticas para la Calidad (CTQ) en el proceso de prueba de impedancia para el dispositivo Opticross. Estas CTQ's representan elementos fundamentales que influyen directamente en la satisfacción del cliente y en la calidad del producto final tales como la necesidad de cumplir con estrictas normas de calidad hasta la eficiencia en la producción y la consistencia en los resultados, cada CTQ refleja aspectos cruciales que deben ser abordados para asegurar la excelencia operativa y la entrega de productos confiables y seguros.

Además, se busca establecer criterios cuantificables que permitan evaluar y mejorar continuamente el desempeño del proceso, contribuyendo así a la satisfacción del cliente y el cumplimiento de estándares de calidad reconocidos.

A continuación de una forma gráfica los CTQs identificados en la voz del cliente los cuales son fundamentales para continuar con la etapa de medición:

Figura 7. Determinación de los CTQs.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

La comprensión detallada de las Características Críticas para la Calidad (CTQ) según la figura 6, en el contexto de la línea de producción de Opticross de la línea de *Imaging Core* revela 4 CTQs identificados los cuales son:

- Prueba de impedancia: Prueba de impedancia conforme por lote (no >15ohm).
- Unidades: Unidades buenas por día (>=900 u/h).
- Rendimiento (Yield): Valor de rendimiento yield de cada orden de producción (sea >=95%).
- Scrap: Valor de rendimiento yield de cada orden de producción (sea >=95%).

Al haber identificado y obtenido una comprensión clara del proceso de Impedance, se puede pasar a la etapa de "Medir" la cual representa un pilar fundamental para comprender el desempeño actual del proceso en cuestión. Esta fase es esencial para recopilar datos precisos y relevantes que permitan una evaluación objetiva de la situación actual, estableciendo así una línea base sobre la cual se fundamentará el análisis y la posterior mejora.

## 4.2 Etapa de Medición

El plan de medición se convierte en un componente crítico en esta fase, actuando como el mapa estratégico que guía la recolección de datos significativos y la evaluación cuantitativa del desempeño del proceso. Este plan detallado define claramente las variables a medir, donde se va a medir, quien lo va a medir, como lo va a medir y cuando lo va a medir. Al establecer esta hoja de ruta, se garantiza una base sólida para evaluar la variabilidad del proceso y entender sus limitaciones actuales.

A continuación, se muestra en la tabla 5, el detalle del plan de medición que será ejecutado:

Tabla 6. *Análisis del plan de medición de datos.*

Criterio	Detalles
¿Qué se va a medir?	<p>La prueba de impedancia de las unidades conformes por lote no <math>\geq 15</math></p> <p>Unidades buenas por día (<math>\geq 900</math> u/d)</p> <p>Valor de scrap generado por prueba de impedancia no conforme diario (<math>\leq 2.3\%</math>)</p> <p>Valor de rendimiento Yield de cada orden de producción <math>\geq 91.6\%</math></p>
¿Dónde se realizará la medición?	Las ordenes de producción de la línea de <i>Imaging Core</i> "Opticross".
¿Quién medirá o registrará?	Operadores, ingenieros y al grupo de investigadores involucrados en el proyecto a través de los sistemas asignados en la línea <i>Imaging Core</i> "Opticross".
¿Cómo se medirá o registrará?	<p>La prueba de impedancia se medirá a través de la información del equipo del piso de producción.</p> <p>Las unidades buenas por horas se medirán y registrarán con los reportes de producción entregados por el supervisor del área.</p> <p>El valor de scrap será medido y registrado a través</p>

	<p>del sistema validado de ingeniería llamado power BI.</p> <p>El valor de rendimiento se medirá y registrará a través del sistema validado power BI.</p>
<p>¿Cuándo se medirá?</p>	<p>Se busca eliminar cualquier margen de error potencial que pudiera surgir de una muestra representativa, asegurando así que los resultados obtenidos sean lo más precisos y confiables posibles. La compañía Boston Scientific tiene una muy alta capacidad para proporcionar datos precisos, representativos y exhaustivos, la razón más importante de considerar el 100% de los datos para aumentar la confianza de los resultados y ahorrar tiempo y recursos.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Una vez que se define el plan de medición, se procede a realizar la medición de cada CTQ:

#### 4.3.1 Prueba de impedancia conforme por unidad (no $\geq 15$ ohm)

Para realizar la medición de los datos de la prueba de impedancia la cual se determina en ohm, se recolectaron el 100 % de los datos de esta prueba desde enero del 2023 a diciembre del mismo año, obteniendo un total de 2000 datos. Estos se sometieron a un análisis de depuración debido a que los datos que se encuentran por encima a los 100 ohm no representan datos por error de impedancia, sino que están relacionados a otros defectos (fuera del alcance del proyecto) y no están relacionados a defectos por error en la impedancia, y de esta manera, evitar cualquier posible interferencia que pueda sesgar los resultados de la medición.

Una vez realizada la exclusión de las mediciones mayores a 100 ohm, de los 2000 datos recolectados inicialmente se obtienen 1298 datos, con los que se trabajará la etapa de medición en la prueba de impedancia.

Posteriormente a la depuración de los datos, estos se ejemplifican por medio de un gráfico de línea utilizado en la empresa para monitorear el comportamiento durante las

mediciones. Donde en el eje y se visualiza los ohm (ohmios) en datos cuantitativos de la prueba y en el eje x se coloca el valor de la prueba por unidad del lote ejecutado (cuantitativo y ohm), adicionalmente se utiliza una línea de referencia, la cual se observa en el gráfico como la línea roja, la cual representa el valor meta en Ohm para la prueba de impedancia con un valor de 15 ohm.

La marca de una línea roja en el gráfico, que representa la especificación de 15 ohmios, indica un límite crítico que debe cumplirse para que el sistema funcione correctamente y/o para cumplir con la especificación de los 15 ohm. Se realiza la medición por mes para poder así tener una mejor visualización de los datos en los gráficos:

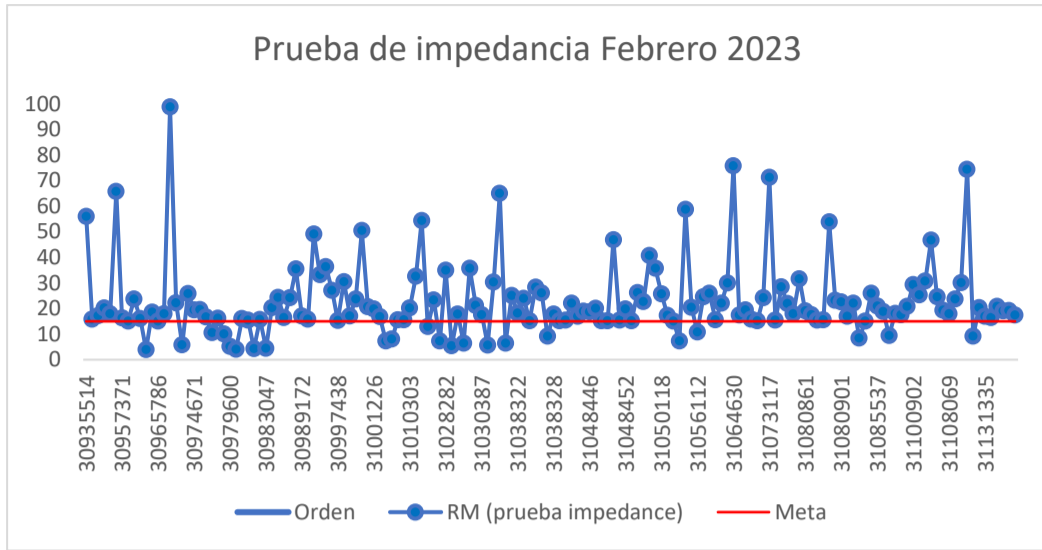
Figura 8. Prueba de impedancia análisis enero 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico del mes de enero, del total de los datos graficados, un total de 72 sobrepasan el valor meta que tiene la prueba de impedancia.

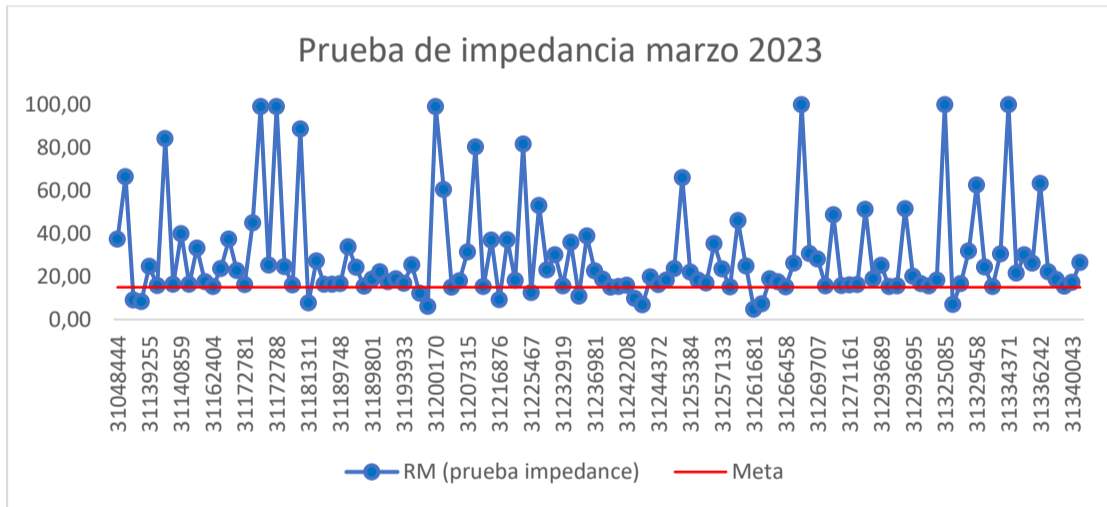
Figura 9. Prueba de impedancia análisis febrero 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico del mes de febrero, del total de los datos graficados, un total de 134 sobrepasan el valor meta que tiene la prueba de impedancia.

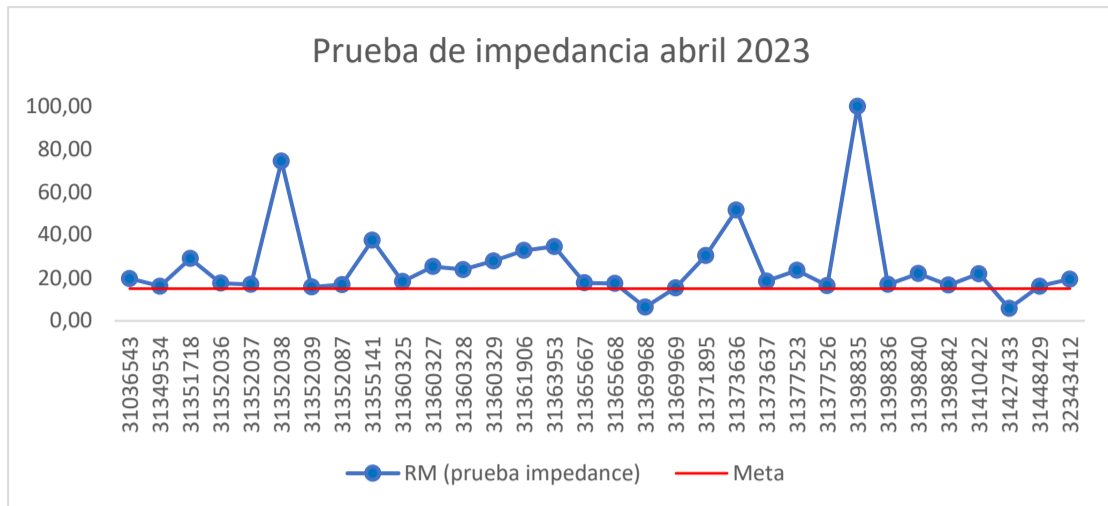
Figura 10. Prueba de impedancia análisis marzo 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico del mes de marzo, del total de los datos graficados, un total de 110 sobrepasan el valor meta que tiene la prueba de impedancia.

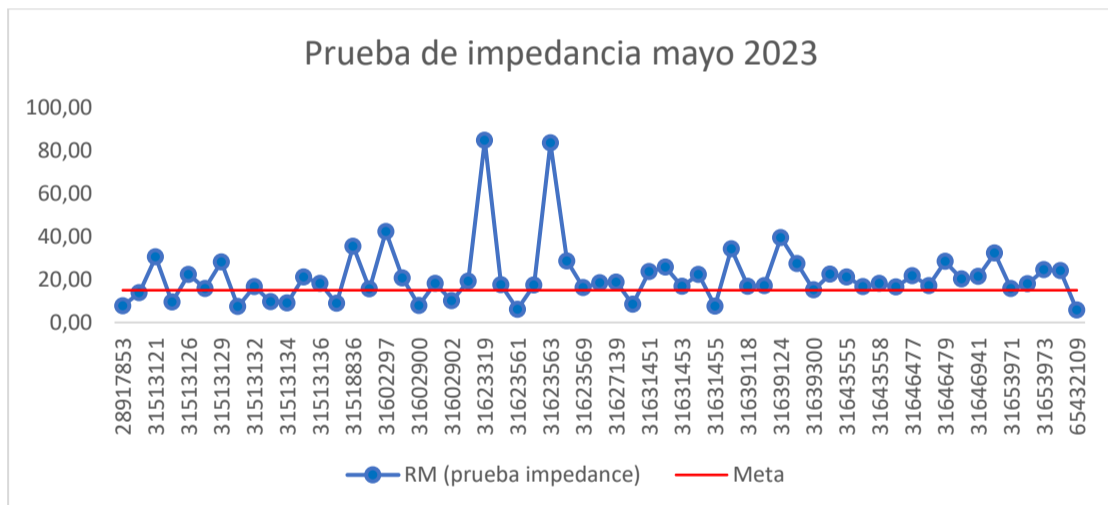
Figura 11. Prueba de impedancia análisis abril 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico del mes de abril, del total de los datos graficados, un total de 30 sobrepasan el valor meta que tiene la prueba de impedancia.

Figura 12. Prueba de impedancia análisis mayo 2023.

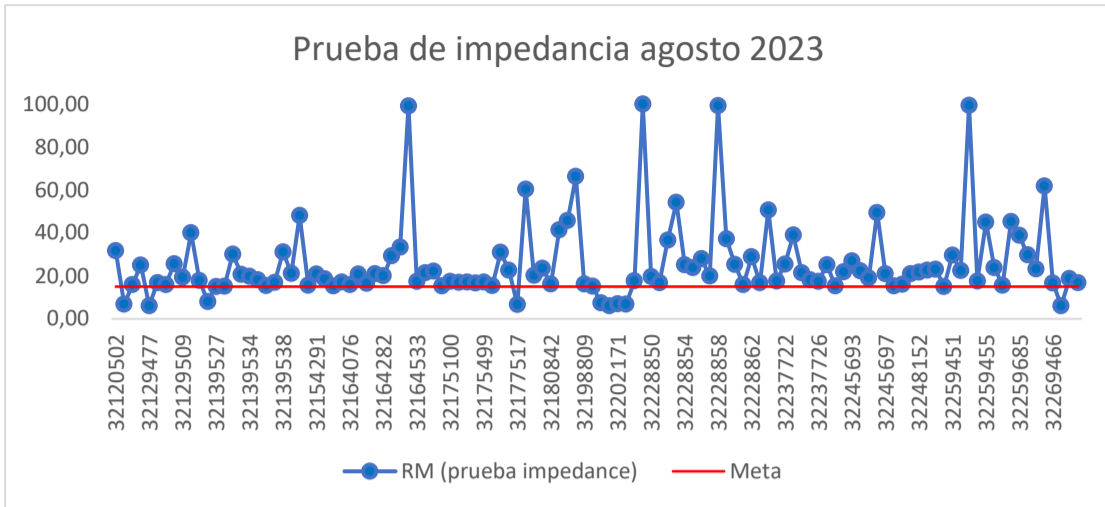


Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico del mes de abril, del total de los datos graficados, un total de 46 sobrepasan el valor meta que tiene la prueba de impedancia.



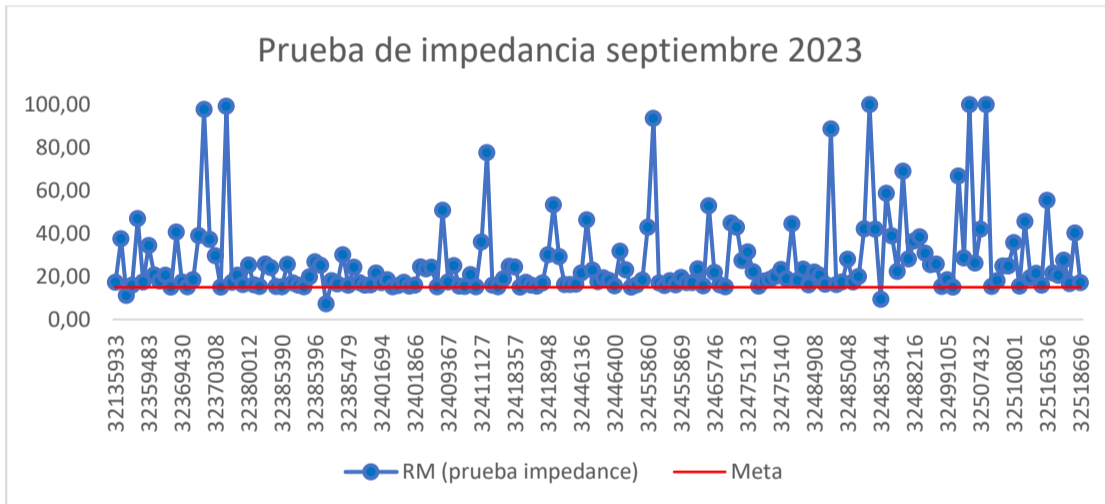
Figura 15. Prueba de impedancia análisis agosto 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico del mes de agosto, del total de los datos graficados, un total de 107 sobrepasan el valor meta que tiene la prueba de impedancia.

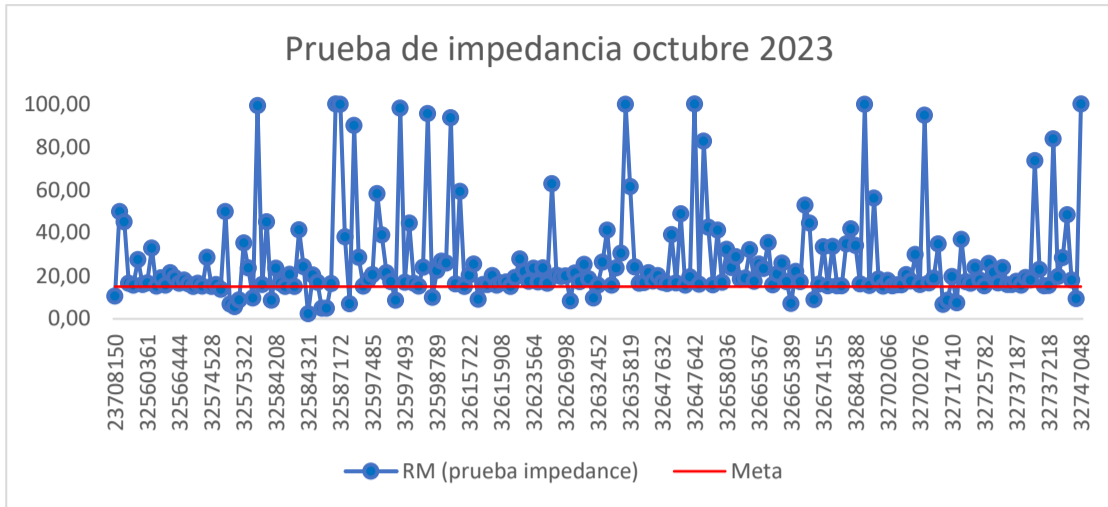
Figura 16. Prueba de impedancia análisis septiembre 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico del mes de setiembre, del total de los datos graficados, un total de 172 sobrepasan el valor meta que tiene la prueba de impedancia.

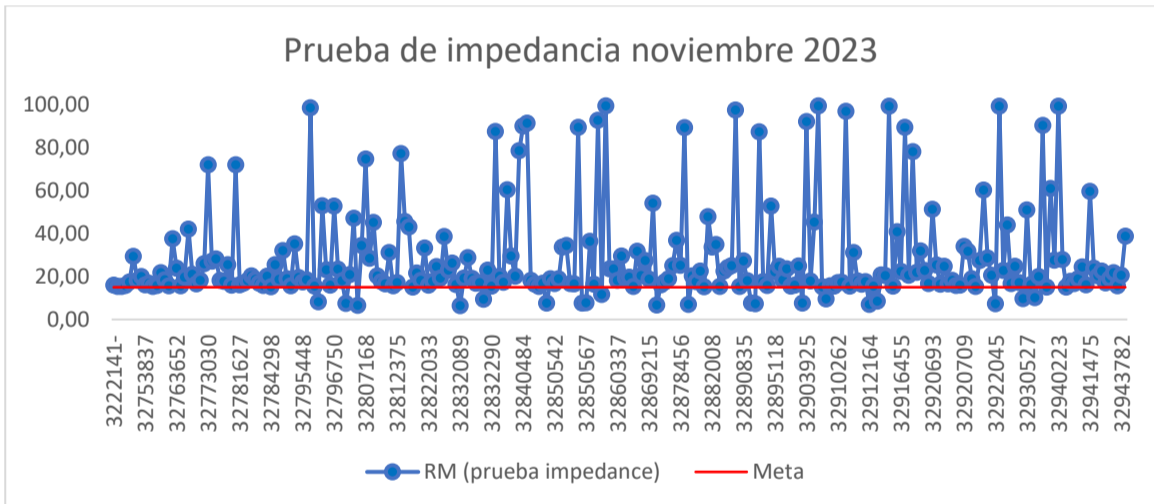
Figura 17. Prueba de impedancia análisis octubre 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico del mes de octubre, del total de los datos graficados, un total de 189 sobrepasan el valor meta que tiene la prueba de impedancia.

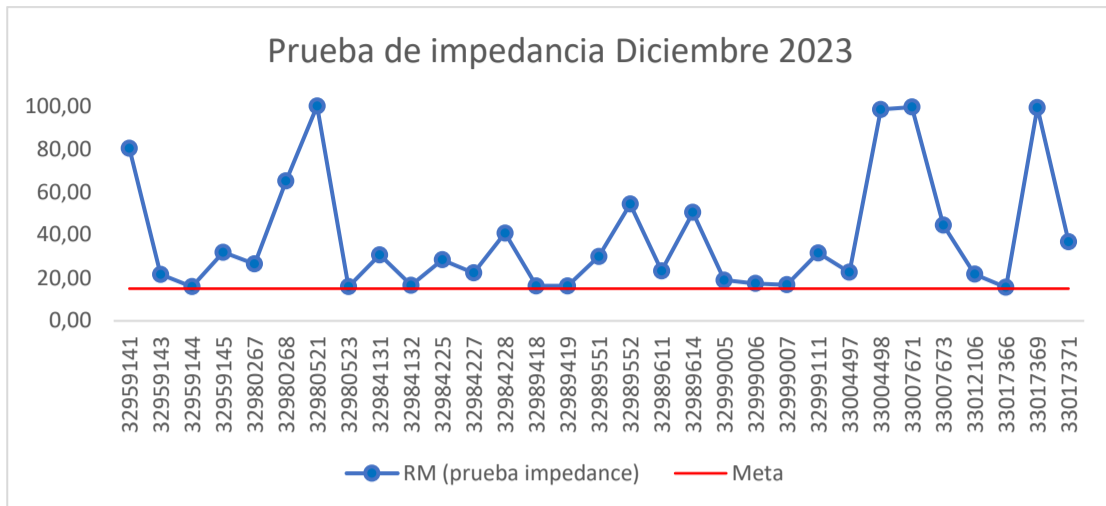
Figura 18. Prueba de impedancia análisis noviembre 2023.



Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en el gráfico del mes de noviembre, del total de los datos graficados, un total de 238 sobrepasan el valor meta que tiene la prueba de impedancia.

Figura 19. Prueba de impedancia análisis diciembre 2023.



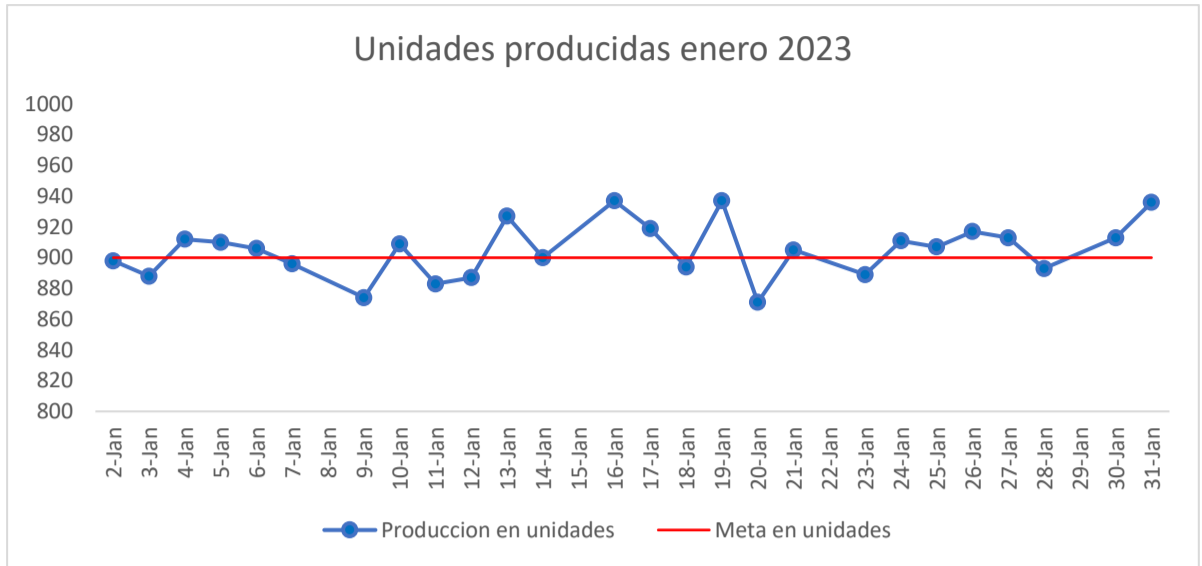
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico del mes de diciembre, del total de los datos graficados, un total de 31 sobrepasan el valor meta que tiene la prueba de impedancia.

#### 4.2.2 Unidades conformes por día ( $\geq 900$ u/d)

Para medir las unidades conformes por día, cuya meta es  $\geq 900$  unidades diarias, se recolectaron datos de enero a diciembre de 2023, considerando los días disponibles de producción. Estos datos se ilustraron mensualmente en un gráfico de líneas utilizado por el equipo de producción de Boston Scientific para observar las unidades conformes por día. En el eje Y se visualizan las unidades producidas por día (datos cuantitativos) y en el eje X se muestran los días disponibles del mes. Además, se utiliza una línea de referencia, representada en los gráficos con una línea roja, que indica la meta de producción establecida de 945 unidades conformes por día los datos no requirieron ninguna depuración.

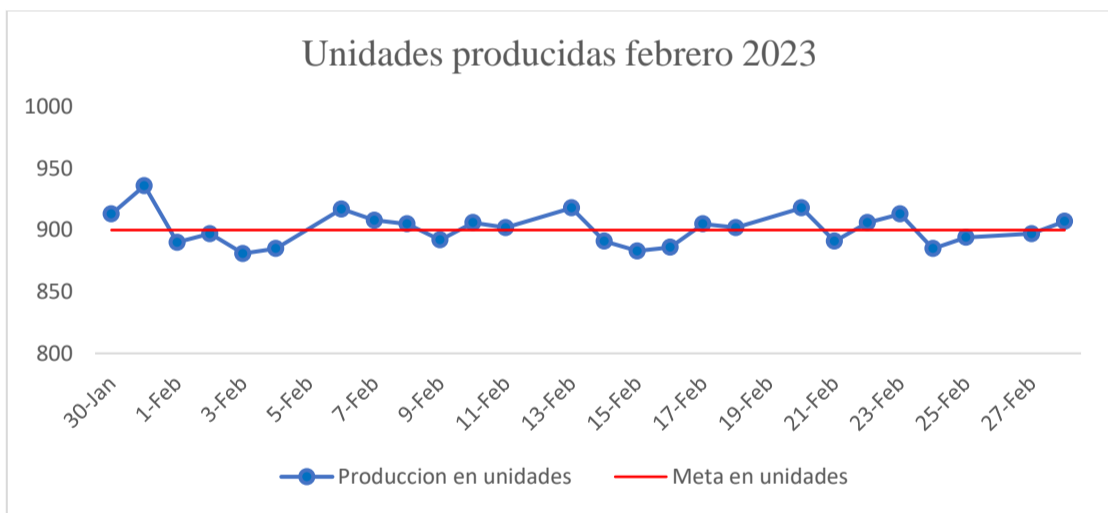
Figura 20. Análisis de producción enero 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de enero 2023, del total de los 26 días graficados, 10 no cumplen con la meta de producción.

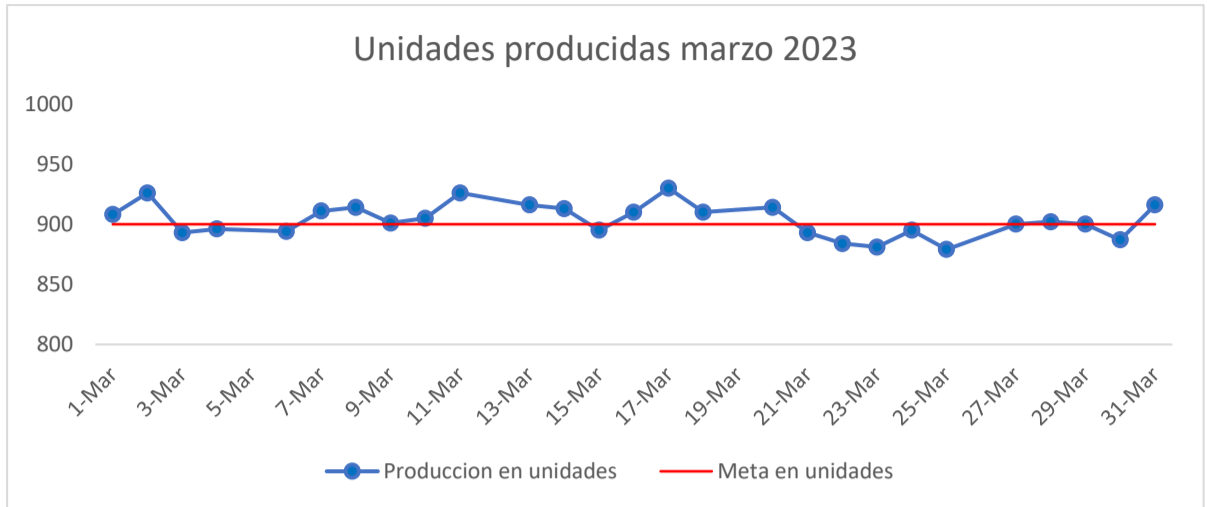
Figura 21. Análisis de producción de febrero 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de febrero 2023, del total de los 26 días graficados, 12 días no se cumple la meta de producción.

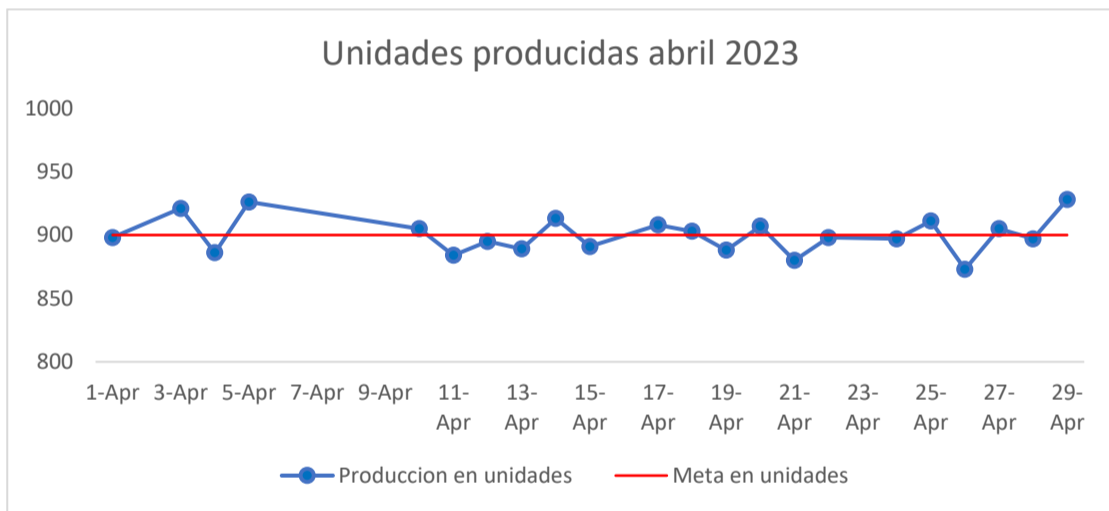
Figura 22. Análisis de producción marzo 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de marzo 2023, del total de los 27 días graficados, 10 días no se cumple la meta de producción.

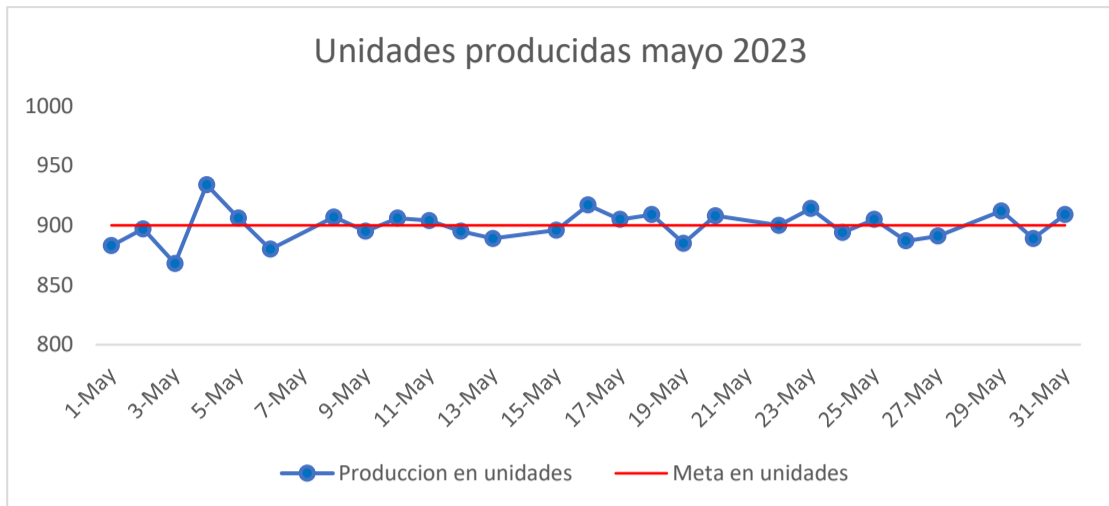
Figura 23. Análisis de producción abril 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de abril 2023, del total de los 22 días graficados, 12 días no se cumple la meta de producción.

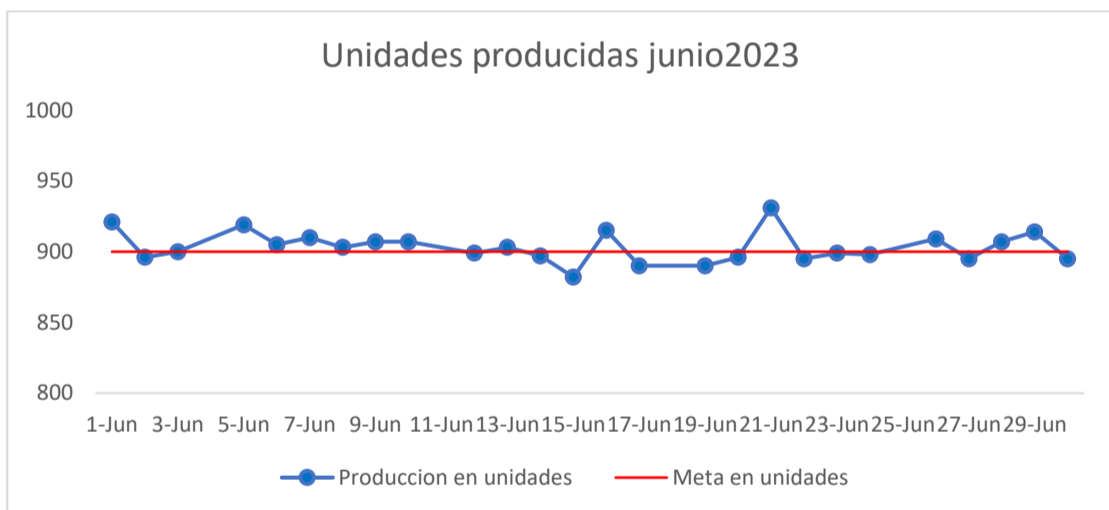
Figura 24. *Análisis de producción mayo 2023.*



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de mayo 2023, del total de los 27 días graficados, 13 días no se cumple la meta de producción.

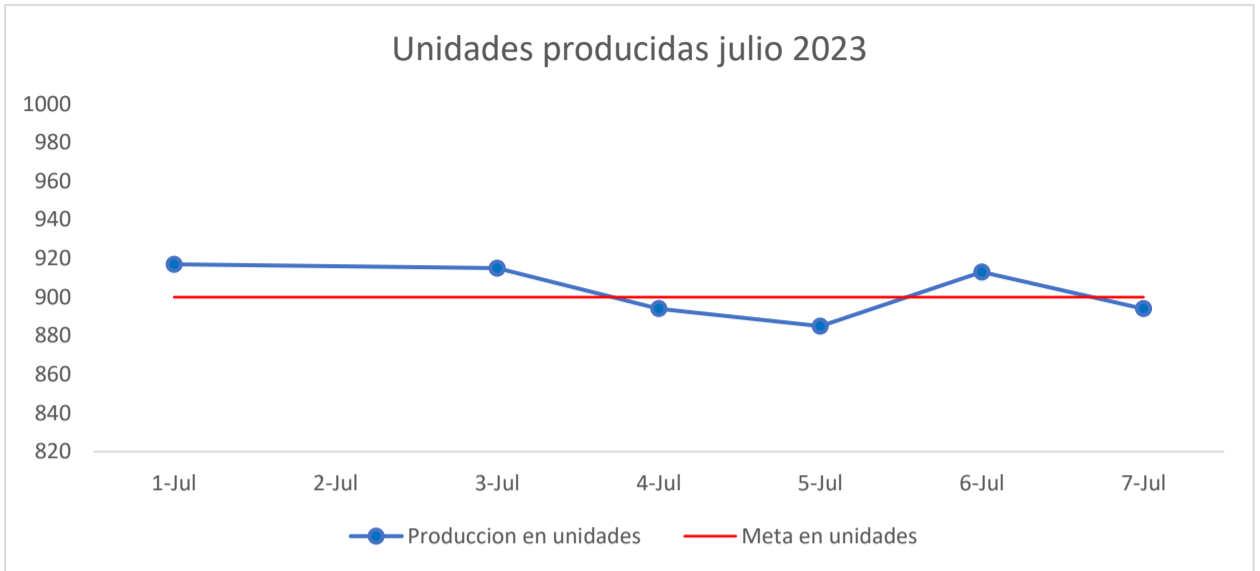
Figura 25. *Análisis de producción junio 2023.*



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de junio 2023, del total de los 26 días graficados, 12 días no se cumple la meta de producción.

Figura 26. Análisis de producción julio 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de julio 2023, del total de los 6 días graficados, 2 días no se cumple la meta de producción.

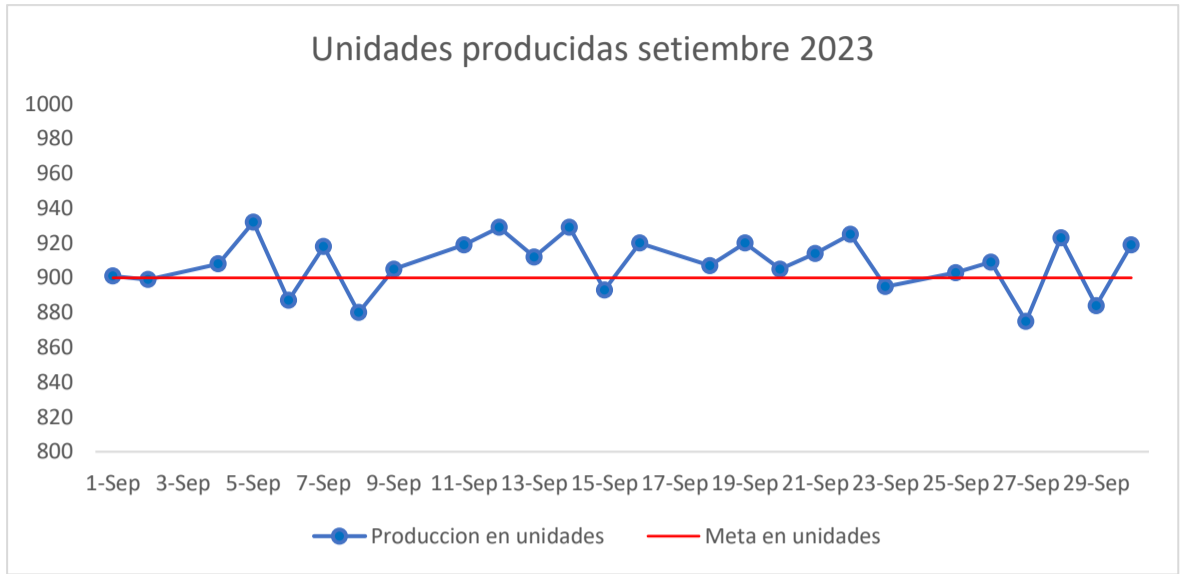
Figura 27. Análisis de producción agosto 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de agosto 2023, del total de los 27 días graficados, 10 días no se cumple la meta de producción.

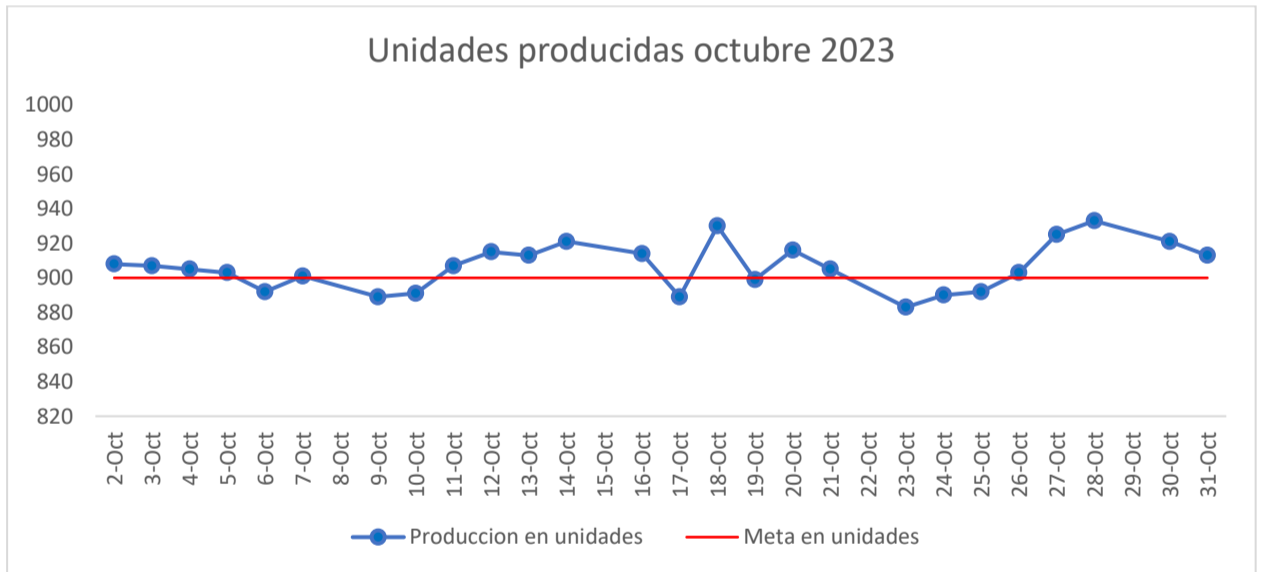
Figura 28. Análisis de producción setiembre 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de setiembre 2023, del total de los 26 días graficados, 6 días no se cumple la meta de producción.

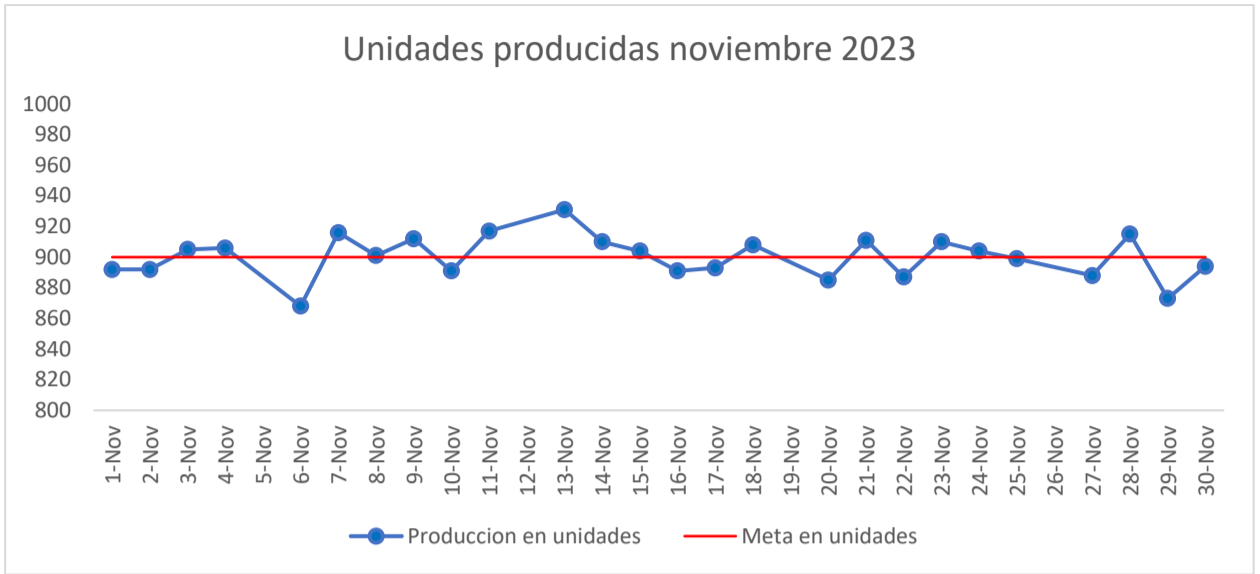
Figura 29. Análisis de producción octubre 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de octubre 2023, del total de los 26 días graficados, 8 días no se cumple la meta de producción.

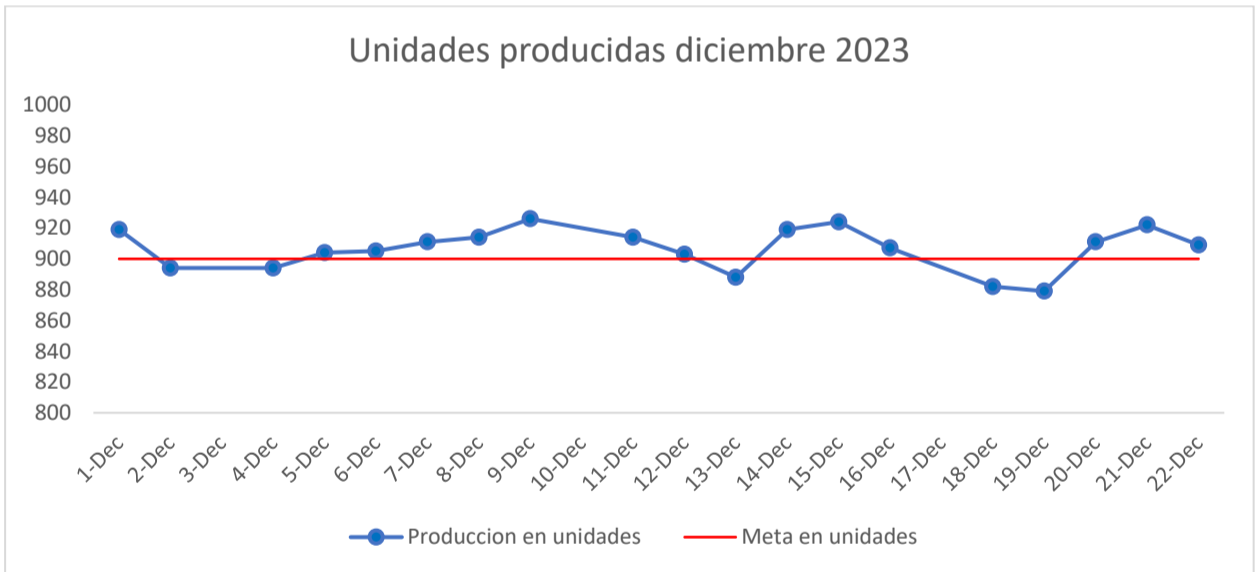
Figura 30. *Análisis de producción noviembre 2023.*



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de noviembre 2023, del total de los 26 días graficados, 12 días no se cumple la meta de producción.

Figura 31. *Análisis de producción diciembre 2023.*



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se aprecia en el gráfico de unidades producidas de octubre 2023, del total de los 19 días graficados, 5 días no se cumple la meta de producción.

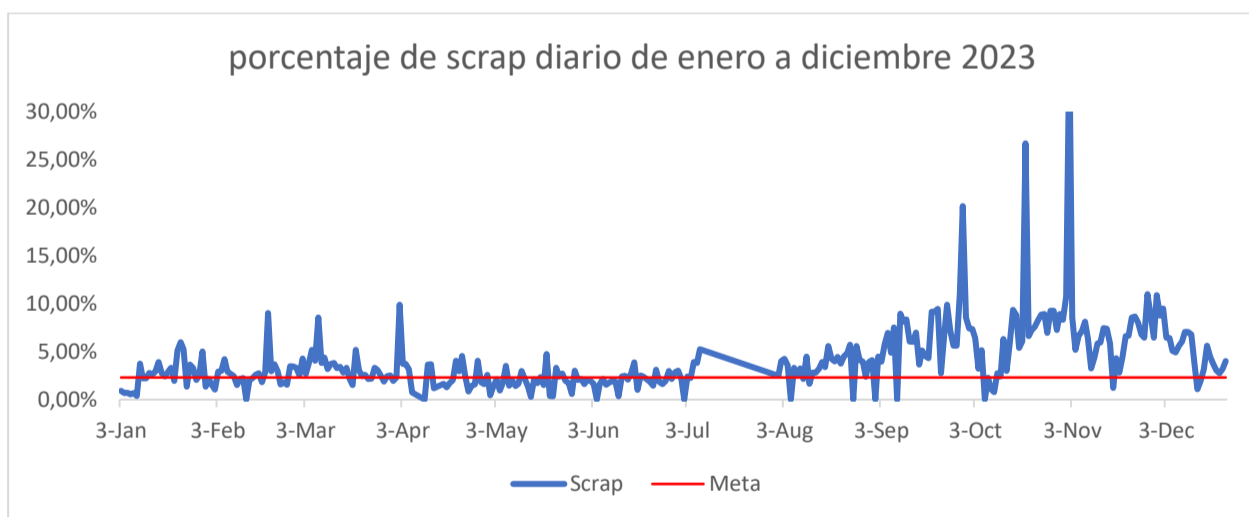
#### 4.2.3 Valor de scrap generado por prueba de impedancia no conforme diario

( $\leq 2.3\%$ )

Para la medición del valor de scrap de impedancia no conforme diario, se determina que el indicador es  $\leq 2.3\%$  por día, los datos de esta prueba fueron 332 mediciones durante el período comprendido entre enero y diciembre del año 2023.

Los datos fueron sometidos a un análisis de depuración con el fin de detectar valores atípicos e identificando aquellos que excedían los 20 ohmios. Se tomó la decisión de excluir tres de estos valores para asegurar la integridad y la fiabilidad de los resultados en el estudio. Posteriormente en la depuración de los datos, se ejemplifican por medio de un gráfico de línea utilizado en la empresa para monitorear el comportamiento durante las mediciones donde en el eje Y se visualiza el porcentaje (%) en datos cuantitativos de la prueba y en el eje X se colocan los días de la prueba. Adicionalmente se utiliza una línea de referencia, la cual se observa en el gráfico como la línea roja, esta representa el valor meta en % para el valor de scrap con un valor de 2.3%.

Figura 32. % Scrap diario enero a diciembre 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

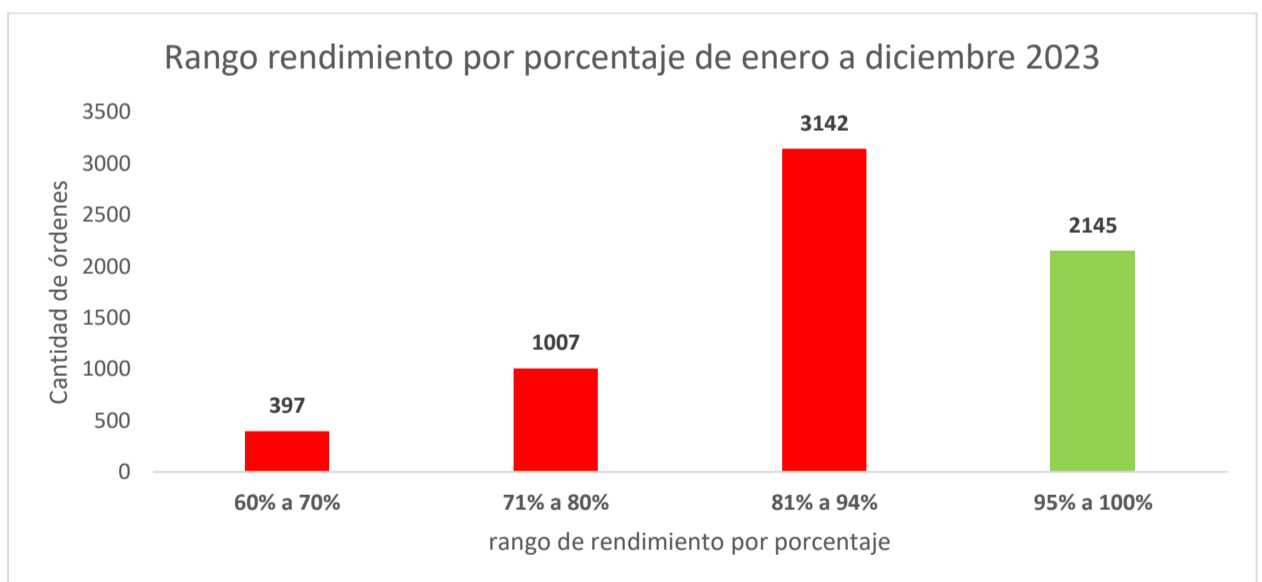
Como se aprecia en el gráfico de porcentaje de scrap diario de enero a diciembre del año 2023 de los 328 días del año, en 223 días no se logró cumplir con la especificación del porcentaje de scrap.

#### 4.2.4 Valor de rendimiento yield de cada orden de producción sea $\geq 95\%$

Para medir el último CTQ del valor de rendimiento de cada orden de producción, se recolectaron 6691 datos desde enero hasta diciembre de 2023. Posteriormente, estos datos se ejemplificaron en un gráfico de barras utilizando rangos del valor de rendimiento (yield). Dado el gran volumen de datos, este enfoque permite una visualización clara y comprensible, facilitando la interpretación y la extracción de los datos; no fue necesario realizar una depuración de los datos.

En el eje Y se muestra la cantidad de órdenes de producción (número de órdenes), mientras que en el eje X se presentan los rangos de porcentaje del rendimiento. Adicionalmente, las barras con color rojo representan la cantidad de órdenes que están fuera de la meta de rendimiento establecida (95%), y las barras con color verde indican las órdenes que cumplen con la meta. Además, se aprecia en el gráfico que de los 6691 datos graficados obtenidos de las órdenes de producción, 4546 se encuentran fuera de la meta establecida del 95% en rendimiento y que solo 2145 datos están dentro de la meta del periodo enero a diciembre 2023.

Figura 33. % rangos de rendimiento enero a diciembre 2023.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

#### 4.3 Etapa de Análisis

El análisis de datos es una herramienta fundamental en la toma de decisiones, ya que proporciona información valiosa para comprender el comportamiento de un proceso o fenómeno. El análisis presente se centra en examinar un conjunto de datos que representan ciertas mediciones a lo largo de diferentes meses del año. El objetivo es entender la variabilidad,

tendencias y patrones presentes en los datos, mismos que permitirán tomar decisiones informadas y estratégicas.

En la tabla 6, se presentan las promedios y desviaciones estándares de las cuatro métricas analizadas (Impedancia, producción o unidades buenas, Rendimiento (Yield) y Scrap) en el periodo de tiempo de enero a diciembre del 2023. Estas medidas son fundamentales en el área de la estadística para comprender la dispersión de los datos respecto a su media.

Tabla 7. *Datos estadísticos de las variables de análisis.*

Mes	Impedancia (15 Ohm)		Producción o unidades buenas(900 U)		Rendimiento (Yield) (95%)		Scrap (2,3%)	
	Desviación estándar	Prom $\bar{x}$	Desviación estándar	Prom $\bar{x}$	Desviación estándar	Prom $\bar{x}$	Desviación estándar	Prom $\bar{x}$
Enero	22,18	25,1	17,52	905	10,12%	94%	1,20%	3,6%
Febrero	31,71	24,7	11,19	899	10,05%	93%	1,51%	3,5%
Marzo	41,42	33,9	13,34	904	10,87%	93%	1,32%	3,6%
Abril	18,40	25,7	14,05	900	9,21%	94%	1,90%	3,6%
Mayo	14,27	21,3	13,24	899	8,09%	95%	1,07%	3,1%
Junio	32,88	29,5	10,63	903	8,64%	94%	0,67%	2,8%
Julio	9,02	17,1	12,56	905	9,19%	94%	1,10%	3,8%
Agosto	21,55	26,6	15,43	911	10,35%	94%	1,34%	3,9%
Septiembre	28,02	28,5	15,33	908	12,42%	85%	3,46%	7,2%
Octubre	38,85	30,4	13,21	906	10,34%	88%	4,56%	7,6%
Noviembre	32,91	31,2	13,90	900	9,33%	87%	5,88%	7,9%
Diciembre	49,93	46,6	13,44	907	9,45%	87%	2,10%	5,4%

Fuente: Elaboración propia, 2024.

A continuación, se analizará cada uno de los datos por métrica:

**Impedancia.** En los datos proporcionados en la prueba de impedancia donde se han calculado tanto los promedios como las desviaciones estándar y con un valor de referencia establecido en 15 ohmios, se observa que todos los promedios se sitúan por arriba de dicho valor, así que este hallazgo indica que el promedio para cada mes supera la meta deseada. Con respecto a la desviación estándar esta muestra una amplia variabilidad en los datos, oscilando entre 9 Ohm y 50 Ohm.

**Producción o unidades buenas.** En los datos proporcionados para la variable de

producción o unidades buenas se observa que la mayoría de los promedios obtenidos por mes se encuentran cerca del promedio meta establecido (900 unidades). En términos de la variabilidad los datos de las desviaciones estándar por mes oscilan entre 10.63 y 17.52.

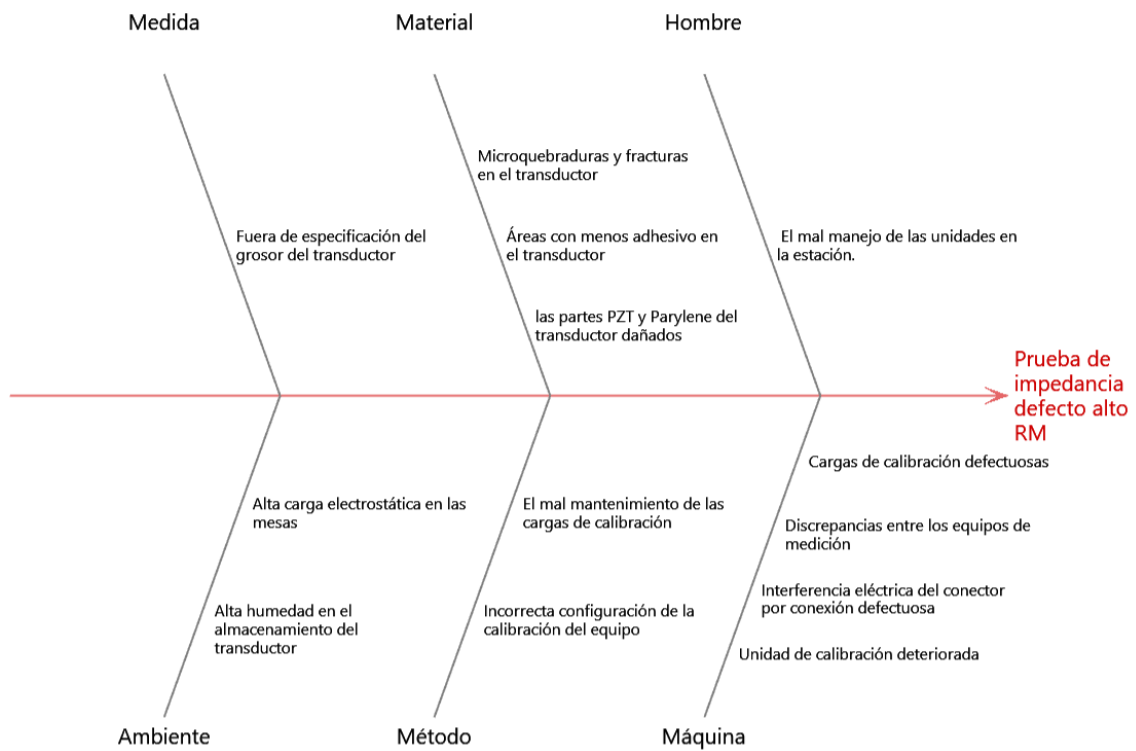
**Rendimiento (yield).** Este parámetro tiene un valor objetivo del 95%. Al analizar los datos, se observa que la mayoría de los valores de rendimiento promedios por mes se encuentran cerca de la meta establecida que es 95%, también se evidencia una variabilidad en los resultados, con desviaciones que van desde 8.09% hasta 12.42%.

**Scrap.** En la métrica de scrap se tiene una meta de 2.3%, respecto al promedio de los meses todos sobrepasan la meta establecida llegando a un valor máximo de 7.9% y un mínimo de 2.8%, se observan valores de variabilidad por mes que varían entre 0.67% y 5.88%.

Para continuar con el análisis es relevante examinar las causas de variación que están generando estos problemas tanto en la variabilidad como en la centralidad del proceso y por consiguiente, el alcance de cada uno de los valores metas que cada métrica presenta. Para ello se trabajó un análisis a través del diagrama de Ishikawa; en su aplicación se identifican las causas potenciales que pueden estar influyendo en los resultados desfavorables de las métricas en estudio, las cuales se generaron a través de una lluvia de ideas con la colaboración y la participación de supervisores, ingenieros, personal de calidad y capacitación, operarios, equipo de trabajo del proyecto, entre otros. Profesionales que presentan un conocimiento claro y amplio del proceso en estudio, lo cual enriquece la identificación de posibles causas y aumenta la probabilidad de encontrar soluciones efectivas. En la figura 34, se muestra el resultado del diagrama Ishikawa realizado:

Figura 34. Diagrama Ishikawa prueba de impedancia.

**Digrama Ishikawa de la prueba de impedancia**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Para lograr la identificación de la causa raíz derivada del análisis realizado en la causa y efecto, se procede a aplicar una matriz de Vester. Para ello se tuvo la participación de un equipo experto que analizó la relación de variables que contribuyen con el análisis para determinar las causas potenciales que afectan el proceso de la prueba de impedancia defecto alto RM, los resultados de la matriz se aprecian en la tabla 7:

Tabla 8. Análisis de la Matriz de Vester en la prueba de impedancia alto RM.

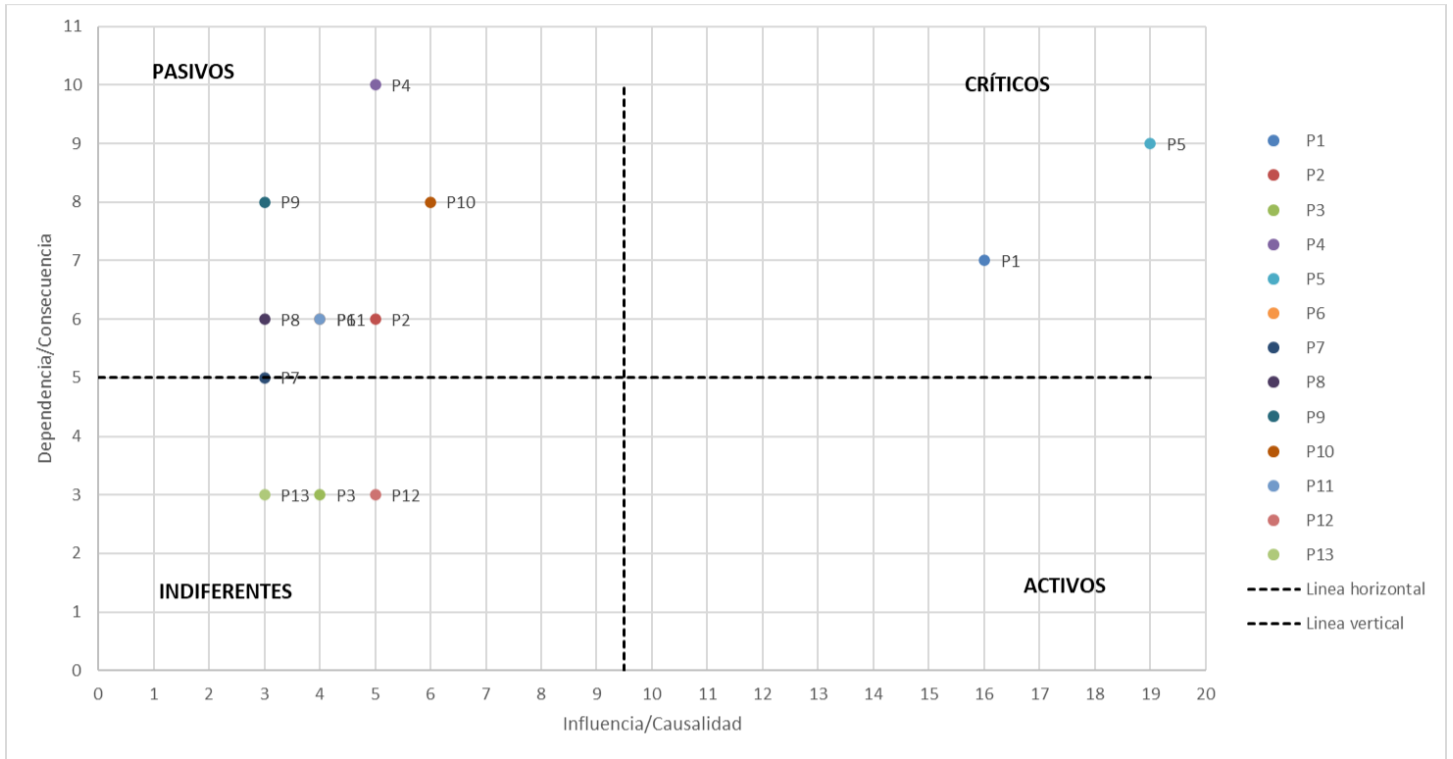
Código	Variable	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	INFLUENCIA
P1	Unidad de calibración deteriorada	0	1	0	3	3	0	0	2	3	3	0	0	1	16
P2	El mal manejo de las unidades en la estación.	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	5
P3	Incorrecta configuración de la calibración del equipo	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	4
P4	las partes PZT y Parvlene del transductor dañado	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	5
P5	Interferencia eléctrica del conector por conexión defectuosa	3	0	0	3	0	2	3	0	2	3	3	0	0	19
P6	Cargas de calibración defectuosas	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	4
P7	Grosor de la medida del transductor	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3
P8	Fuera de especificación del grosor del transductor	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	3
P9	Alta humedad en el almacenamiento del transductor	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
P10	Discrepancias entre los equipos de medición	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	1	0	6
P11	Alta carga electrostática en las mesas	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
P12	Áreas con menos adhesivo en el transductor	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	5
P13	El mantenimiento de las cargas de calibración	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
DEPENDENCIA		7	6	3	10	9	6	5	6	8	8	6	3	3	46

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Del análisis realizado, se puede identificar que P1 y P5 son los causas que afectan directamente al problema en la prueba de impedancia alto RM.

Por otra parte, como complemento al análisis anterior, se determina por medio de la matriz que se observa en la figura 35, la comprensión del análisis mediante un cuadro de cuadrantes que determinan la posición actual de las causas, si son críticas, pasivas, indiferentes o activas:

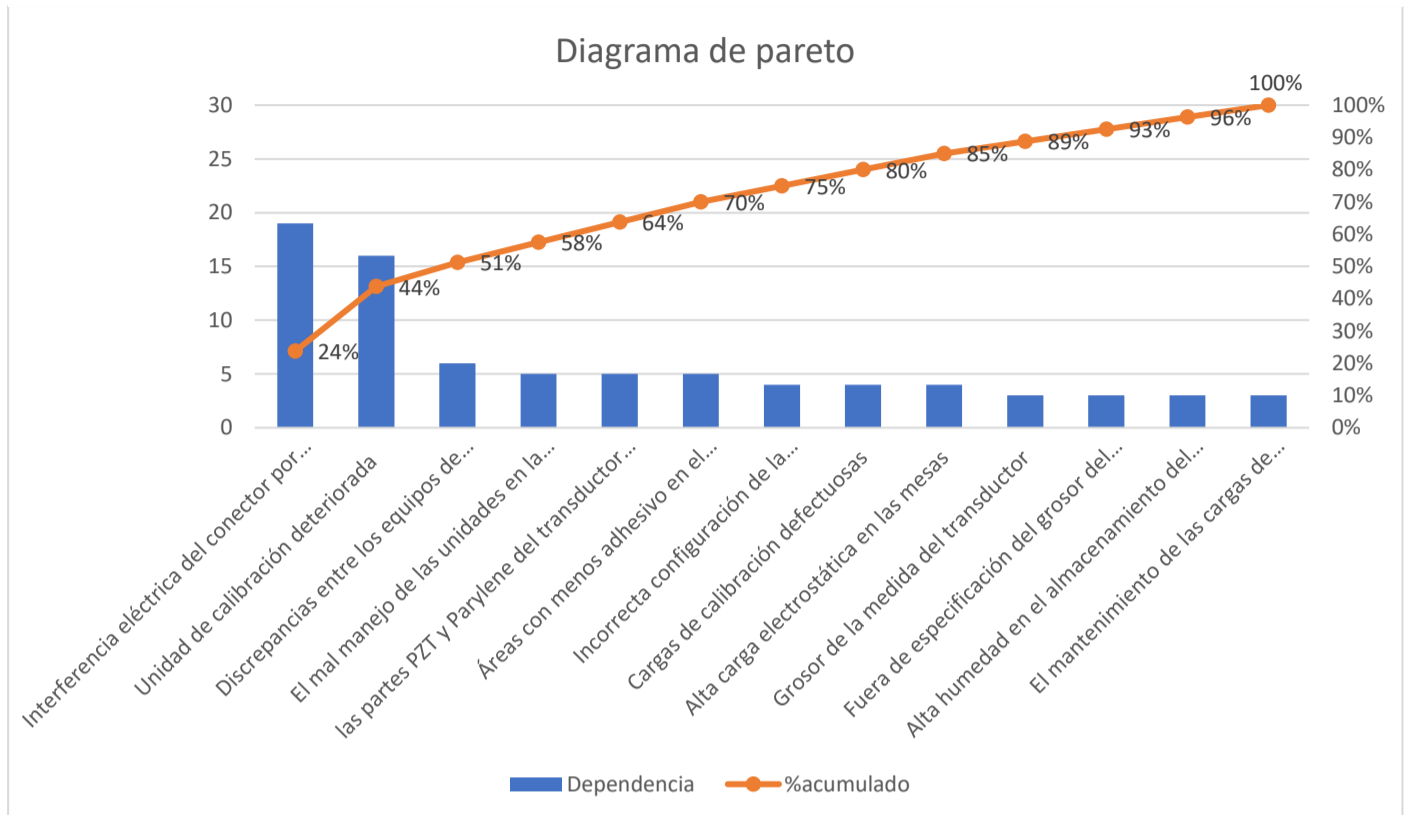
Figura 35. Cuadrante de las variables de la matriz Vester.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

En el análisis por cuadrantes se puede determinar que las variables P1 y P5 son las que representan un estado crítico dentro del problema en estudio. Igualmente, se consideró la inclusión de un análisis de Pareto para identificar y priorizar todas las posibles causas analizadas, complementando así el estudio realizado con la matriz de Vester. El Pareto realizado se aprecia en la figura 36:

Figura 36. Diagrama de Pareto de las causas del defecto de alto RM.

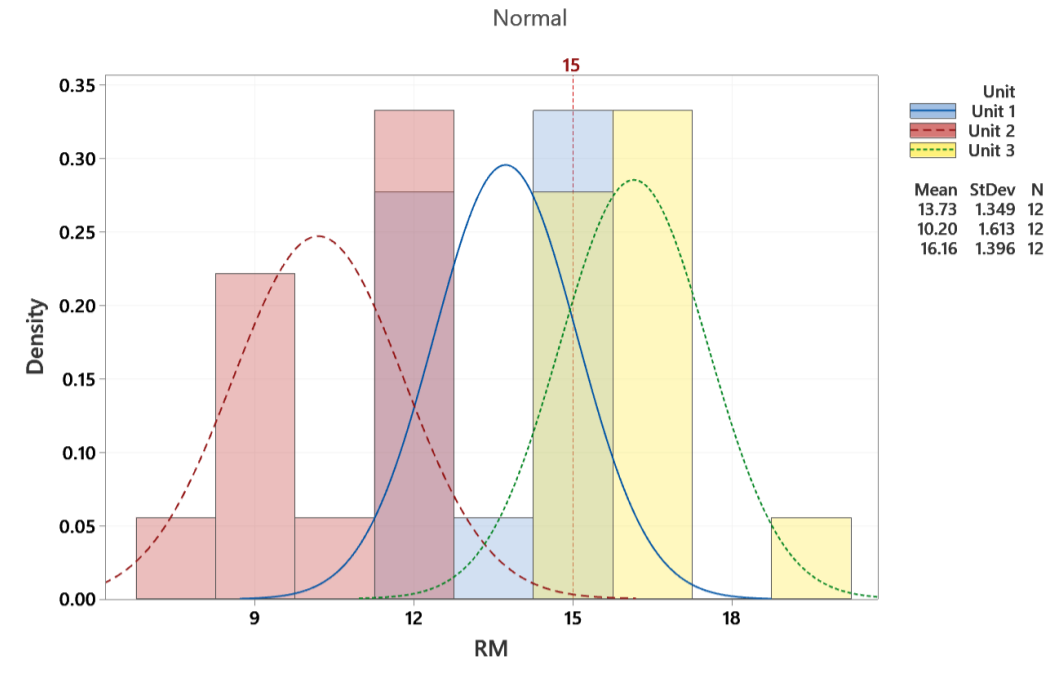


Fuente: Elaboración propia, 2024.

El análisis de Pareto revela que las interferencias eléctricas del conector por conexión defectuosa y unidades de calibración deterioradas son las mayores causantes del problema, ya teniendo las dos causas prioritariamente más importantes, se procederá a profundizar en su análisis de una manera individual, y que esto permita encontrar soluciones efectivas que ataquen el problema en estudio.

- Interferencias eléctricas del conector por conexión defectuosas

Para profundizar en el análisis de esta causa, se procedió a realizar un estudio estadístico utilizando el histograma como herramienta de análisis. El histograma que se muestra en la figura 37, presenta una distribución de datos en diferentes intervalos, basados en una muestra de 36 mediciones. Las mediciones se realizan utilizando el mismo equipo, operador y unidad de medición, pero con tres conectores distintos los cuales se identificaron con colores diferentes tal y como se observan en las líneas en el histograma: color azul (conector 1) por color rojo, (conector 2) y por color verde (conector 3). En el histograma en el eje Y se muestra la densidad y en el eje X valores de RM y ejemplificando con una línea vertical punteada de color rojo la especificación que es de 15ohm.

Figura 37. *Histograma de la interferencia eléctrica del conector.*

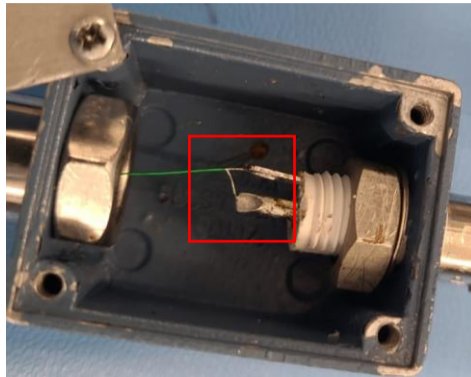
Fuente: Elaboración propia, 2024.

De acuerdo con el comportamiento que tuvo cada conector al ser usado en condiciones iguales, se obtienen los siguientes hallazgos:

- El conector de color rojo, que no estaba en uso, mostró el 100% de los datos dentro de la especificación de 15 ohmios, comportamiento muy diferente a los otros dos conectores.
- El conector azul, presentó un 14% de datos fuera de la especificación de 15 ohmios.
- El conector verde, fue el que mayor problema presentó y generó un total de 47% de datos fuera de la especificación de 15 ohmios.

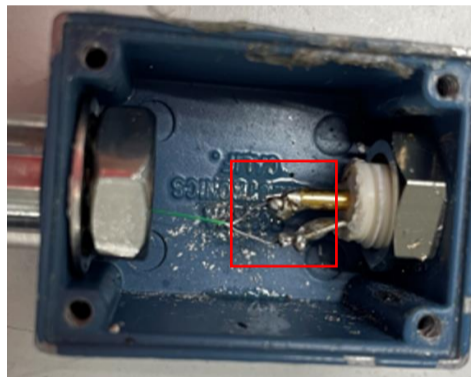
A continuación, se muestran en la figura 38, 39 y 40 las conexiones de los conectores tanto azul, verde y rojo, en donde se puede observar que la manipulación de los conectores que estaban en las líneas de producción (azul y verde) al tener movimiento en su manipulación al momento de conectarse a la unidad se genera un desgaste, el cual está interfiriendo en los datos que se obtienen, dando mediciones fuera de especificación. Mientras que, el conector rojo al no utilizarse no se ha manipulado ni deteriorado por lo que no se afectan las medidas.

Figura 38. Conector azul con visible desgaste en las conexiones.



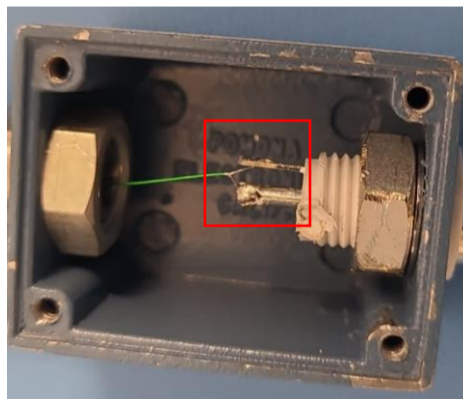
Fuente: Wilberth Garita 2024.

Figura 39. Conector verde con visible desgaste en las conexiones.



Fuente: Wilberth Garita 2024

Figura 40. Conector rojo sin desgaste en las conexiones.



Fuente: Wilberth Garita 2024.

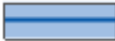




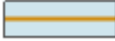


En conclusión, las variaciones en las mediciones de los conectores pueden influir significativamente en la precisión de las mediciones, debido a la manipulación y a la naturaleza de las conexiones deficientes sin un mantenimiento definido.

- Unidad de calibración deteriorada

Con el fin de profundizar en el análisis de la unidad de calibración por deterioro se

procedió a realizar 80 mediciones utilizando el mismo equipo, operador y unidad de medición variando únicamente la unidad de calibración que en total se cuenta con 8 disponibles y que fueron aprobadas por el operador para realizar la calibración, las unidades fueron identificadas del UC1 al UC8 por colores, se realizó una simbología para cada unidad y así mantener su trazabilidad en el análisis como lo muestra la figura 41.

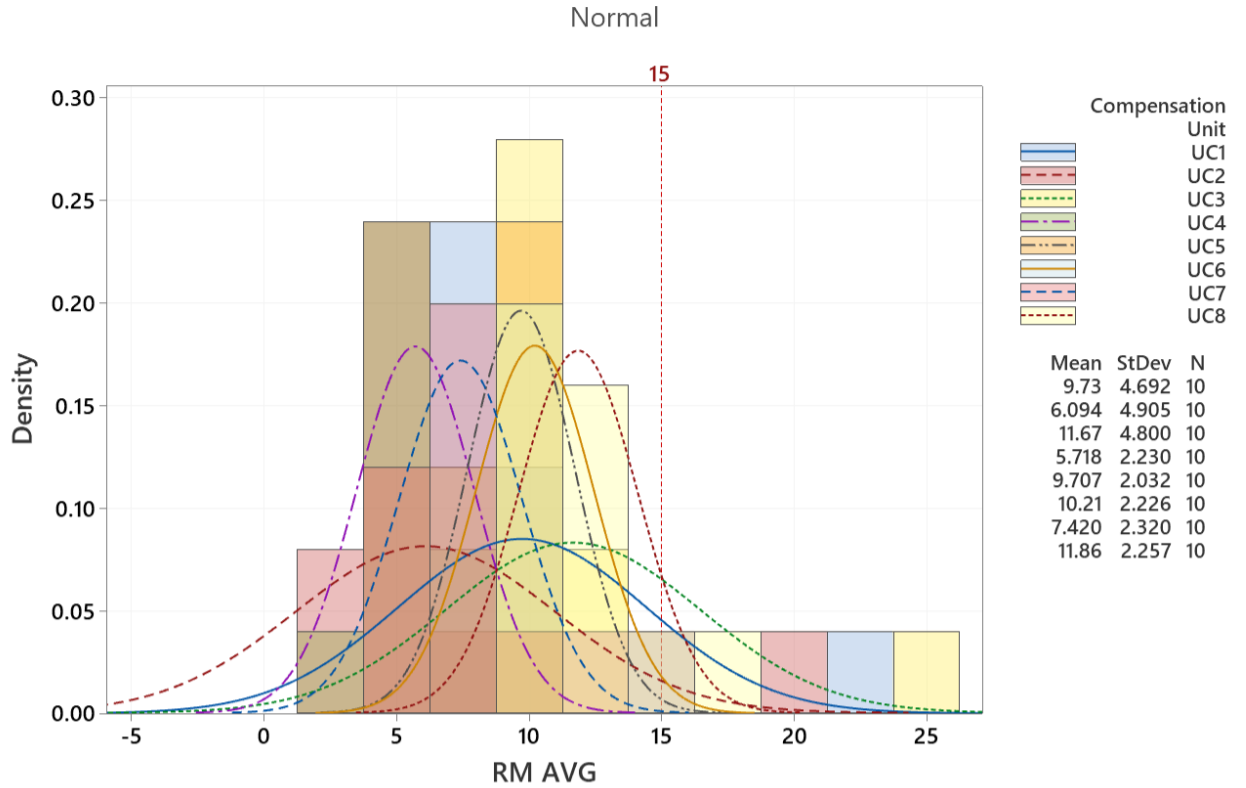
Figura 41. *Simbología de las unidades de calibración (compensation unit).*

Compensation	
	Unit
	UC1
	UC2
	UC3
	UC4
	UC5
	UC6
	UC7
	UC8

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Todos los datos obtenidos se graficaron en un histograma, donde en el eje Y se muestra la densidad y en el eje X valores de RM, además de una línea roja punteada la cual simboliza la especificación o valor meta de RM en 15 ohm. Los resultados obtenidos al graficarlos en un histograma se muestran en la figura 42.

Figura 42. Histograma de la unidad de calibración.

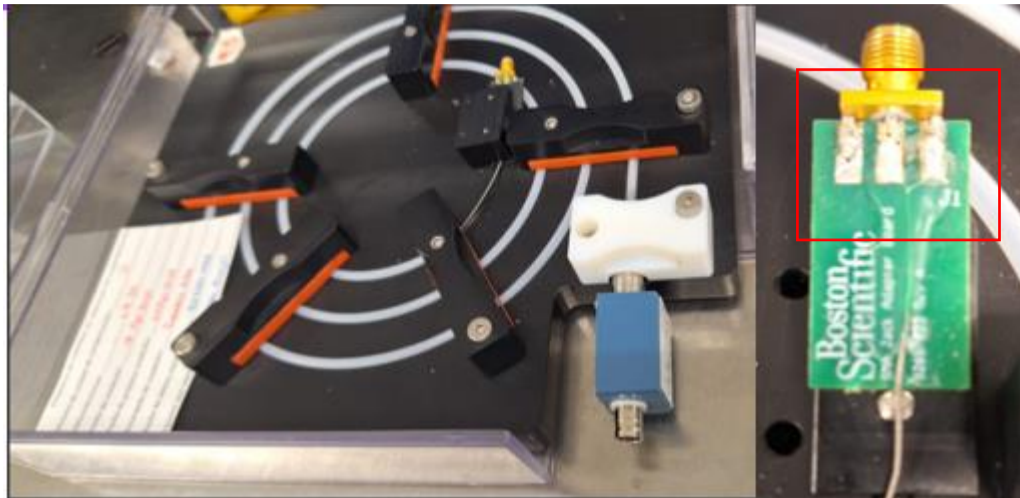


Fuente: Elaboración propia, 2024.

De los resultados obtenidos se puede identificar que todas las unidades de calibración presentan comportamientos diferentes; sin embargo, se puede determinar el que mejor conector es el representado con la línea morada (conector 4), ya que este presenta un promedio en los resultados de la prueba de impedancia de 5.718 ohmios y una desviación estándar de 2.23 ohmios. En contraste con los resultados que muestra este conector está el representado con la línea verde (conector 3) el cual tiene un valor promedio en la prueba de impedancia de 11.67 ohmios y una desviación estándar de 4.8 ohmios.

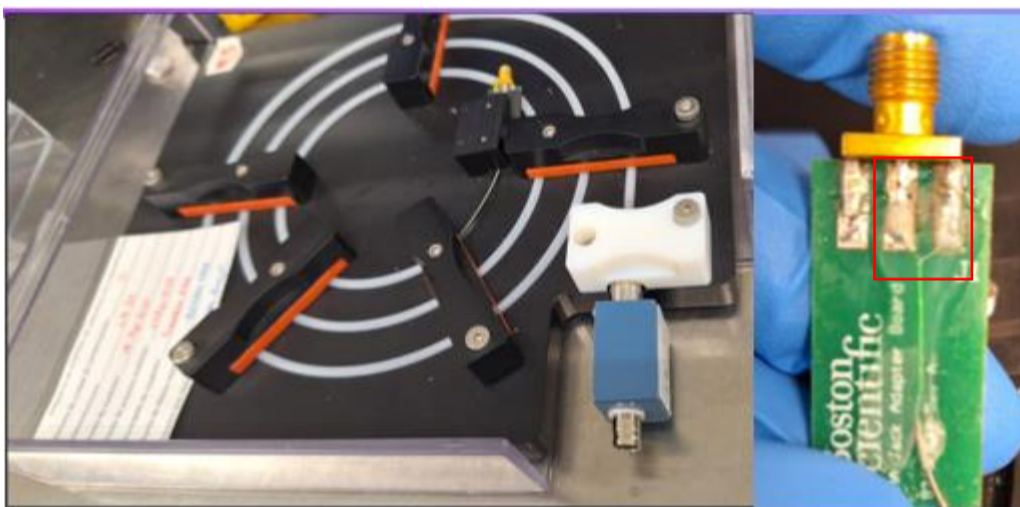
Es imprescindible rescatar que, el conector 4 que se muestra en la figura 43 y que fue representado en el histograma con la línea morada no ha sido manipulado aun en la línea de producción a diferencia del conector 3 que se muestra en la figura 44 y que fue representado en el histograma con la línea verde que está siendo manipulado en el piso de producción actualmente para la calibración del equipo. Ver figura 42.

Figura 43. *Unidad de calibración UC4.*



Fuente: Boston Scientific.

Figura 44. *Unidad de calibración UC3.*



Fuente: Boston Scientific.

En conclusión, la unidad de calibración deteriorada se debe principalmente a una conexión deficiente debido a la manipulación y el uso, los cuales han contribuido al deterioro de las unidades sin un mantenimiento respectivo, lo que resulta en la generación de datos incorrectos y errores.

Una vez que se tienen claras, evidenciadas y confirmadas las dos causas predominantes, se procede a realizar la propuesta de mejora que pretende mitigar ambos principios y mejorar el escenario actual investigado.

#### **4.4 Etapa de Mejora**

En la etapa de mejora se realizó una propuesta para corregir el problema de las conexiones

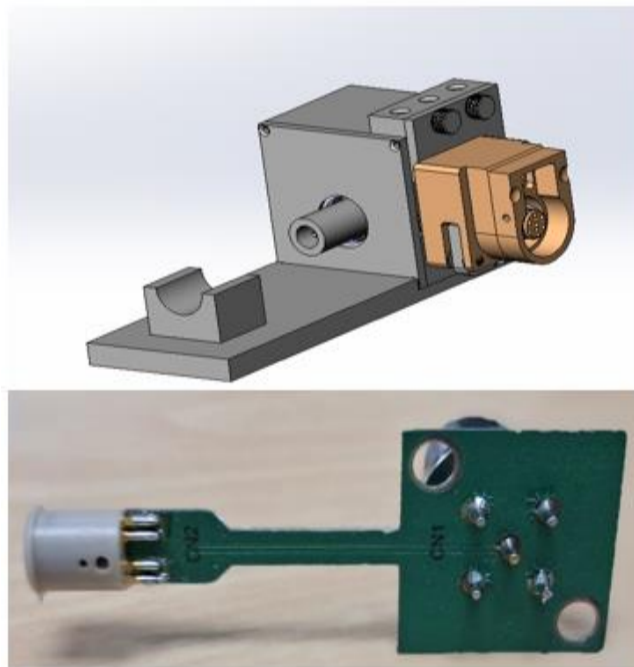
que por manipulación del operador generan conexiones pobres o deterioradas, como resultado se convierten en datos fuera de especificación, así como un nuevo diseño para la unidad de calibración que permita la no manipulación de esta.

- Interferencia eléctrica del conector debido a conexiones defectuosas

Para el caso de la interferencia que se da por conexiones defectuosas, se propone la implementación de tarjetas o placas con un circuito cerrado para mejorar la conexión y eliminar el problema de la manipulación por parte de los operarios, debido a que la placa de circuito en el nuevo diseño es rígida y no afecta el movimiento del operador en su uso, lo que contribuirá a obtener mediciones más precisas, consistentes y dentro de la especificación establecida.

A continuación, se muestra en la figura 45 un prototipo con nuevos componentes para la interferencia eléctrica del conector: la introducción de placas de circuito impreso y la eliminación de procesos de soldadura, mismas que van a estar integradas con un plan de mantenimiento preventivo semestral según las especificaciones de las tarjetas. El diseño permite que no sea manipulable, ni que las partes de soldadura sean sensibles y se puedan deteriorar.

Figura 45. *Prototipo de conector con tarjeta de circuito cerrado.*



Fuente: Boston Scientific.

- Unidad de calibración deteriorada

A continuación, se muestra en la figura 46 un prototipo con un nuevo diseño y componentes como lo son las placas de circuito impreso y la eliminación de procesos de

soldadura integrado con un plan de mantenimiento preventivo semestral según las especificaciones de las tarjetas. El diseño permite que no sea manipulable, ni que las partes de soldadura (sensibles) se pueden deteriorar, esto permite que la manipulación de la unidad de calibración no sea un problema para la conexión y su uso en producción no afecte las conexiones de las tarjetas.

Figura 46. Tarjeta con placa de circuito impreso.



Fuente: Wilberth Garita 2024.

#### 4.5 Simulación del proceso actual de la propuesta de mejora para implementar

Con el fin de evaluar la propuesta de mejora se realizó una simulación utilizando *Python* en *Google Colab*. Esta simulación permitió modelar tanto el proceso actual, como la propuesta de mejora y lograr así una comparación de la mejora que se logra con la implementación.

Para evaluarla se optará por simular únicamente los valores de las métricas de unidades producidas buenas y el rendimiento (yield), debido a su relevancia directa en la productividad y rentabilidad del proceso. Además, la cuantificación directa de las unidades producidas buenas y el rendimiento permite medir de manera precisa y tangible el impacto de las mejoras, facilitando una evaluación eficiente y comunicable del beneficio económico y operacional de la propuesta de mejora.

A continuación, se presentan las librerías del sistema *Python* que se utilizarán en la simulación, tales como: *CIW*, junto con herramientas para visualización, cálculo y validación estadística, tal como se muestra en la siguiente figura 47.

Figura 47. Librerías del sistema Python.

```
✓ 0 Librerías

✓ 33 s pip install ciw
Collecting ciw
  Downloading Ciw-3.1.4-py3-none-any.whl (93 kB)
    93.8/93.8 kB 1.2 MB/s eta 0:00:00
Requirement already satisfied: networkx>=2.3 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from ciw) (3.3)
Requirement already satisfied: tqdm>=4.64.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from ciw) (4.66.2)
Requirement already satisfied: numpy>=1.21.6 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from ciw) (1.25.2)
Installing collected packages: ciw
Successfully installed ciw-3.1.4

✓ 7 s [2] import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from scipy.stats import uniform, gaussian_kde
from scipy.stats import expon, gaussian_kde
from scipy.stats import norm, gaussian_kde
from scipy.stats import lognorm, gaussian_kde
import ciw
```

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como siguiente paso, se procedió a definir la unidad de tiempo que se utilizará en la simulación. Se estableció un día de 24 horas, con una eficiencia del 90% del trabajo del personal operativo, para un total de 1296 minutos disponibles. Configuración que se muestra a continuación en la figura 48.

Figura 48. *Unidad del tiempo*

## 0 Preprocesamiento de datos

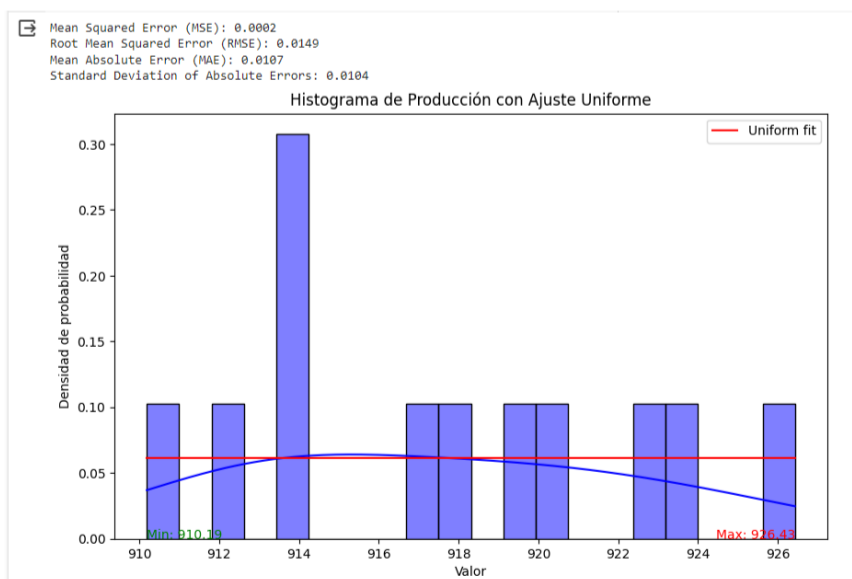
```
#Tiempo de producción mensual
t = 24*60*0.9
print(f"Tiempo de producción al día: {t} minutos")
```

→ Tiempo de producción al día: 1296.0 minutos

Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Unidades buenas por día

Como siguiente paso, se debe identificar la distribución que mejor se ajusta a los datos de producción, específicamente las unidades buenas por día, la cual se muestra en el histograma de la figura 49. El análisis revela que la distribución uniforme es la más adecuada, basándose en el hecho de que el error cuadrático medio, el valor absoluto y la desviación estándar asociados con esta distribución son notablemente bajos, acercándose a cero. Este hallazgo confirma que la distribución uniforme modela de manera precisa los datos de producción. Este análisis proporciona una base sólida para generar información teórica a partir de los datos obtenidos, permitiendo una comprensión más profunda y precisa del proceso de producción.

Figura 49. *Histograma de unidades producidas buenas por día.*

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Por otra parte, es necesario establecer valores (máximo y mínimo) que representen los extremos altos y bajos de los datos, los cuales serán utilizados para generar la simulación. Estos valores extremos son determinados a partir del mínimo y máximo observados en los datos y son divididos por el tiempo correspondiente para obtener las tasas bajas y altas necesarias para el ejercicio de simulación, tal como se ilustra en la siguiente figura 50.

Figura 50. Valores máximos y mínimos.

```
#Distribucion de producción = Uniforme (Según Histograma de producción)

lowerp= min_valuep / t
upperp= max_valuep / t

print(f"lowerp= {lowerp} y upperp= {upperp}")

lowerp= 0.7023070987654322 y upperp= 0.7148379629629629
```

Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Rendimiento (Yield)

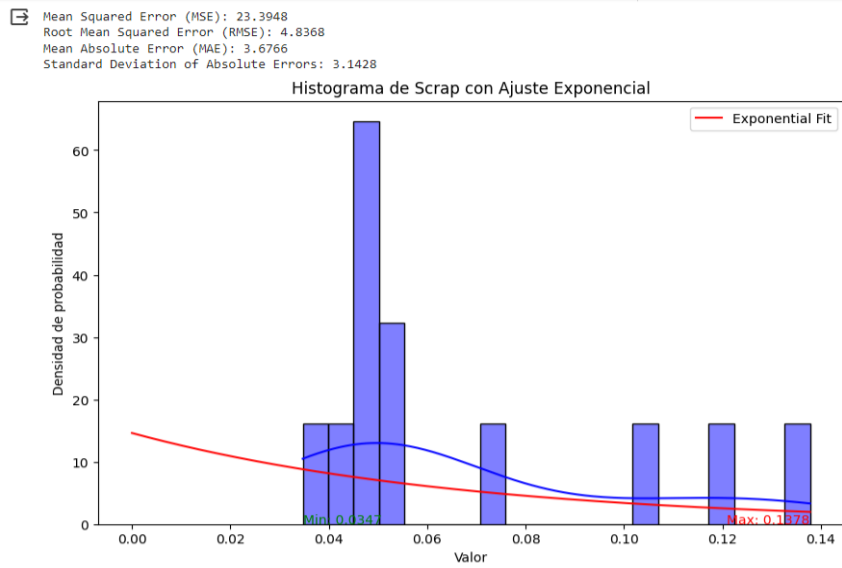
Los datos de rendimiento (yield) no se comportan de la misma manera que los valores de las unidades producidas por día a nivel de producción, por esta razón se requiere realizar una validación exhaustiva de estos datos para determinar adecuadamente su distribución. A continuación, se presentan los tres escenarios que se han desarrollado con el fin de explorar y definir la distribución más apropiada para estos datos.

Para determinar la distribución se realizan tres posibles escenarios:

- Escenario 1

Como se puede observar en la figura 51, la distribución exponencial fit muestra un valor cuadrático de 23.39, el error de la raíz cuadrática es de 4.8, el valor absoluto es de 3.6 y la desviación estándar de 3.14, siendo los 4 valores muy lejanos a 0.

Figura 51. Escenario 1: Distribución exponencial.

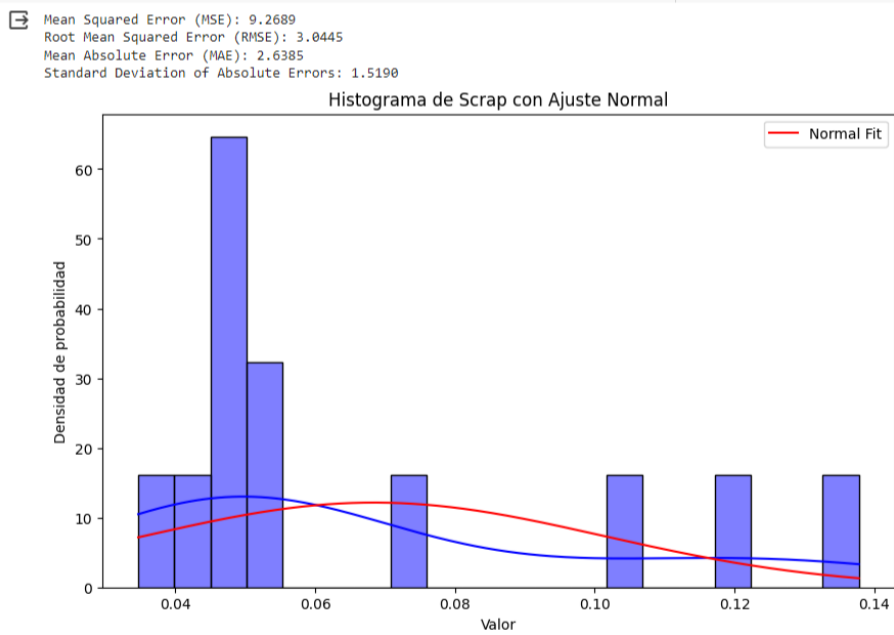


Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Escenario 2

Como se puede observar en la figura 52, la distribución normal fit muestra un valor cuadrático de 9.26, el error de la raíz cuadrática es de 3.04, el valor absoluto es de 2.6 y la desviación estándar de 1.51, siendo los 4 valores aún muy lejanos a 0.

Figura 52. Distribución Normal Fit.

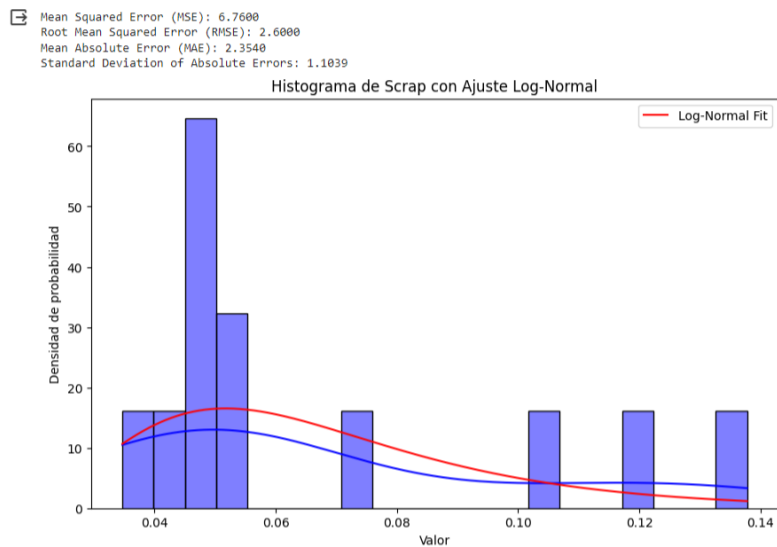


Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Escenario 3

Como podemos observar en la figura 53, la distribución Normal log muestra un valor cuadrático de 6.7, el error de la raíz cuadrática es de 2.6, el valor absoluto es de 2.3 y la desviación estándar de 1.10, siendo la distribución con los valores más cercanos a 0.

Figura 53 Distribución Log-Normal esto debe de ir abajo del escenario 3



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Después de estudiar detenidamente los escenarios planteados, se llega a la conclusión de que la distribución Log Normal es la opción más idónea para los datos de rendimiento (yield), ya que los criterios que se incluyen en la evaluación como valor cuadrático, error de la raíz cuadrática, valor absoluto y la desviación estándar asociados con la distribución seleccionada, presentan los valores más bajos y cercanos a cero en comparación con las distribuciones exponencial y normal fit.

Este hallazgo sugiere que la distribución Log Normal proporciona un mejor ajuste a los datos de rendimiento, lo que se traduce en una mayor precisión en la modelización y análisis de estos. El siguiente paso es generar la media y la desviación de log normal a partir de los datos para así generar la tasa de comportamientos como se muestra en la figura 54.

Figura 54. *Tasas de comportamientos*

```
[24] # Calcular los logaritmos de los datos
log_data = np.log(df['se'])

# Media y desviación estándar de los logaritmos
mu_log = np.mean(log_data)
sigma_log = np.std(log_data)

# Calcular la media y desviación estándar log-normal
mean_lognormal = np.exp(mu_log + 0.5 * sigma_log**2)
std_dev_lognormal = np.sqrt((np.exp(sigma_log**2) - 1) * np.exp(2 * mu_log + sigma_log**2))

print(f"Media Log-Normal:{mean_lognormal:.4f}")
print(f"Desviación Estándar Log-Normal:{std_dev_lognormal:.4f}")
```

Media Log-Normal:0.0679  
Desviación Estándar Log-Normal:0.0303

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como parte del proceso en la simulación se debe realizar el diseño en el sistema, para lo cual se definen las siguientes condiciones:

- La distribución de las llegadas de materiales a las líneas es Poisson debido a que llegan de forma aleatoria al subensamble.
- Se definió la distribución uniforme para unidades buenas por día (producción)
- Para rendimiento (Yield) se utilizará la distribución log normal.
- Se mapea un ejercicio de empaque para poder contabilizar la producción neta dentro de la simulación.

Se muestra en la figura 55, la programación en la simulación de los 4 puntos del diseño que se establecieron.

Figura 55. *Diseño de la simulación.*

▼ **1 Diseño**

```
#Sistema
#0 Inventario de llegada de componente con distribución de Poisson
#1 Subproceso de producción con distribución uniforme
#2 Actividad de validación con distribución lognormal
#3 Actividad de espera de empaque con distribución determinista

# Arribo al sub procesos de producción: Distribución de Poisson
print(f"")

# Subproceso de producción: Distribución uniforme
print(f"lowerp= {lowerp:.4f} y upperp= {upperp:.4f}")

# Actividad de validación: Distribución lognormal
print(f"Media Log-Normal:{mean_lognormal:.4f} y Desviación Estándar Log-Normal:{std_dev_lognormal:.4f}")

# Actividad de espera de empaque: Distribución determinista
print(f"Valor determinado:{0}")
```

lowerp= 0.7023 y upperp= 0.7148  
Media Log-Normal:0.0679 y Desviación Estándar Log-Normal:0.0303  
Valor determinado:0

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Una vez diseñado el modelo de simulación, se procede a realizar la validación del sistema para evaluar el estado actual de la simulación. En esta etapa, se identifican las distribuciones de los valores claves y se define una tasa de arribos de 1.29. Esta tasa se determina a través de múltiples iteraciones, ajustando los parámetros hasta que los resultados de la simulación coinciden con los datos reales obtenidos en la etapa de medición.

Dado que en el ejercicio de mejora no fue posible medir directamente la tasa de arribos, este método de ajuste iterativo asegura que la simulación refleje con precisión la realidad del proceso de producción. Este enfoque garantiza que la simulación sea una herramienta confiable para evaluar y mejorar el rendimiento del sistema.

La Figura 56 ilustra los arribos de producción al subensamble, modelados mediante una distribución de Poisson con una tasa de 1.29. Esto implica que la producción llega de manera aleatoria a la línea de ensamblaje. Además, se emplean distribuciones uniformes y logarítmicas normales para representar la producción y el rendimiento (yield) respectivamente.

Figura 56. Validación del sistema de simulación.

```
#Sistema de colas
N = ciw.create_network(
    arrival_distributions= [ciw.dists.Poisson(rate=1.29, None, None),
    service_distributions= [ciw.dists.Uniform(lower=lowerp, upper=upperp),
                           ciw.dists.Lognormal(mean=mean_lognormal, sd=std_dev_lognormal), ciw.dists.Deterministic(value=0)],
    service_disciplines= [ciw.disciplines.SIRO, ciw.disciplines.FIFO, ciw.disciplines.FIFO],
    routing= [[0.0, 0.09, 0.91],
             [0.0, 0.0, 0.0],
             [0.0, 0.0, 0.0]],
    number_of_servers=[15,1,1],
    queue_capacities=[1100, 165, 935]
)

# Configuración de la simulación
c = 60 # Calentar (warm-up)
e = 60 # Enfriar (cool-down)
m = 1440 # Tiempo de simulación (maxsimtime)
p = 1 # Cantidad de días

#Simular
df_resultados = pd.DataFrame()
for t in range(p):
    ciw.seed(t)
    Q = ciw.Simulation(N)
    Q.simulate_until_max_time(m)
    df_temp = pd.DataFrame(Q.get_all_records())
    df_resultados = pd.concat([df_resultados, df_temp])
df_filtrado = df_resultados[(df_resultados['service_start_date'] > c) & (df_resultados['service_start_date'] < m)]

#Presentar resultados
recuento_customer_class1 = df_filtrado.groupby(['node', 'customer_class']).size().unstack(fill_value=0)
recuento_customer_class1.columns = [f'Class_{str(c)}' for c in recuento_customer_class1.columns]
recuento_customer_class1.index.names = ['Actividad'] # Cambia 'node' por 'Actividad'
recuento_customer_class1.columns = ['Salidas'] # Cambia 'Class_Customer' por 'Salidas'

print(recuento_customer_class1)
```

Actividad	Salidas
1	1083
2	123
3	960

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En cuanto al flujo de trabajo, se implementa el método FIFO (First In, First Out), lo que significa que los elementos son validados y procesados en el mismo orden en que ingresan a la

línea de producción. También, se establece una lógica de enrutamiento entre las estaciones de origen y destino, considerando un desecho del 9% y un rendimiento (yield) del 91%.

El modelo de simulación utiliza un total de 15 operadores, de los cuales uno se encarga de la validación (realizando la prueba de impedancia) y otro del empaquetado. Es importante destacar que la cantidad de operadores no marca una diferencia significativa, ya que el valor agregado proviene principalmente de la parte determinista del proceso y las capacidades instaladas que se pueden gestionar eficientemente.

Asimismo, se define el tiempo total de simulación y la duración de la producción durante un período de un día, así como una fase de calentamiento y de enfriamiento. Los valores obtenidos en el estado actual son los siguientes:

- Valor de producción: 1083 unidades.
- Desecho: 123 unidades.
- Producción neta: 960 unidades.

Al finalizar la simulación con el proceso actual, se procede a repetir el mismo procedimiento para el proceso de mejora, utilizando las mismas distribuciones, sin realizar cambios en la programación de la simulación. Esto se realiza con el fin de mantener la precisión de los datos y evitar la introducción de variables adicionales que puedan afectar la comparación. En la figura 57, se puede apreciar la simulación realizada con la propuesta de mejora.

Figura 57. Simulación de la propuesta de mejora.

3 Simulación con mejora

```

#Sistema
N = ciw.create_network(
    arrival_distributions= [ciw.dists.Poisson(rate=1.29), None, None],
    service_distributions= [ciw.dists.Uniform(lower=lowerp, upper=upperp),
                           ciw.dists.Lognormal(mean=mean_lognormal, sd=std_dev_lognormal), ciw.dists.Deterministic(value=0)],
    service_disciplines= [ciw.disciplines.SIRO, ciw.disciplines.FIFO, ciw.disciplines.FIFO],
    routing= [[0.0, 0.06, 0.94],
              [0.0, 0.0, 0.0],
              [0.0, 0.0, 0.0]],
    number_of_servers=[15,1,1],
    queue_capacities=[1100, 165, 935]
)

# Configuración de la simulación
c = 60 # Calentar (warm-up)
e = 60 # Enfriar (cool-down)
m = 1440 # Tiempo de simulación (maxsimtime)
p = 1 # Cantidad de días

#Simular
df_resultados = pd.DataFrame()
for t in range(p):
    ciw.seed(t)
    Q = ciw.Simulation(N)
    Q.simulate_until_max_time(m)
    df_temp = pd.DataFrame(Q.get_all_records())
    df_resultados = pd.concat([df_resultados, df_temp])
df_filtrado = df_resultados[(df_resultados['service_start_date'] > c) & (df_resultados['service_start_date'] < m)]

#Presentar resultados
recuento_customer_class1 = df_filtrado.groupby(['node', 'customer_class']).size().unstack(fill_value=0)
recuento_customer_class1.columns = [f'Class_{str(c)}' for c in recuento_customer_class1.columns]
recuento_customer_class1.index.names = ['Actividad'] # Cambia 'node' por 'Actividad'
recuento_customer_class1.columns = ['Salidas'] # Cambia 'Class_Customer' por 'Salidas'
print(recuento_customer_class1)
    
```

Actividad	Salidas
1	1083
2	65
3	1018

Fuente: Elaboración propia, 2024.

De los resultados obtenidos en la simulación de la mejora se obtienen los siguientes datos:

A continuación, se muestra en la tabla 8 la comparación de los valores en las métricas analizadas en la simulación considerando los datos del antes y del después que refleja la propuesta de mejora.

Tabla 9. Comparación de proceso actual vs la propuesta de la mejora.

Situación	Unidades diarias	Yield rendimiento	Mejora en unidades por día	Mejora en unidades por año	Costo de unidades	Ahorro
Antes	960	91%	0	0	\$100	\$0
Después	1018	94%	58	18676	\$100	\$1,867,600

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como se observa en la tabla 8, la propuesta de mejora producirá que el rendimiento aumente en un 3%, lo que se traduce en 58 unidades por día adicionales equivalentes a un 6% en el incremento de unidades por día y 18676 anualmente equivalentes a un 48% en el rendimiento del proceso. Tomando en cuenta que el costo de la unidad es de \$100, existe un ahorro de \$1,867,600 como resultado de la mejora que se propone.

Adicionalmente a la mejora obtenida en los valores de unidades producidas buenas y en el rendimiento demostradas en la simulación y explicados anteriormente, se logra una mejora en los resultados que se obtendrían en la prueba de impedancia al usar conectores cerrados con el

diseño que se propone, esto porque al no permitir la manipulación se espera que este se comporte como lo hace el conector rojo que se mostró en la figura 56, donde se logra un promedio de los resultados de la prueba de impedancia de 10.2 ohmios, apreciándose un reducción de 4.8 ohmios, equivalentes a un 32% de mejora.

# CAPÍTULO V

## 5. Evaluación financiera

Para el cálculo del VAN y TIR, se ha considerado la política de la empresa, la cual establece que el tiempo de vida útil de un equipo es de 5 años. Con el fin de determinar la tasa que se utiliza para conocer el valor actual de los flujos futuros del proyecto, se realiza el siguiente análisis de costo de capital, en el cual se calcula el WACC que, según sus siglas en inglés es el costo medio ponderado del capital que corresponde a la tasa de descuento que debe ser usado para evaluar el valor de un flujo de caja futuro, así como inversiones de proyectos dentro de la organización. Se consideran inicialmente una inversión de tres dispositivos que se detallan en la tabla 9.

Tabla 10. *Resumen del costo del capital.*

Fuente inversión	Monto	Inflación anual
Dispositivo #1	\$ 500	5%
Dispositivo #2	\$ 500	5%
Dispositivo #3	\$ 500	5%
WACC	8.80%	

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En la tabla 10, se observan las inversiones para el proyecto, así como el porcentaje de aporte, inflación anual, dando así un valor de WACC equivalente a 8.8 %, considerando para la inversión de proyectos.

Tabla 11. *Resumen Flujo de caja.*

Criterio	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Flujo de inversión		\$1 867 600	\$1 960 980	\$2 059 029	\$2 161 980	\$2 270 079
Mant		-\$2 000	-\$2 100	-\$2 205	-\$2 315	-\$2 431
Inversión inicial	-\$1 500	-\$1 530	-\$1 561	-\$1 592	-\$1 624	-\$1 656
Flujo de caja	-\$1 500	\$1 864 070	\$1 957 319	\$2 055 232	\$2 158 042	\$2 265 992

Fuente: Elaboración propia, 2024.

El flujo de caja determina el flujo neto efectivo como producción proyectada, valor de unidades producidas y ganancias en el retorno proyectadas, cierta información es limitada de proveer por ser confidencial, por lo que de manera resumida se desglosan los ingresos y costos del departamento de Opticross para la prueba de impedancia.

La demanda proyectada se plantea de acuerdo con la producción desde enero 2023 a diciembre 2023. Considerando que habría una reducción considerable de scrap. Con la información del flujo de caja, a continuación, se presenta los cálculos del valor neto actual (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Tabla 12. *Resumen Flujo de caja general de inversión.*

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>
<b>TIR</b>	124276%
<b>WACC</b>	8,80%
<b>VAN</b>	\$7 341 445

Fuente: Elaboración propia, 2024.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los indicadores financieros en la tabla 11, el VAN obtenido indica que el proyecto es rentable, dado que el valor es superior a 0; el proyecto generaría un valor de \$7 341 445 en relación con la comparación del valor de inversión \$1500, se determina que es superior generando así beneficios mayores a los invertidos dentro de lo pronosticado. Adicionalmente, el TIR es de 124276% siendo superior a la tasa de descuento 39%; estos resultados confirman que la propuesta del proyecto es rentable y se obtienen beneficios económicos.

# CAPÍTULO VI

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

- Para determinar el proceso de la prueba de impedancia y obtener un conocimiento más profundo de su funcionamiento en el área de *Imaging Core* en el producto de HD, se concluye que la utilización de herramientas como diagrama SIPOC, el diagrama de bloques y el diagrama de flujo han permitido una comprensión exhaustiva del proceso de prueba de impedancia en el área de *Imaging Core*, identificando claramente: los proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes, y detallando cada paso del proceso. Además, el análisis de la voz del cliente (VOC) y la identificación de las Características Críticas para la Calidad (CTQ) han subrayado la importancia de asegurar la conformidad de la prueba de impedancia, maximizar la producción de unidades buenas, optimizar el rendimiento y reducir el scrap.
- Para identificar las posibles causas de variación para la selección de la causa raíz, se evidenció las principales fuentes de variabilidad en la prueba de impedancia a través del análisis de la matriz de *Vester* identificando la interferencia eléctrica del conector y el deterioro de las unidades de calibración.
- Para elegir la propuesta de solución que minimizara la causa raíz para un desempeño mejorado de la prueba de impedancia, se realizó un análisis que ha permitido proponer mejoras precisas, como la propuesta de una tarjeta con circuito cerrado para mejorar la conexión y reducir la manipulación, y un nuevo diseño para las unidades de calibración que incluye placas de circuito impreso y eliminación de procesos de soldadura.
- Para la determinación de la mejora alcanzada se realizó una simulación, obteniendo los siguientes resultados: el rendimiento aumenta en un 3% lo que se traduce en 58 unidades adicionales equivalentes a un 6% en el incremento de unidades por día y 18676 unidades anualmente.
- Para calcular la viabilidad financiera de la factibilidad de la propuesta para el análisis del proyecto, se muestran resultados altamente positivos el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) de \$7341,455 y la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 124276% ha demostrado que el proyecto no solo es rentable, sino que también promete un retorno sustancial sobre la inversión inicial. Estos hallazgos validan la estrategia propuesta,

evidenciando su capacidad para aportar un valor considerable a la organización y justificar la inversión.

## 6.2 Recomendaciones

- Para lograr los beneficios propuestos en el proyecto que han sido validados y demostrados en la simulación se recomienda la implementación de la propuesta de mejora, las cuales son la tarjeta con placa de circuito cerrado para el conector diseñado para optimizar la integridad de la señal y la placa con circuito impreso que corresponde a la unidad de calibración para agilizar y mejorar la precisión del proceso de calibración. Estos dispositivos en comparación con los actuales están diseñados para aumentar significativamente el rendimiento del proceso de prueba de impedancia y su implementación es crucial para materializar los beneficios.

- Para la implementación de esta propuesta resulta esencial desarrollar una documentación técnica exhaustiva que abarque todos los procesos por llevar a cabo, incluyendo: el reporte técnico, el análisis del proceso de cambio y las validaciones requeridas para el sistema Boston Scientific. Esta documentación se integrará dentro del sistema establecido, asegurando que cada aspecto del proceso esté registrado de manera precisa y conforme a los estándares de la organización. Además, se requiere estandarizar los programas de capacitación y entrenamiento, de modo que el personal esté completamente preparado para identificar y responder de manera eficiente ante cualquier desviación del proceso. Esto no solo minimizará el riesgo de errores, sino que también, maximizará la eficiencia operativa, garantizando que el sistema funcione dentro de los parámetros de control establecidos.

- En función de los sistemas de mantenimiento establecidos por la compañía Boston Scientific, se recomienda la incorporación del conector y la unidad de calibración dentro del programa de mantenimiento preventivo con una frecuencia trimestral. Esta medida garantizará que ambos componentes se mantengan bajo control óptimo, minimizando el riesgo de fallos y asegurando su operatividad y precisión continua dentro de los parámetros requeridos por los estándares de la compañía. Esta integración permitirá mantener la consistencia en el rendimiento de los dispositivos, alineando los ciclos de mantenimiento con las mejores prácticas de la industria y los requisitos específicos de los sistemas de Boston Scientific.



# CAPÍTULO VII

## 7. Referencias bibliográficas

Mayoral y Morales. (2021). *Lean Seis Sigma para la Mejora de Procesos*. bookdown. [https://bookdown.org/asun\\_mayoral/book-l6s/#tutoriales-r](https://bookdown.org/asun_mayoral/book-l6s/#tutoriales-r)

Byrd, C. L y Wilkoff, B. L. (2020). *Clinical cardiac pacing, defibrillation, and resynchronization therapy* (5th ed.). Saunders/Elsevier.

Canales, D. (2020). *Trabajo de fin de máster presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Electrónica - Especialidad en Sistemas Embebidos* [Maestría en Ciencias en Electrónica Sistemas embebidos]. Repositorio Institucional–Tecnológico de Costa Rica.

[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7139/electrical\\_impedance\\_tomography\\_image\\_reconstruction.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7139/electrical_impedance_tomography_image_reconstruction.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CEP Canarias. (2023, enero 15). *La taxonomía de Bloom, una herramienta imprescindible para enseñar y aprender*.

<https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/edublog/cprofestenerifesur/2015/12/03/la-taxonomia-de-bloom-una-herramienta-imprescindible-para-ensenar-y-aprender/>

Chávez, J. (2021). *Propuesta de aplicación de la metodología de Seis Sigma en el proceso de productivo de lavavajillas de una empresa de consumo masivo para reducción de pérdidas e incremento de su eficiencia* [Ingeniero Industrial, Universidad de Perú de ciencias aplicadas]. Repositorio Institucional– Universidad de Perú de ciencias aplicadas.

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/582454/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Churches, A. (2022, noviembre 2). *Taxonomía de bloom para la era digital*. Eduteka. <https://eduteka.icesi.edu.co/articulos/TaxonomiaBloomDigital>

Economipedia. (s.f.). *Investigación correlacional*. Economipedia.com

Economipedia. (s.f.). *Contraste de hipótesis*. Economipedia.com

Economipedia. (s.f.). *Diagrama de Ishikawa*. Economipedia.com

FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos). (2021). *Respuestas a preguntas frecuentes sobre la FDA*. <https://www.fda.gov/about-fda/fda-basics/respuestas-preguntas-frecuentes-sobre-la-fda>

Gallardo, Mikel. (2021). *Aplicabilidad de la metodología seis sigmas en proyectos de edificación* [Doctorado, ingeniería civil, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional–

Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/182168/Aplicabilidad-de-la-metodologia-Seis-Sigma-en-proyectos-de-edificacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

George, Blackwell, D. K., George, M. L. J., Rajan, D y Gómez Cruz, E. (2021). *Lean Six Sigma en la era de la inteligencia artificial: como aprovechar el poder de la cuarta revolución industrial*. McGraw-Hill.

González, R. M y Martínez, R. H. (2020). Impedance testing for deep vein thrombosis detection: Historical perspectives. *Journal of Vascular Diagnostics*, 14(4), 200-215. <https://doi.org/10.1080/12345678.2020.1234567>

Imaginario, J y Cruz, M. (2020). Análisis de causas de variación en pruebas de impedancia: Un enfoque en dispositivos electrónicos y médicos. *Revista de Ingeniería Electrónica y Biomédica*, 12(3), 45-58.

Kusumoto, F. M., Schoenfeld, M. H., Wilkoff, B. L., et al. (2020). 2020 HRS expert consensus statement on cardiovascular implantable electronic device lead management and extraction. *Heart Rhythm*, 17(12), e503-e551.

Mayoral, M. A. M., & Socuélamos, J. M. (2022). *Lean Seis Sigma para la mejora de procesos*. Universidad Miguel Hernández. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jKVYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=Six+sigma+libro&ots=Yjs5VV9Pkq&sig=L\\_zqHeILXKeEmeAs0nWLaJsQZkA#v=onepage&q=Six%20sigma%20libro&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jKVYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=Six+sigma+libro&ots=Yjs5VV9Pkq&sig=L_zqHeILXKeEmeAs0nWLaJsQZkA#v=onepage&q=Six%20sigma%20libro&f=false)

Neuman, W. L. (2020). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. Pearson.

Organización Panamericana de la Salud. (s. f.). *Dispositivos médicos*. <https://www.paho.org/es/temas/dispositivos-medicos>.

Perez, A. S. (s. f.). *Diseño de un plan de mejora para reducir el Scrap en la línea de ensamble de agujas de Deeple X Needle de la empresa de dispositivos médicos BD dominicana* [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Pedro Enrique Ureña].

Socconini, L., & Escobedo, E. (2021). *Lean Six Sigma Green Belt, paso a paso*. Primera Ed. Marge Books.

Ulate Soto, I y Vargas Morúa, E. (2016). *Metodología para elaborar una tesis*. UNED. <https://ebooks.uned.ac.cr/product/metodologia-para-elaborar-una-tesis50072875>

UTN. (2022, noviembre 2). *Reglamento de trabajos finales de graduación*. UTN.  
<https://www.utn.ac.cr/sites/default/files/attachments/Reglamento%20Trabajos%20Finales%20de%20Graduaci%C3%B3n%205-4-2021.pdf>

Wang, Y., Zhao, S., Liu, L., Hu, X., Li, C., & Lu, Z. (2021). Application of Six Sigma DMAIC Method in improving the Good Rate of Blank Value of Cytological Method for Dairy Products. *Revista de Educación*, 13(10), 48-53. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.317712>

Zayas, I. (2021). La mejora continua: Elemento de competitividad empresarial. *Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación*, 9(17), 4-5.  
<http://orcid.org/0000-0002-5643-5711>

# CAPÍTULO VIII

8. Anexos

Anexo 1. Taxonomía de Bloom

← Proceso cognitivo de orden inferior		→ Proceso cognitivo de orden superior →			
RECORDAR	COMPRENDER	APLICAR	ANALIZAR	EVALUAR	CREAR
Recordar hechos/datos sin necesidad de entender. Se muestra material aprendido previamente mediante el recuerdo de términos, conceptos básicos y respuestas.	Mostrar entendimiento a la hora de encontrar información del texto. Se demuestra comprensión básica de hechos e ideas.	Usar en una nueva situación. Resolver problemas mediante la aplicación de conocimiento, hechos o técnicas previamente adquiridas en una manera diferente.	Examinar en detalle. Examinar y descomponer la información en partes identificando los motivos o causas; realizar inferencias y encontrar evidencias que apoyen las generalizaciones.	Justificar. Presentar y defender opiniones realizando juicios sobre la información, la validez de ideas o la calidad de un trabajo basándose en una serie de criterios.	Cambiar o crear algo nuevo. Recopilar información de una manera diferente combinando sus elementos en un nuevo modelo o proponer soluciones alternativas.
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Elegir observar mostrar Copiar omitir deletrear Definir rastrear afirmar Decir cuándo duplicar Clasificar repetir qué Leer relacionar nombrar Quién listar repetir Recitar escribir localizar Cómo dónde Memorizar Por qué reconocer	<b>PALABRAS CLAVE:</b> Preguntar esquematizar Generalizar predecir Clasificar dar ejemplos Comparar relacionar Contrastar ilustrar Parafrasear demostrar Informar discutir Inferir revisar Interpretar mostrar Explicar resumir Traducir observar	<b>PALABRAS CLAVE:</b> Actuar emplear practicar Identificar seleccionar agrupar Calcular elegir resumir Entrevistar planear desarrollar Enseñar transferir interpretar Usar demostrar categorizar Conectar dramatizar construir Planear manipular resolver Simular seleccionar unir Hacer uso organizar	<b>PALABRAS CLAVE:</b> Examinar priorizar encontrar Centrarse agrupar asumir Razonar destacar cause-efecto Inferencia separar aislar Comparar distinguir reorganizar Dividir motivar diferenciar Buscar similitudes descomponer Inspeccionar Investigar Simplificar categorizar Preguntar ordenar Elegir poner a prueba Establecer observar Encuestar	<b>PALABRAS CLAVE:</b> Medir opinar argumentar Evaluar premiar testar Decidir debatir convencer Apoyar explicar seleccionar Defender comparar deducir Justificar percibir recomendar Crítico probar estimar Juzgar influir persuadir Valorar demostrar	<b>PALABRAS CLAVE:</b> Adaptar estimar planear Añadir experimentar testar Construir extender sustituir Cambiar formular reescribir Combinar hipotetizar suponer Componer innovar teorizar Compilar mejorar pensar Componer maximizar simplificar Crear minimizar proponer Descubrir modelar visualizar Diseñar modificar Desarrollar originar Elaborar transformar
<b>ACCIONES</b>   <b>RESULTADO</b>	<b>ACCIONES</b>   <b>RESULTADO</b>	<b>ACCIONES</b>   <b>RESULTADO</b>	<b>ACCIONES</b>   <b>RESULTADO</b>	<b>ACCIONES</b>   <b>RESULTADO</b>	<b>ACCIONES</b>   <b>RESULTADO</b>
Describir Definición Encontrar Hechos Identificar Etiquetado Listar Listado Localizar Cuestionario Nombrar Reproducción Reconocer Test Recuperar Cuaderno Fotocopia	Clasificar Colección Comparar Ejemplos Ejemplificar Explicación Explicar Etiquetado Inferir Listado Interpretar Esquema Parafrasear Cuestionario Resumir Resumen Muestra y cuenta	Desempeñar Demostración Ejecutar Diario Implementar Ilustraciones Usar Entrevista Emplear Interpretación Realizar Simulación Presentación Dibujo	Atribuir Reseña Deconstruir Gráfica Integrar Lista de control Organizar Base de datos Esquematizar Gráfico Estructurar Informe Encuesta Hoja de cálculo	Atribuir reseña Comprobar gráfica Deconstruir base de datos Integrar informe Organizar hoja de cálculo Esquematizar encuesta Estructurar	Construir anuncio Diseñar película Trazar juego Idear dibujar Planificar plan Producir proyecto Hacer canción Historia Producto audiovisual
<b>PREGUNTAS</b>	<b>PREGUNTAS</b>	<b>PREGUNTAS</b>	<b>PREGUNTAS</b>	<b>PREGUNTAS</b>	<b>PREGUNTAS</b>
¿Puedes enumerar...? ¿Puedes recordar...? ¿Puedes seleccionar...? ¿Cómo ocurrió...? ¿Cómo es...? ¿Cómo describirías...? ¿Podrías explicar...? ¿Cómo mostrarías...? ¿Cuál...? ¿Quién fue...? ¿Quiénes fueron los principales...? ¿Por qué...?	¿Puedes explicar que está ocurriendo...? ¿Cómo clasificarías...? ¿Cómo compararía/contrastaría...? ¿Cómo podrías parafrasear el significado de...? ¿Cómo resumirías...? ¿Qué puedes decir sobre...? ¿Cuál es la mejor respuesta...? ¿Qué afirmaciones apoyan...? ¿Podrías afirmar o interpretar en tus propias palabras...?	¿Cómo usarías...? ¿Qué ejemplos sobre...puedes encontrar? ¿Cómo organizarías... para presentar...? ¿Cómo aplicarías lo que has aprendido para desarrollar...? ¿Qué enfoque usarías para...? ¿Qué aspectos seleccionarías para mostrar...? ¿Qué preguntas harías en una entrevista a...?	¿Cuáles son las partes o rasgos de...? ¿En qué aspectos está...? ¿Relacionado/a con...? ¿Por qué opinas que...? ¿Qué motivo hay para...? ¿Puedes hacer un listado de las partes...? ¿Qué ideas justifican...? ¿Qué conclusiones extraes de...? ¿Qué evidencias de... encuentras? ¿Puedes distinguir entre...? ¿Cuál es la relación entre...? ¿Cuál es la función de...?	¿Estás de acuerdo con...? ¿Cuál es tu opinión sobre...? ¿Cómo comprobarías...? ¿Sería mejor si...? ¿Por qué ese personaje...? ¿Cómo valorarías...? ¿Cómo determinarías...? ¿Cómo priorizarías...? ¿Qué información podrías para apoyar tu punto de vista? ¿Cómo justificarías...? ¿Qué datos te llevaron a esa conclusión? ¿Qué seleccionarías para...? ¿Qué elección hubieras tomado si...?	¿Qué cambios harías para...? ¿Cómo mejorarías...? ¿Qué pasaría si...? ¿Podrías proponer una alternativa? ¿Puedes elaborar...basándote en...? ¿De qué forma evaluarías...? ¿Podrías formular una teoría alternativa? ¿Qué harías para maximizar/minimizar...? ¿Cómo pondrías a prueba...? ¿Podrías construir un modelo que cambie...? ¿Se te ocurre un modo original para...? ¿Cómo cambiarías el guión/plan? ¿Cómo adaptarías... para...?



Anexo III

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS  
FINALES

DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

Página | 37

(Trabajo Individual)

Ciudad, Heredia 26-Ago-24

Fecha. 26-Ago-24

Señores/as

Vicerrectoría de Investigación. Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos  
Digitales

Estimados señores/as:

Yo Wilberth Garita Arias portador (a) de la cédula de identidad  
número 4-0215-0476. En mi calidad de autor (a) del trabajo de  
graduación titulada:

Propuesta de análisis de la prueba de impedancia para la detección  
de las causas de variación y su reducción por medio de la  
Metodología Lean Six Sigma en la empresa Boston Scientific para  
el área de Imaging Core en el producto HD en el departamento de Optics

El cual se presenta bajo la modalidad de, marque una opción:

Proyecto de Graduación

Tesis de Graduación

Presentado en la fecha DI/MES/AÑO, autorizo a la Universidad Técnica  
Nacional, sede 22-Ago-24, para que mi trabajo pueda ser  
manejado de la siguiente manera:

  
Autorizo

Ver capítulo V, disposiciones finales, artículo 41 (O aquel que refiera a derechos  
patrimoniales)



Anexo III

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS  
FINALES**

**DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL**

Página | 37

(Trabajo Individual)

Ciudad, Alajuela

Fecha. 28/08/2024

Señores/as

Vicerrectoría de Investigación. Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores/as:

Yo Brayan Antonio Calvo Barquero portador (a) de la cédula de identidad número 206190794. En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduación titulada:

"Propuesta de análisis de la prueba de impedancia para la detección de las causas de variación y su reducción por medio de la metodología lean six sigma en la empresa Boston Scientific para el área de imaging core en el producto de HD en el departamento de optcross"

El cual se presenta bajo la modalidad de, marque una opción:

Proyecto de Graduación

Tesis de Graduación

Presentado en la fecha DIA/MES/AÑO, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede 22 agosto 2024, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera

*Brayan Calvo B.*  
206190794

**Autorizo**

**Ver capítulo V, disposiciones finales, artículo 41 (O aquel que refiera a derechos patrimoniales)**