

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Incremento de rendimiento de las líneas de producción de baja y alta
tensión de bobinas.

INGE-2461

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

Rommel Brant Betancourt Cervantes

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi amada mamá, que ahora me cuida desde el cielo. Su amor, fortaleza y guía han sido lo más importante para convertirme en quien soy ahora. Aunque ya no estés a mi lado, siempre seguirá inspirándome y motivándome en cada paso que doy.

Y a mi querido hermano y padre, que estuvieron a mi lado en el momento más difícil. Su apoyo ha significado mucho para mí, y estoy muy agradecido por todo.

Este trabajo es un testimonio de la influencia que todos han tenido en mi vida. Se lo dedico a ustedes con todo mi corazón.

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a mi familia por ser el pilar en mi vida. A mi querida madre, cuyo recuerdo continuará guiándome, y a mi hermano, por su apoyo incondicional. Este logro es tanto de ustedes como mío.

A mis amigos Christopher, Demi y Andres, por su constante apoyo y por hacer este proceso más llevadero.

Finalmente, a mis profesores y tutor, por sus consejos y orientación durante este proceso.

Declaración Expresa

Yo Rommel Brant Betancourt Cervantes acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 31 de mayo del 2024.



Rommel Brant
Betancourt Cervantes

Ci: 0922487467

Evaluadores

Msc. María Fernanda López Sarzosa

Profesor de Materia

PhD. María Denise Rodríguez Zurita

Tutor de proyecto

Resumen

El sector eléctrico en Ecuador está experimentando un crecimiento significativo, en empresas dedicadas a la fabricación de transformadores, las cuales buscan alcanzar un mejor posicionamiento en el mercado. En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo incrementar el rendimiento en las líneas de producción de bobinas de baja y alta tensión en un 30% mediante la aplicación de la metodología DMAIC para responder a la creciente demanda que presenta la fábrica de transformadores en la actualidad. En cada una de las fases de la metodología se emplearon diversas técnicas y herramientas de análisis estadístico para alcanzar el objetivo planteado. Logrando reducir de forma significativa los tiempos de producción. La línea de bobinado de baja tensión obtuvo una reducción del 20.20% en el tiempo de producción, y la línea de bobinado de alta tensión, una reducción del 29.87%. Lo que se traduce en un incremento de la producción de las líneas de bobinado de 9 bobinas diarias a 12 bobinas diarias. Finalmente, se implementó un reporte diario de producción para controlar los tiempos de paradas no programadas y se redujo en un 27.5 % el desperdicio de cobre semanal.

Palabras Clave: Líneas de producción, metodología DMAIC, bobinas, rendimiento

Abstract

The electrical sector in Ecuador is experiencing significant growth, particularly in companies dedicated to transformer manufacturing, which are striving to achieve better market positioning. In this context, the present project aims to increase the efficiency of low and high voltage coil production lines by 30% through the application of the DMAIC methodology, in response to the growing demand faced by the transformer factory today. In each phase of the methodology, various statistical analysis techniques and tools were employed to achieve the stated objective, significantly reducing production times. The low voltage winding line achieved a 20.20% reduction in production time, and the high voltage winding line saw a reduction of 29.87%. This translates into an increase in the production capacity of the winding lines from 9 coils per day to 12 coils per day. Finally, a daily production report was implemented to monitor unplanned downtime, and weekly copper waste was reduced by 27.5%.

Keywords: Production lines, DMAIC methodology, coils, performance

Índice general

Resumen.....	I
Abstract	II
Índice general.....	III
Índice de figuras.....	VI
Índice de tablas	IX
Capítulo 1	1
1.1. Introducción	2
1.2. Descripción del Problema	2
1.3. Justificación del Problema	3
1.4. Objetivos.	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Marco teórico	4
1.5.1. Producción de bobinas de baja y alta tensión	4
1.5.2. Metodología DMAIC	8
1.5.3 Incremento del rendimiento de producción	12
1.5.4 Formalización de un sistema de medición.....	13
1.5.5 Teorías y modelos de mejora continua	15
Capítulo 2.....	17
2.1. Metodología.....	18

2.1.1. Situación Actual	18
2.2. Medición.....	24
2.2.1. Mapeo del proceso.....	24
2.2.2. Plan de recolección de datos.....	28
2.2.3. Análisis de procesos	33
2.3. Análisis.....	38
2.3.1. Lluvia de ideas.....	38
2.3.2. Matriz causa-efecto	39
2.3.3. Plan de verificación de causas	42
2.3.4. Análisis de los 5 por qué	51
2.4. Mejora	58
2.4.1. Análisis de soluciones propuestas	58
2.5. Implementación.....	64
2.5.1. Estructura ergonómica para facilitar el agarre de los papeles aislantes	64
2.5.2. Organizar las tablas de madera y organizar las herramientas.....	67
2.5.3. Determinar las medidas estándar de los tubos cortados	72
2.5.4. Instalar un eje expandible para la Digmotor.....	75
2.5.5. Estudio de tiempos y determinar la capacidad estándar de las líneas	76
Capítulo 3.....	79
3.1. Resultados y análisis	80
Capítulo 4.....	86

4.1. Conclusiones y recomendaciones.....	87
4.1.1 Conclusiones	87
4.1.2 Recomendaciones	87
Referencias.....	89
Apéndices.....	91

Índice de figuras

Figura 2.1. Rendimiento Min/bobina línea de AT Digmotor	18
Figura 2.2. Rendimiento Min/bobina línea BT Erasan	19
Figura 2.3. Rendimiento Min/Bobina línea BT Foil 500	19
Figura 2.4. Rendimiento Min/Bobina línea AT Trishull	20
Figura 2.5. Demanda de transformadores año 2023	21
Figura 2.6. Diagrama de afinidad con relación a la voz del cliente	22
Figura 2.7. CTQ Tree	22
Figura 2.8. Métricas	23
Figura 2.9. Definición del problema	23
Figura 2.10. Diagrama OTIDA Proceso de bobinado Alta tensión	25
Figura 2.11. Diagrama OTIDA Proceso de bobinado Alta tensión	26
Figura 2.12. Diagrama OTIDA Proceso de bobinado Baja tensión.....	27
Figura 2.13. Plan de recolección de datos.....	29
Figura 2.14. Diferencias de medias proceso de bobinado BT	31
Figura 2.15. Diferencias de medias proceso de bobinado AT	32
Figura 2.16. Prueba de normalidad de datos proceso de BT	33
Figura 2.17. Prueba de normalidad de datos proceso de AT	34
Figura 2.18. Gráficas de control X-R proceso de bobinado AT	35
Figura 2.19. Gráficas de control X-R proceso de bobinado BT	36
Figura 2.20. Análisis de capacidad proceso de AT	37
Figura 2.21. Análisis de capacidad proceso de BT	37
Figura 2.22. Lluvia de ideas.....	38
Figura 2.23. Diagrama de Ishikawa. Bajo rendimiento bobinado de Baja tensión.....	39
Figura 2.24. Diagrama de Ishikawa. Bajo rendimiento bobinado de Alta tensión	39

Figura 2.25. Matriz Causa - Efecto	41
Figura 2.26. Gráfico de cajas proceso de bobinado de Baja tensión (min)	43
Figura 2.27. Gráfico de cajas proceso de bobinado de alta tensión (min)	44
Figura 2.28. Tiempos con y sin reporte, proceso de bobinado de Baja tensión.....	44
Figura 2.29. Tiempos con y sin reporte, proceso de bobinado de Alta tensión	45
Figura 2.30. Muestras de tiempo de buscar y colocar molde.....	45
Figura 2.31. Buscar y colocar molde	46
Figura 2.32. Muestra de medir y cortar tubo de papel	46
Figura 2.33. Cortar y medir tubos de papel	47
Figura 2.34. Pie chart NAV proceso de bobinado alta tensión	47
Figura 2.35. Muestra de buscar tablas	48
Figura 2.36. Buscar tablas de madera	48
Figura 2.37. Tomar medidas del cilindro	49
Figura 2.38. Muestra de girar y recoger papel aislante.....	49
Figura 2.39. Girar y recoger papel aislante	50
Figura 2.40. Pie chart NAV proceso de bobinado alta tensión	50
Figura 2.41. Analisis de impacto	62
Figura 2.42. Análisis económico	62
Figura 2.43. Gráfica de impacto – esfuerzo de las soluciones.....	63
Figura 2.44. Plan de implementación	64
Figura 2.45. Determinar las medidas estándar de los tubos cortados.	66
Figura 2.46. Antes y despues de la implematcion de la estructura de papel.....	66
Figura 2.47. Materiales no necesarios linea de baja tensión Erasan	67
Figura 2.48. Matriz de frecuencia de herramientas línea de baja tensión Erasan	68
Figura 2.49. Etiquetas con las medidas de las tablas de madera.....	69

Figura 2.50. Diseño de estructura para tijera semiautomática y llave	69
Figura 2.51. Diseño de mesas para herramientas y de trabajo	70
Figura 2.52. Mesa de herramientas y de trabajo finalizadas	70
Figura 2.53. Implementación herramientas línea de baja tensión Erasan	71
Figura 2.54. Implementación herramientas línea de baja tensión Erasan	71
Figura 2.55. Antes y después de la línea de baja tensión Erasan	72
Figura 2.56. Medidas estándar de los tubos de papel	73
Figura 2.57. Estandarización de longitud de tubos de papel	74
Figura 2.58. Entrega de medidas estándar al área de papel	74
Figura 2.59. Medición eje expandible	75
Figura 2.60. Diseño en AutoCAD del eje expandible Digmotor	75
Figura 2.61. Implementación de eje expandible	76
Figura 2.62. Formato para estudio de tiempo	77
Figura 2.63. Márgenes y suplementos de tolerancia	78
Figura 2.64. Reporte de producción diario	78
Figura 3.1. Producción diaria Erasan Antes y Después	80
Figura 3.2. Producción diaria Digmotor Antes y Después	81
Figura 3.3. Analisis de capacidad bobinado de baja tensión antes y después	81
Figura 3.4. Carta de control bobinado de baja tensión antes y después	82
Figura 3.5. Analisis de capacidad bobinado de alta tensión antes y después	82
Figura 3.6. Carta de control bobinado de alta tensión antes y después	83
Figura 3.7. Cumplimiento de producción Digmotor	84
Figura 3.8. Cumplimiento de producción Erasan	84
Figura 3.9. Personal capacitado área de bobinado	85
Figura 3.10. Desperdicio de cobre	85

Índice de tablas

Tabla 2.1. Actividades de bobinado en AT que AV, NAV, NAVN.....	26
Tabla 2.2. Actividades de bobinado en BT que AV, NAV, NAVN.....	28
Tabla 2.3. Ponderación de Causas proceso de bobinado de Alta tensión	40
Tabla 2.4. Tabla de Verificación.....	42
Tabla 2.5. Análisis de ¿5 por qué? no hay reporte diario	51
Tabla 2.6. Análisis de ¿5 por qué? Búsqueda de colocación de molde	52
Tabla 2.7. Análisis de ¿5 por qué? Cortar tubos de papel.....	53
Tabla 2.8. Análisis de ¿5 por qué? Girar y recoger el papel aislante.....	54
Tabla 2.9. Análisis de ¿5 por qué? Buscar tablas de madera	55
Tabla 2.10. Análisis de ¿5 por qué? Buscar tablas de madera	56
Tabla 2.11. Tabla de causas raíces.....	57
Tabla 3.1. Reducción de tiempos de producción de bobina	80

Capítulo 1

1.1. Introducción

El sector eléctrico en Ecuador está experimentando un crecimiento significativo, en empresas dedicadas a la fabricación de transformadores, las cuales buscan alcanzar un mejor posicionamiento como líderes de la industria. En este contexto, el presente proyecto se enfoca en una planta de manufactura de transformadores, donde se identifican oportunidades de mejoras en las líneas de bobinado permitiendo un incremento en su rendimiento.

1.2. Descripción del Problema

Situada en el km 7.5 de la vía Daule en Guayaquil, la fábrica de transformadores enfrenta un problema importante en su proceso de producción. La empresa ha experimentado un crecimiento acelerado en sus ventas tanto a nivel nacional como internacional en los últimos meses. Sin embargo, la expansión ha provocado una creciente demanda de líneas de bobinas para los transformadores, lo que ha llevado a una situación en la que la capacidad de producción actual no puede cubrir la demanda mensual.

Este problema genera un retraso significativo en la entrega de los pedidos de los clientes, lo que ha causado insatisfacción y preocupación entre los clientes habituales de la empresa. Además, la falta de disponibilidad oportuna de líneas de bobinas está obstaculizando el cumplimiento de contratos importantes con clientes extranjeros, poniendo en peligro la reputación y la estabilidad financiera de la empresa.

Las causas principales de esta situación incluyen limitaciones en la capacidad de producción de la fábrica, procesos ineficientes en la cadena de suministro de materias primas y, posiblemente, falta de anticipación y planificación para el crecimiento del negocio. Estos factores han provocado una incapacidad para satisfacer la creciente demanda de líneas de bobinas, lo que ha obstaculizado la producción y distribución de transformadores.

Para resolver este problema, es fundamental identificar y abordar los factores subyacentes que contribuyen a la incapacidad de la empresa para satisfacer la demanda de líneas de bobinas. Esto implicará mejorar los procesos de producción, optimizar la cadena de suministro y, posiblemente, aumentar la capacidad de producción para adaptarse al crecimiento. La fábrica podrá superar los problemas actuales y mantener su posición competitiva en el mercado de transformadores de esta manera.

1.3. Justificación del Problema

Desde enero de 2023 hasta enero de 2024, el rendimiento promedio de las líneas de producción ha sido de 9 bobinas por línea, tanto de baja como de alta tensión. Esto es significativamente inferior al objetivo establecido por la empresa, que es de 15 bobinas por línea. Esta brecha en el rendimiento representa una oportunidad crítica para implementar mejoras. Mediante la aplicación de la metodología DMAIC, junto con herramientas de Manufactura Esbelta se analizará las causas y las actividades que no generan valor para poder incrementar el rendimiento.

1.4. Objetivos.

1.4.1. *Objetivo general*

Incrementar el rendimiento en las líneas de producción de bobinas de baja y alta tensión en un 30% mediante la aplicación de la metodología DMAIC para responder a la creciente demanda que presenta la fábrica de transformadores en la actualidad.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Analizar los procesos actuales e identificar las causas raíces de los problemas de rendimiento.
- Implementar mejoras específicas que se espera resulten en un aumento significativo en la producción de bobinas de baja y alta tensión.

- Implementar un medio de control que proporcione una visión clara y precisa del rendimiento de las líneas de bobinado, facilitando una toma de decisiones informada basada en datos reales.
- Determinar la capacidad de las líneas de producción de bobinado de baja tensión y alta tensión.

1.5. Marco teórico

El marco teórico de esta tesis proporciona una base conceptual y metodológica que sustenta el análisis y la mejora del rendimiento en las líneas de producción de bobinas de baja y alta tensión. Este apartado abarca una revisión exhaustiva de la producción de bobinas, destacando su importancia como componentes críticos en los transformadores de distribución y potencia. Además, se presenta la metodología DMAIC, un enfoque estructurado y basado en datos para la mejora continua.

1.5.1. Producción de Bobinas de Baja y Alta Tensión

1.5.1.1. Definición y Tipos de Bobinas.

Las bobinas son componentes electromagnéticos esenciales en una amplia gama de aplicaciones eléctricas e industriales, particularmente en la fabricación de transformadores (Hernández et al., 2018). Las bobinas se componen de un alambre conductor enrollado en una forma cilíndrica o toroidal, y su función principal es inducir un campo magnético cuando pasa una corriente eléctrica a través de ellas.

Bobinas de Baja Tensión:

Las bobinas de baja tensión están diseñadas para operar a voltajes menores, típicamente en el rango de 100 a 1000 voltios. Estas bobinas se utilizan comúnmente en aplicaciones donde se requiere una regulación precisa de la corriente eléctrica, como en equipos electrónicos, transformadores de distribución para aplicaciones residenciales y comerciales, y en sistemas de control y automatización. Las bobinas de baja tensión son más

fáciles de aislar y manejar debido a sus menores requerimientos de voltaje, pero aún deben cumplir con estrictos estándares de calidad y eficiencia (Ballestín et al., 2020).

Bobinas de Alta Tensión:

Por otro lado, las bobinas de alta tensión están diseñadas para operar a voltajes mucho más altos, generalmente por encima de los 1000 voltios, y pueden llegar hasta decenas de miles de voltios. Estas bobinas se utilizan en aplicaciones que requieren la transmisión de energía a largas distancias, como en redes eléctricas de distribución y en transformadores de potencia. Las bobinas de alta tensión deben ser robustamente aisladas y diseñadas para minimizar pérdidas y evitar descargas eléctricas no deseadas. La fabricación de estas bobinas es más compleja debido a los mayores requerimientos de aislamiento y las consideraciones de seguridad (Henao et al., 2020).

1.5.1.2. Importancia en los Transformadores.

Las bobinas son componentes fundamentales en los transformadores, dispositivos esenciales para la transmisión y distribución de energía eléctrica. Los transformadores funcionan mediante el principio de inducción electromagnética, donde una corriente eléctrica que pasa a través de una bobina (el devanado primario) induce un voltaje en otra bobina (el devanado secundario). Dependiendo de la relación de vueltas entre las dos bobinas, el transformador puede aumentar (transformador elevador) o disminuir (transformador reductor) el voltaje (Henao et al., 2020).

En los transformadores de distribución y potencia fabricados, las bobinas de baja y alta tensión desempeñan roles críticos:

- Transformadores de Distribución: Utilizan bobinas de baja tensión para reducir el alto voltaje de transmisión a niveles seguros y utilizables para aplicaciones residenciales y comerciales.

- Transformadores de Potencia: Utilizan bobinas de alta tensión para transmitir energía eléctrica a largas distancias con mínimas pérdidas de energía.

La eficiencia, durabilidad y calidad de las bobinas directamente influyen en el rendimiento general del transformador. Una bobina bien diseñada y fabricada asegura una conversión eficiente de voltaje, menor generación de calor y una vida útil prolongada del transformador.

1.5.1.3. Proceso de Fabricación.

El proceso de fabricación de bobinas de baja y alta tensión es meticuloso y requiere precisión en cada etapa para asegurar que las bobinas cumplan con los estándares de calidad y eficiencia (Trillos et al., 2020).

1. Diseño:

El proceso comienza con el diseño de la bobina, que incluye la especificación de materiales, número de vueltas, diámetro del alambre, y tipo de aislamiento necesario. Este diseño se realiza considerando las especificaciones del transformador y las condiciones operativas esperadas.

2. Selección de Materiales:

- Conductor: Usualmente se utiliza cobre o aluminio debido a su alta conductividad eléctrica. El alambre debe ser de alta pureza para minimizar las pérdidas resistivas.
- Aislamiento: El material aislante debe soportar las altas tensiones operativas y proporcionar una barrera efectiva contra descargas eléctricas. Se utilizan materiales como el papel aislante, resinas epoxi, y plásticos de alta resistencia (Trillos et al., 2020).

3. Bobinado:

El proceso de bobinado implica enrollar el alambre conductor alrededor de un núcleo o una forma. Este proceso puede realizarse manualmente o mediante máquinas automáticas de bobinado que aseguran una distribución uniforme y precisa de las vueltas. Para las bobinas de alta tensión, el bobinado debe realizarse en múltiples capas con material aislante entre ellas para mejorar la resistencia eléctrica (Trillos et al., 2020).

4. Impregnación:

Una vez bobinada, la bobina puede ser impregnada con resina epoxi u otro material aislante. Este proceso ayuda a mejorar la rigidez dieléctrica y la resistencia mecánica de la bobina, asegurando que las capas de alambre permanezcan en su lugar y que la bobina pueda soportar las tensiones operativas sin fallos (Chen y Yang, 2019).

5. Ensamblaje:

Las bobinas se ensamblan en el núcleo del transformador. Este núcleo está generalmente hecho de laminaciones de acero de silicio para reducir las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas. Las bobinas de baja y alta tensión se posicionan cuidadosamente para maximizar la eficiencia de la inducción magnética (Trillos et al., 2020).

6. Pruebas de Calidad:

Finalmente, las bobinas y el transformador completo se someten a una serie de pruebas de calidad. Estas pruebas incluyen:

- Pruebas de Tensión: Para asegurarse de que la bobina puede operar a su voltaje nominal sin fallos.
- Pruebas de Aislamiento: Para verificar la integridad del aislamiento entre las vueltas de alambre y entre las bobinas y el núcleo.
- Pruebas de Eficiencia: Para medir las pérdidas de energía y asegurar que el transformador cumple con los estándares de eficiencia (Escudero y González, 2016).

Este proceso detallado de fabricación asegura que las bobinas de baja y alta tensión producidas no solo cumplen con los requisitos de diseño, sino que también operan de manera eficiente y segura a lo largo de su vida útil.

1.5.2. Metodología DMAIC

1.5.2.1. Introducción a DMAIC.

DMAIC es una metodología estructurada y basada en datos utilizada para la mejora de procesos, originada en el enfoque Six Sigma. Six Sigma es una disciplina de gestión de calidad que busca reducir la variabilidad en los procesos y mejorar la calidad mediante la identificación y eliminación de defectos. DMAIC es un acrónimo que representa las cinco fases principales de este enfoque: Definir (Define), Medir (Measure), Analizar (Analyze), Mejorar (Improve) y Controlar (Control) (Garza et al., 2016). Cada fase tiene un conjunto específico de herramientas y técnicas que se utilizan para garantizar que los problemas se identifiquen y resuelvan de manera efectiva, y que las mejoras se mantengan a lo largo del tiempo.

DMAIC se utiliza ampliamente en una variedad de industrias debido a su enfoque sistemático y riguroso. Esta metodología no solo se centra en la resolución de problemas inmediatos, sino también en la implementación de mejoras sostenibles que aumenten la eficiencia y la calidad de los procesos operativos.

1.5.2.2. Fases de DMAIC.

Definir (Define)

La primera fase de la metodología DMAIC se centra en la identificación y definición clara del problema. Esta etapa es crucial, ya que establece la base para todo el proyecto de mejora (Albert et al., 2017). En esta fase, se llevan a cabo las siguientes actividades:

- **Identificación del Problema:** Se define de manera clara y concisa el problema que se debe abordar. Esto implica identificar los síntomas del problema y su impacto en la organización.
- **Establecimiento de Objetivos:** Se establecen los objetivos específicos del proyecto de mejora, que deben ser medibles y alcanzables.
- **Delimitación del Alcance del Proyecto:** Se define el alcance del proyecto, especificando qué procesos o áreas se incluirán y cuáles se excluirán. Esto ayuda a mantener el enfoque y evitar que el proyecto se desvíe.
- **Medir (Measure)**

La fase de Medir se enfoca en la recolección de datos relevantes para entender mejor el problema y establecer una línea base de rendimiento (Albert et al., 2017). Las actividades principales de esta fase incluyen:

- **Recolección de Datos:** Se recopilan datos sobre el proceso actual utilizando técnicas como muestreo, encuestas y observaciones directas.
- **Establecimiento de Métricas de Rendimiento:** Se identifican y definen las métricas clave que se utilizarán para medir el rendimiento del proceso. Estas métricas deben estar alineadas con los objetivos del proyecto.
- **Análisis de la Línea Base:** Se analizan los datos recopilados para establecer una línea base de rendimiento que servirá como punto de referencia para evaluar las mejoras.
- **Herramientas como el Diagrama de Pareto, los histogramas y los gráficos de control** se utilizan para visualizar y analizar los datos recopilados.

Analizar (Analyze)

La fase de Analizar se centra en identificar las causas raíces del problema. Este análisis profundo permite entender por qué ocurre el problema y qué factores contribuyen a su existencia (Albert et al., 2017). Las actividades principales de esta fase incluyen:

- **Análisis de Datos:** Se utilizan técnicas estadísticas y analíticas para identificar patrones y tendencias en los datos.
- **Identificación de Causas Raíces:** Se utilizan herramientas como el Diagrama de Ishikawa (o Diagrama de Espina de Pescado) y los 5 Porqués para profundizar en las causas subyacentes del problema.
- **Desarrollo de Hipótesis:** Se desarrollan hipótesis sobre las posibles causas del problema, que luego se prueban mediante experimentos o análisis adicionales.

El objetivo es llegar a una comprensión clara y detallada de las causas raíces del problema para poder abordarlas efectivamente en las siguientes fases.

Mejorar (Improve)

La fase de Mejorar se enfoca en desarrollar e implementar soluciones para abordar las causas raíces identificadas (Albert et al., 2017). Las actividades principales de esta fase incluyen:

- **Desarrollo de Soluciones:** Se generan ideas y soluciones potenciales para resolver el problema. Esto puede incluir la mejora de procesos, cambios en la metodología de trabajo, o la implementación de nuevas tecnologías.
- **Prueba de Soluciones:** Las soluciones propuestas se prueban en un entorno controlado para evaluar su efectividad.
- **Implementación de Soluciones:** Las soluciones que demuestran ser efectivas se implementan en el proceso real.

- Durante esta fase, se pueden utilizar herramientas como el análisis de costo-beneficio y el diagrama de flujo de procesos mejorado para planificar y ejecutar las mejoras.

Controlar (Control)

La fase final de la metodología DMAIC se centra en asegurar que las mejoras implementadas se mantengan a lo largo del tiempo (Albert et al., 2017). Las actividades principales de esta fase incluyen:

- Establecimiento de Controles: Se implementan controles y monitoreos continuos para asegurar que el proceso mejorado se mantenga estable y eficiente.
- Monitoreo de Rendimiento: Se monitorean las métricas de rendimiento para detectar cualquier desviación del rendimiento esperado.
- Documentación y Estandarización: Se documentan las mejoras y se estandarizan los nuevos procedimientos para asegurar que se sigan de manera consistente.
- Herramientas como los gráficos de control y las auditorías de proceso son esenciales en esta fase para mantener la calidad y eficiencia del proceso mejorado.

La metodología DMAIC ofrece un enfoque estructurado y basado en datos para la mejora continua de procesos. A través de sus cinco fases, se asegura una identificación precisa de los problemas, la implementación de soluciones efectivas y el mantenimiento de las mejoras a largo plazo. Esta metodología es fundamental para cualquier organización que busque mejorar la calidad y eficiencia de sus procesos operativos.

1.5.3 Incremento del Rendimiento de Producción

1.5.3.1. Identificación de Causas Raíces.

Para incrementar el rendimiento de producción en las líneas de bobinas de baja y alta tensión, es crucial identificar y comprender las causas raíces que están contribuyendo al bajo rendimiento. Existen diversas técnicas y herramientas que pueden emplearse para este propósito, entre las más efectivas se encuentran el Diagrama de Ishikawa y los 5 Porqués.

Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Espina de Pescado):

El Diagrama de Ishikawa, también conocido como Diagrama de Espina de Pescado o Diagrama de Causa y Efecto, es una herramienta visual que ayuda a identificar, clasificar y visualizar las posibles causas de un problema específico. Este diagrama permite organizar las causas en categorías principales como métodos, maquinaria, mano de obra, materiales, medio ambiente y medición. Cada rama del diagrama representa una categoría y las sub-ramas representan las causas potenciales dentro de cada categoría. Este enfoque estructurado facilita la identificación de todas las posibles causas de un problema y proporciona una visión clara de las áreas que requieren mayor investigación (Coccia, 2017).

Ejemplo de Aplicación del Diagrama de Ishikawa:

- Métodos: Procedimientos de trabajo inadecuados, falta de estandarización.
- Maquinaria: Equipos obsoletos, falta de mantenimiento.
- Mano de Obra: Falta de capacitación, errores humanos.
- Materiales: Calidad inconsistente de materias primas, problemas de suministro.
- Medio Ambiente: Condiciones inadecuadas en el área de trabajo, temperatura y humedad incontroladas.
- Medición: Falta de herramientas de medición precisas, errores en la recolección de datos.

5 Porqués:

El método de los 5 Porqués es una técnica simple pero poderosa para identificar la causa raíz de un problema. Consiste en preguntar "¿Por qué?" (generalmente cinco veces) hasta llegar a la causa subyacente del problema. Este enfoque ayuda a profundizar en los síntomas del problema para descubrir las causas fundamentales (Barsalou y Starzyńska, 2023).

1.5.4 Formalización de un Sistema de Medición

1.5.4.1. Herramientas de Medición: Descripción de herramientas y técnicas para medir el rendimiento de producción (ej. KPIs, OEE - Overall Equipment Effectiveness).

Para medir el rendimiento de producción de manera efectiva, es crucial utilizar herramientas y técnicas que proporcionen datos precisos y accionables. A continuación, se describen algunas de las herramientas de medición más utilizadas:

Indicadores Clave de Desempeño (KPIs):

Los KPIs son métricas específicas que reflejan el rendimiento de un proceso o actividad en particular. En la producción, algunos KPIs comunes incluyen:

- Tasa de Producción: Cantidad de unidades producidas por unidad de tiempo.
- Tasa de Defectos: Porcentaje de productos defectuosos sobre el total de la producción.
- Tiempo de Ciclo: Tiempo total requerido para completar una unidad de producto.
- Utilización de Recursos: Eficiencia en el uso de materiales, mano de obra y equipos.
- Índice de Productividad: Relación entre la producción total y los recursos utilizados.

Eficacia Global del Equipo (OEE - Overall Equipment Effectiveness):

OEE es una métrica integral que mide la eficiencia total de un equipo de producción.

Se calcula considerando tres factores principales:

- Disponibilidad: Proporción de tiempo en que el equipo está disponible para la producción frente al tiempo total programado.
- Rendimiento: Relación entre la velocidad real de producción y la velocidad ideal.
- Calidad: Proporción de productos buenos producidos frente al total de productos producidos.

La fórmula para calcular OEE es:

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

Análisis de Pareto:

El análisis de Pareto se utiliza para identificar las causas más significativas de problemas en la producción. Basado en el principio de que el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas, esta herramienta ayuda a enfocar los esfuerzos de mejora en las áreas que tendrán el mayor impacto.

Diagramas de Control:

Los diagramas de control son herramientas gráficas utilizadas para monitorear la variabilidad de un proceso y asegurar que este se mantenga dentro de los límites de control establecidos. Permiten detectar desviaciones y tomar acciones correctivas antes de que se conviertan en problemas mayores.

Sistemas de Gestión de Información de Producción (PIMS):

Los sistemas PIMS integran datos de diferentes partes del proceso de producción, proporcionando una visión holística y en tiempo real del rendimiento de la planta. Facilitan el análisis de datos y la toma de decisiones informada.

1.5.5 Teorías y Modelos de Mejora Continua

1.5.5.1. Kaizen: Principios del Kaizen y su Aplicación en la Mejora Continua de Procesos.

Kaizen es una filosofía de origen japonés que se centra en la mejora continua y sistemática de los procesos, productos y servicios dentro de una organización. La palabra "Kaizen" se compone de dos términos japoneses: "Kai" que significa "cambio" y "Zen" que significa "bueno". En conjunto, Kaizen se traduce como "mejora continua". Este enfoque se basa en la premisa de que las mejoras pequeñas, incrementales y regulares pueden llevar a grandes beneficios a largo plazo.

Principios del Kaizen

Mejoras Pequeñas y Continuas:

Kaizen se enfoca en realizar mejoras pequeñas pero constantes en lugar de grandes cambios radicales. Estas pequeñas mejoras se acumulan con el tiempo, llevando a mejoras significativas en la eficiencia y calidad de los procesos.

Participación de Todos los Niveles:

Uno de los principios fundamentales de Kaizen es la participación de todos los empleados, desde la alta dirección hasta los trabajadores de línea. Todos los miembros de la organización son alentados a identificar áreas de mejora y a sugerir ideas para la optimización de procesos.

Enfoque en los Procesos:

Kaizen se centra en mejorar los procesos en lugar de solo los resultados. La idea es que mejorando los procesos, los resultados mejorarán automáticamente. Esto incluye la eliminación de desperdicios, la reducción de la variabilidad y la optimización del flujo de trabajo.

Eliminación de Desperdicios (Muda):

Un concepto clave en Kaizen es la eliminación de "Muda", o desperdicios. Esto incluye cualquier actividad que no agrega valor al producto o servicio, como el exceso de inventario, el tiempo de espera, los defectos, la sobreproducción y el movimiento innecesario.

Cultura de Mejora Continua:

Kaizen promueve una cultura organizacional que valora y fomenta la mejora continua. Esto incluye la capacitación continua de los empleados, la implementación de sistemas para recolectar y evaluar sugerencias de mejora, y el reconocimiento y recompensa de los esfuerzos de mejora.

Capítulo 2

2.1. Metodología

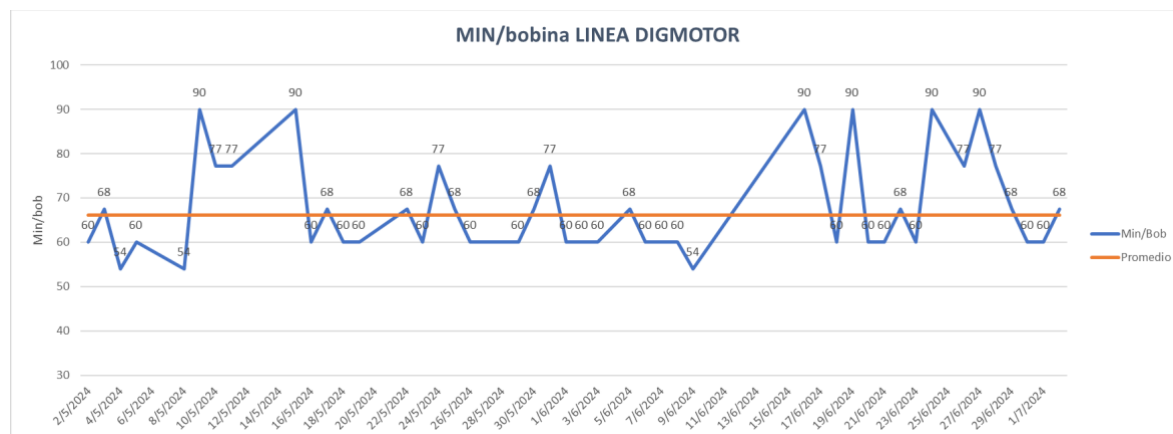
2.1.1. Situación Actual

La situación actual de la empresa se muestra con los datos obtenidos de agosto a diciembre de 2023. Se evidenció un bajo rendimiento en la producción de bobinas tanto de baja como de alta tensión. La fabricación de una bobina está compuesta por una bobina de baja tensión y una bobina de alta tensión. Por ello, la línea de bobinado para potencias de 10 KVA hasta 150 KVA se conforma de la línea de baja tensión Erasan (Figura 2.2.) y la línea de alta tensión Digmotor (Figura 2.1.), las cuales tienen en promedio 9.83 y 8.16 bobinas mensuales, respectivamente.

Las líneas de bobinado de potencias mayores a 150 KVA se conforman de la línea de baja tensión China (Figura 2.3.) y la línea de alta tensión Trishull (Figura 2.4.), las cuales tienen en promedio 2.83 y 3.33 bobinas mensuales, respectivamente.

Figura 2.1.

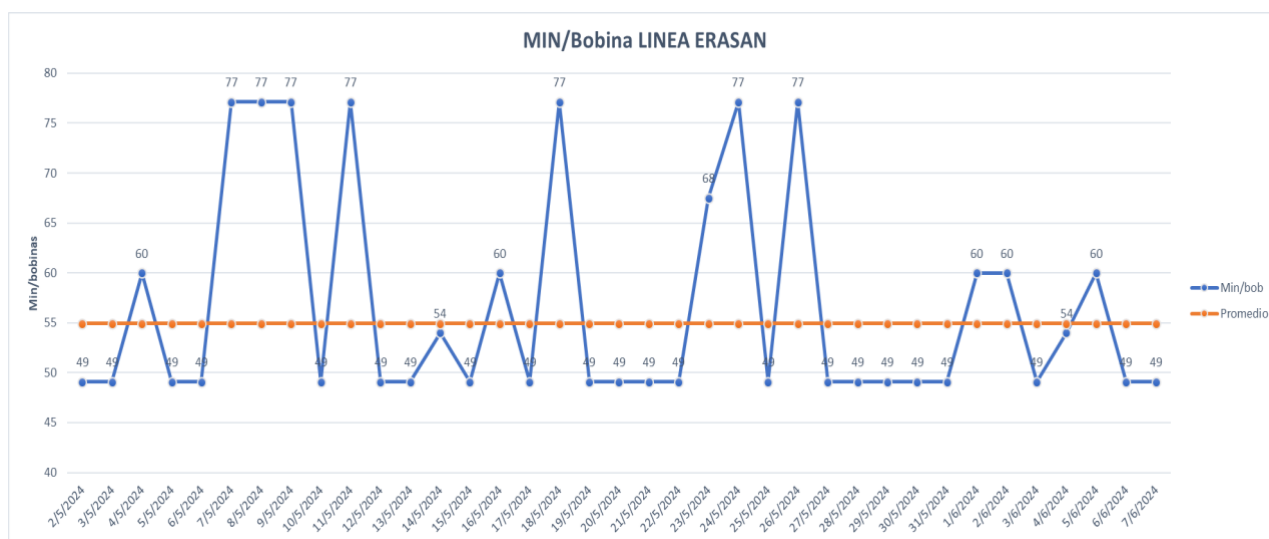
Rendimiento Min/bobina línea de AT Digmotor



Nota. El gráfico muestra la producción diaria de bobinas de alta tensión línea Digmotor

Figura 2.2.

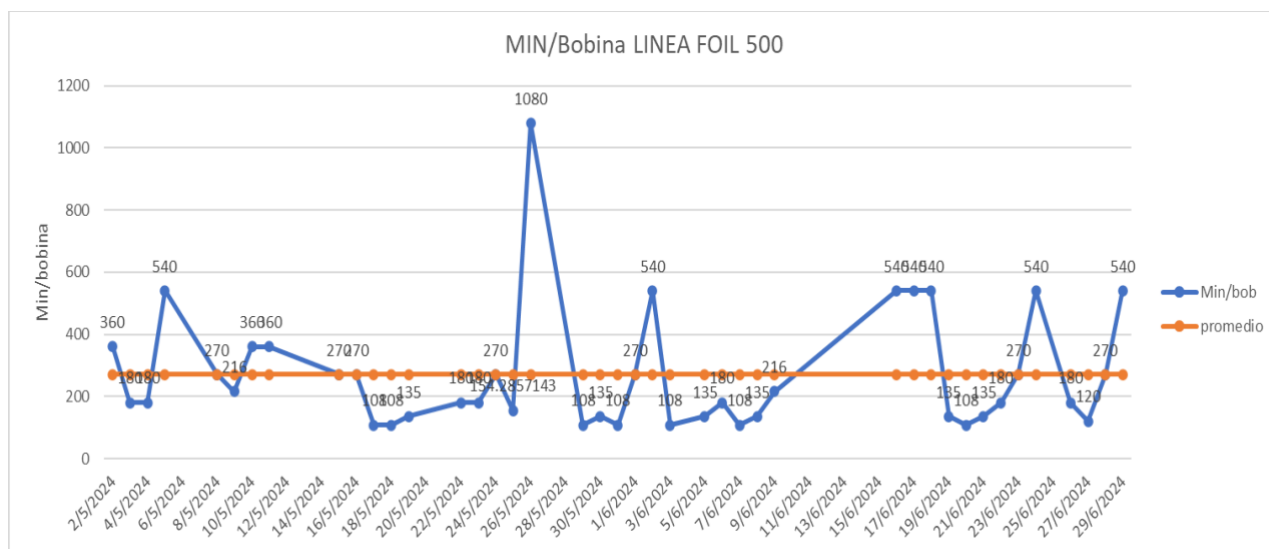
Rendimiento Min/bobina línea BT Erasan



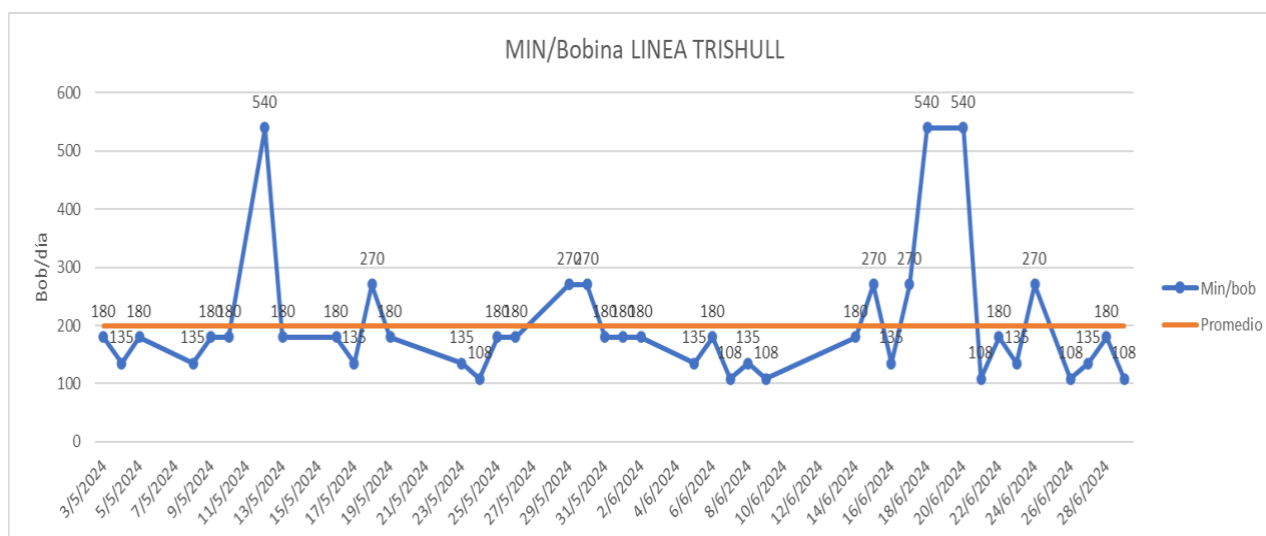
Nota. El gráfico muestra la producción diaria de bobinas de Baja tensión línea Erasan

Figura 2.3.

Rendimiento Min/Bobina línea BT Foil 500



Nota. El gráfico muestra la producción diaria de bobinas de Baja tensión línea Foil 500

Figura 2.4.*Rendimiento Min/Bobina línea AT Trishull*

Nota. El gráfico muestra la producción diaria de bobinas de Balta tensión línea Trishull.

En la Figura 2.5. se puede observar la demanda mensual de transformadores, se pudo evidenciar que la demanda de transformadores de potencias menores e igual a 150 KVA (Demanda 1) representan el 87% mientras que la demanda de transformadores mayores a 150 KVA (Demanda 2) representa el 13%.

Además, se observó que en promedio para cubrir la demanda 1 se va necesitar una producción 14 bobinas/día mientras que para cubrir la demanda 2 se necesita una producción diaria de 2 bobinas/día.

Por lo tanto, el proyecto estará enfocado en encontrar los factores que impactan al rendimiento de las líneas Digmotor y Erasan, debido que en la línea de potencias mayores a 150KVA la capacidad de producción si cubre la demanda 2.

Figura 2.5.*Demanda de transformadores año 2023*

Etiquetas de fila	Demanda 1	Demanda 2	demanda total	Demanda 1(%)	Demanda 2 (%)	Pot<150 u/d	Pot>150 u/d
enero	237	34	271	87%	13%	10	1
febrero	211	31	242	87%	13%	9	1
marzo	342	71	413	83%	17%	14	3
abril	266	51	317	84%	16%	11	2
mayo	209	33	242	86%	14%	9	1
junio	311	31	342	91%	9%	13	1
julio	397	40	437	91%	9%	17	2
agosto	540	26	566	95%	5%	23	1
septiembre	377	42	419	90%	10%	16	2
octubre	313	72	385	81%	19%	13	3
noviembre	338	54	392	86%	14%	14	2
diciembre	328	48	376	87%	13%	14	2
Promedio	322.42	44.42	366.83	87%	13%	14	2

Nota. La imagen muestra la Demanda mensual del año 2023 de los transformadores menores a 150KVA y mayores a 150KVA.

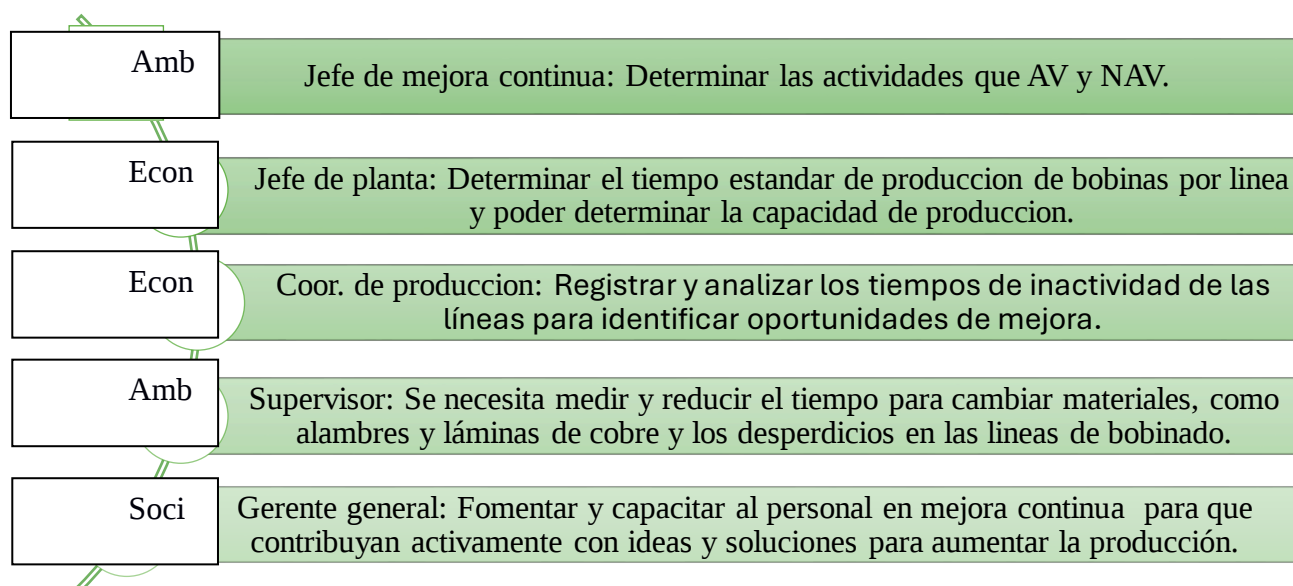
Para poder cubrir la demanda 1 la línea de baja tensión Erasan tiene que incrementar un 53% y la línea de alta tensión Digmotor en un 85% el rendimiento.

Voz del cliente:

Es muy importante saber las diferentes necesidades que tienen el cliente. Para saber cuál es la necesidad del cliente interno de la fábrica se realizaron entrevistas junto con una lluvia de ideas. Se pudo conocer cuáles son las principales ideas que sustentan el presente proyecto como se presenta en la Figura 2.6.

Figura 2.6.

Diagrama de afinidad con relación a la voz del cliente

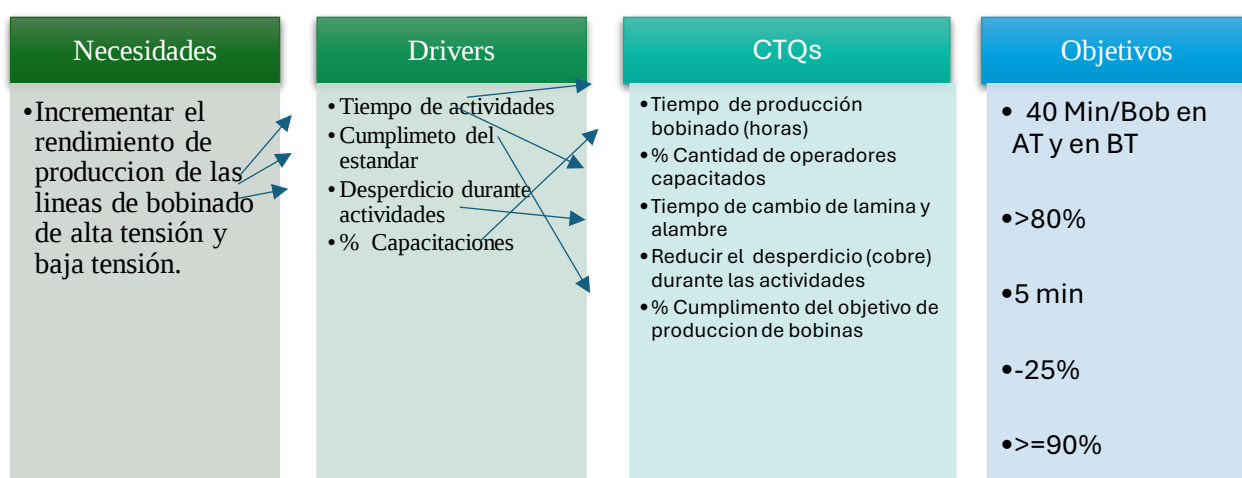


Nota. La imagen muestra el diagrama de afinidad con relación a la voz del cliente

Con la información recolectada se realizó la elaboración del CTQ tree donde se identificaron las diferentes necesidades del cliente segmentadas en; social, ambiental y económico como se puede ver en la Figura 2.7.

Figura 2.7.

CTQ Tree



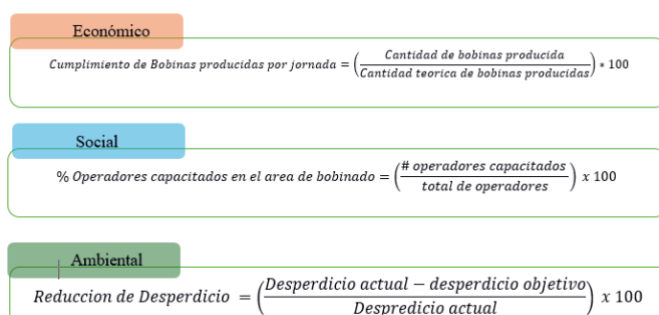
Nota. La imagen muestra el CTQ Tree con las características medibles clave del proceso

Variable de respuesta:

Se define como variable de respuesta el tiempo de producción de bobinas en horas, y con la información recolectada se planteó los siguientes indicadores mostrados en la Figura 2.8.

Figura 2.8.

Métricas

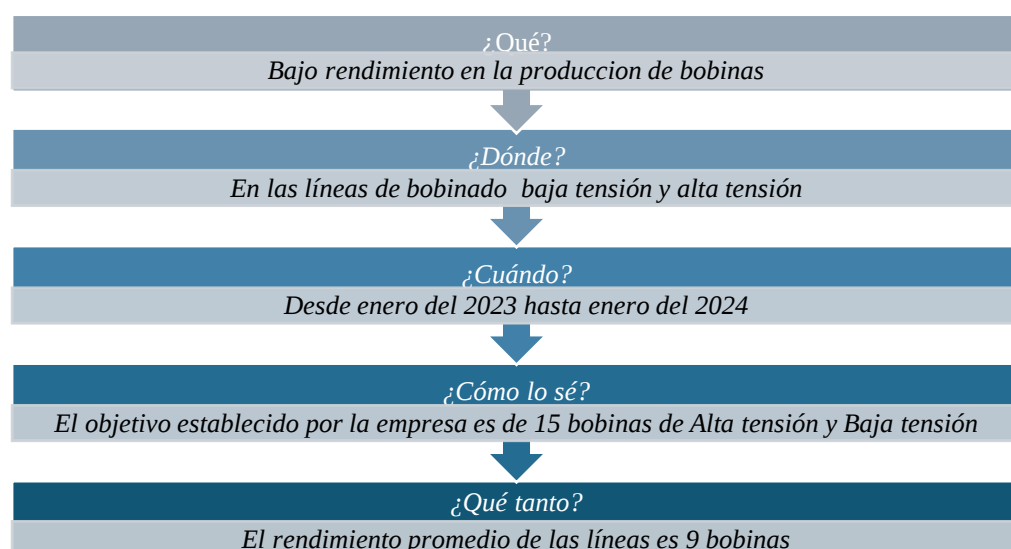


Nota. La imagen muestra indicadores métricos, económico, social y ambiental.

Con el siguiente resultado se puede determinar mediante la herramienta 3W + 2h y saber la Definición del problema mostrada en la Figura 2.9:

Figura 2.9.

Definición del problema



Nota. La imagen muestra la definición del problema

Desde el mes de enero del 2023 hasta enero del 2024, existe un bajo rendimiento de las líneas de Baja tensión y Alta tensión debido a que no cumplen con el objetivo establecido por la empresa que es de 15 bobinas de Baja tensión y Alta tensión.

El rendimiento promedio de las líneas en la actualidad es de 54.93 min/bobina (9.83 bobinas/día) de Baja tensión y 66.17 min/bobina (8.16 bobinas/día) de alta tensión.

2.2. Medición

2.2.1. Mapeo del proceso

Para el mapeo de proceso, se inició detallando las actividades que se realizan actualmente en el proceso de bobinado tanto de baja como de alta tensión. Es importante identificar las actividades que agregan valor (AV), las que no agregan valor, pero son necesarias (NAV), y las que no agregan valor (NAV). Se pudo segregar las actividades que se pueden eliminar o mejorar.

Para realizar dicha actividad, se consideró utilizar un diagrama OTIDA (Operación, Transporte, Inspección, Demora y Archivo). Esta herramienta permitió detallar de forma esquemática los procesos de bobinado, ya que se pudo caracterizar las actividades que se realizan en el proceso.

Se realizó el diagrama OTIDA para el proceso de bobinado de alta tensión como se presenta en la Figura 2.10. y Figura 2.11.

Figura 2.10.

Diagrama OTIDA Proceso de bobinado Alta tensión

Item	Activity	Time	AV/NAV/NAVN					
1	COLOCAR LOS TRES CARRETES DE ALAMBRE DE COBRE	0:02:36	NAVN				D	
2	ROCOGER TRES BOBINA DE BT	0:01:53	NAVN		T			
3	COLOCAR EL MOLDE EN BOBINAS	0:01:41	NAVN				D	
4	ASEGURAR BOBINAS	0:01:09	NAVN				D	
5	AMARRAR TERMINALES DE BT	0:01:55	NAVN				D	
6	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:01:58	NAV		T			
8	COLOCAR GOMA Y PEGAR PAPEL AISLANTE	0:00:39	AV	O				
9	REALIZAR CORTE EN TRES PARTES DE UNA TIRA DE TELA	0:00:20	NAV				D	
10	COLOCAR GOMA Y PEGAR TIRA DE TELA	0:00:46	AV	O				
11	MEDIR Y CORTAR EL TUBO DE PAPEL #1	0:02:10	NAV				D	
12	REALIZAR SET UP PARA INICIO DE EMBOBINADO	0:00:53	NAVN				D	
13	SEPARAR SECCION DE ALAMBRE DE COBRE (TERMINAL#1)	0:01:22	AV	O				
14	INSERTAR TUBO DE PAPEL (TERMINAL #1)	0:00:45	AV	O				
15	PEGAR PAPEL AISLANTE SOBRE TERMINAL #1	0:02:23	AV	O				
16	BOBINAR	0:01:19	AV	O				
17	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:01:56	NAV		T			
18	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:33	AV	O				
19	BOBINAR	0:01:07	AV	O				
20	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:02:05	NAV		T			
21	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:44	AV	O				
22	BOBINAR	0:01:09	AV	O				
23	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:02:01	NAV		T			
24	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:29	AV	O				
25	BOBINAR	0:00:59	AV	O				
26	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:01:53	NAV		T			
27	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:19	AV	O				
28	BOBINAR	0:00:56	AV	O				
29	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:02:03	NAV		T			
30	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:29	AV	O				
31	BOBINAR	0:00:46	AV	O				
32	COLOCAR GOMA Y PEGAR PAPEL AISLANTE	0:00:43	AV	O				
33	SEPARAR SECCION DE ALAMBRE DE COBRE (TERMINAL #2)	0:02:13	AV	O				
34	MEDIR Y CORTAR EL TUBO DE PAPEL #2	0:02:07	NAV				D	
35	INSERTAR TUBO DE PAPEL (TERMINAL #2)	0:00:45	AV	O				
36	PEGAR PAPEL AISLANTE SOBRE TERMINAL #2	0:00:57	AV	O				
37	BOBINAR	0:00:27	AV	O				
38	PEGAR PAPEL AISLANTE	0:00:43	AV	O				
39	SEPARAR SECCION DE ALAMBRE DE COBRE (TERMINAL#3)	0:02:12	AV	O				
40	MEDIR Y CORTAR EL TUBO DE PAPEL #3	0:02:06	NAV				D	
41	INSERTAR TUBO DE PAPEL (TERMINAL #3)	0:00:46	AV	O				
42	PEGAR PAPEL AISLANTE SOBRE TERMINAL #3	0:00:58	AV	O				
43	REALIZAR CORTE EN TRES PARTES DE UNA TIRA DE TELA	0:00:20	NAV				D	
44	COLOCAR TIRA DE TELA	0:00:35	AV	O				
45	BOBINAR	0:00:25	AV	O				
46	COLOCAR CINTA FINA	0:00:45	AV	O				
47	SEPARAR UNA SECCION DEL ALAMBRE (TERMINAL #4)	0:01:26	AV	O				
48	MEDIR Y CORTAR EL TUBO DE PAPEL #4	0:02:10	NAV				D	
49	INSERTAR TUBO DE PAPEL (TERMINAL #4)	0:00:43	AV	O				
50	PEGAR PAPEL AISLANTE SOBRE TERMINAL #4	0:02:11	NAV	O				
51	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:01:59	NAV		T			
52	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:35	AV	O				
53	PEGAR PAPEL AISLANTE	0:00:31	AV	O				
54	MEDIR Y CORTAR EL TUBO DE PAPEL #5	0:02:22	NAV				D	
55	SEPARAR SECCION DE ALAMBRE DE COBRE (TERMINAL #5)	0:01:03	AV	O				

Nota. La imagen muestra la primera parte las actividades que se realizan durante el proceso de bobinado de alta tensión y el tiempo que le toma hacer al operador cada una de ellas.

Figura 2.11.

Diagrama OTIDA Proceso de bobinado Alta tensión

Item	Activity	Time	AV/NAV/NAVN						
55	SEPARAR SECCION DE ALAMBRE DE COBRE (TERMINAL #5)	0:01:03	AV	O					
56	INSERTAR TUBO DE PAPEL (TERMINAL #5)	0:00:49	AV	O					
57	PEGAR PAPEL AISLANTE SOBRE TERMINAL #5	0:02:28	AV	O					
58	BOBINAR	0:00:56	AV	O					
59	PEGAR PAPEL AISLANTE	0:00:46	AV	O					
60	SEPARAR SECCION DE ALAMBRE DE COBRE (TERMINAL #6)	0:01:47	AV	O					
61	MEDIR Y CORTAR EL TUBO DE PAPEL #6	0:02:09	NAV				D		
62	INSERTAR TUBO DE PAPEL (TERMINAL #6)	0:00:46	AV	O					
63	PEGAR PAPEL AISLANTE SOBRE TERMINAL #6	0:01:03	AV	O					
64	BOBINAR	0:00:26	AV	O					
65	PEGAR PAPEL AISLANTE	0:00:45	AV	O					
66	SEPARAR SECCION DE ALAMBRE DE COBRE (TERMINAL #7)	0:01:53	AV	O					
67	MEDIR Y CORTAR EL TUBO DE PAPEL #7	0:02:02	NAV				D		
68	INSERTAR TUBO DE PAPEL (TERMINAL #7)	0:00:42	AV	O					
69	PEGAR PAPEL AISLANTE SOBRE TERMINAL #7	0:01:06	AV	O					
70	BOBINAR	0:00:38	AV	O					
71	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:02:02	AV	O					
72	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:16	AV	O					
73	BOBINAR	0:01:15	AV	O					
74	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:01:49	NAV		T				
75	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:33	AV	O					
76	BOBINAR	0:01:07	AV	O					
77	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:01:56	NAV		T				
78	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:16	AV	O					
79	BOBINAR	0:01:01	AV	O					
80	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:02:03	NAV		T				
81	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:17	AV	O					
82	BOBINAR	0:01:02	AV	O					
83	GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	0:02:07	NAV		T				
84	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:01:17	AV	O					
85	BOBINAR	0:01:02	AV	O					
86	PEGAR PAPEL AISLANTE	0:01:05	AV	O					
87	SEPARAR SECCION DE ALAMBRE DE COBRE (TERMINAL #8)	0:02:12	AV	O					
88	MEDIR Y CORTAR EL TUBO DE PAPEL #8	0:02:07	NAV				D		
89	INSERTAR TUBO DE PAPEL (TERMINAL #8)	0:00:42	AV	O					
90	PEGAR PAPEL AISLANTE SOBRE EL TERMINAL #8	0:01:00	AV	O					
91	BOBINAR	0:00:24	AV	O					
92	REALIZAR CORTE EN TRES PARTES DE UNA TIRA DE TELA	0:00:16	AV	O					
93	COLOCAR LA PARTE DE TELA	0:00:25	AV	O					
94	BOBINAR	0:00:23	AV	O					
95	SEPARAR UNA SECCION DEL ALAMBRE (TERMINAL #9)	0:01:22	AV	O					
96	MEDIR Y CORTAR EL TUBO DE PAPEL #9	0:02:10	NAV				D		
97	INSERTAR TUBO DE PAPEL (TERMINAL #9)	0:01:04	AV	O					
98	PEGAR PAPEL AISLANTE SOBRE TERMINAL #9	0:02:29	AV	O					
99	COLOCAR GOMA EN BORDES	0:01:31	AV	O					
100	CUBRIR CON PAPEL AISLANTE	0:02:22	AV	O					
101	QUITAR CORDON	0:00:35	NAVN				D		
102	COLOCAR ADHESIVO CON INFORMACION	0:02:04	NAVN				D		
103	QUITAR SEGURO DIGMOTOR	0:00:50	NAVN				D		
104	RETIRAR BOBINAS	0:01:10	NAVN		T				
105	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:03:18	AV	O					

Nota. La imagen muestra la segunda parte las actividades que se realizan durante el proceso de bobinado de alta tensión y el tiempo que le toma hacer al operador cada una de ellas.

Tabla 2.1.

Actividades de bobinado en AT que AV, NAV, NAVN

Actividades		
AV	72	69%
NAV	22	21%
NAVN	10	10%
TOTAL	104	100%

Nota. La imagen muestra las actividades de bobinado en AT que AV, NAV, NAVN

De acuerdo a la Tabla 2.1. una vez realizado el mapeo de las actividades de bobinado de alta tensión, se pudo definir:

- El 21% de las actividades del proceso no agregan valor.
- El 10% de las actividades del proceso no agregan valor, pero son necesarias.

Para el proceso de bobinado de baja tensión se realizó un diagrama OTIDA como se presenta en la Figura 2.12.

Figura 2.12.

Diagrama OTIDA Proceso de bobinado Baja tensión

Item	Activity	Time	AV/NAV/NAVN	●	→	■	D	▼
1	COLOCAR TABLAS EN EL EJE	0:05:18	NAVN				D	
2	REALIZAR SET UP DE LA MAQUINA	0:02:30	NAVN				D	
3	TOMAR MEDIDA DE LAS DIMENSIONES DEL EJE Y SEPARAR DIMENSIONES DEL CARTON	0:03:30	NAV				D	
4	DAR FORMA AL CARTON CON MARTILLO	0:01:31	NAV				D	
5	COLOCAR MOLDE DE CARTON EN EL EJE	0:00:48	AV	O				
6	COLOCAR GOMA SOBRE EL MOLDE DE CARTON	0:00:33	AV	O				
7	COLOCAR PAPEL AISLANTE	0:00:26	AV	O				
8	REGULAR EL EJE PARA AMOLDAR EL CARTON	0:00:38	AV	O				
9	BOBINAR PAPEL AISLANTE	0:00:20	AV	O				
10	SEPARAR UNA SECCION DE LAMINA DE COBRE	0:00:36	AV	O				
11	REALIZAR MARCAS EN LAMINA DE COBRE	0:00:25	AV	O				
12	CORTAR SOBRE LAS MARCAS PARARELIZAR LASALIDAA	0:00:36	AV	O				
13	COMPACTAR CON MARTILLO	0:00:47	AV	O				
14	PEGAR PAPEL AISLANTE	0:00:25	AV	O				
15	DOBLAR TERMINALES DE BT	0:00:12	AV	O				
16	PEGAR TERMINALES EN EL MOLDE DE CARTON	0:00:29	AV	O				
17	BOBINAR LAMINA CON PAPEL AISLANTE EN EL MOLDE DE CARTON	0:03:08	AV	O				
18	MEDIR, SEPARAR Y CORTAR UNA SECCION DE LAMINA DE COBRE	0:00:53	AV	O				
19	REALIZAR MARCAS EN LAMINA DE COBRE	0:00:30	AV	O				
20	CORTAR SOBRE LAS MARCAS PARARELIZAR LASALIDAB	0:01:00	AV	O				
21	COMPACTAR CON MARTILLO	0:00:48	AV	O				
22	PEGAR PAPEL AISLANTE	0:00:23	AV	O				
23	DOBLAR TERMINALES DE BT	0:00:14	AV	O				
24	PEGAR TERMANILES EN LA BOBINA CON CINTA GRUESA	0:00:22	AV	O				
25	BOBINAR PAPEL AISLANTE	0:00:34	AV	O				
26	SEPARAR UNA SECCION DE LAMINA DE COBRE	0:00:32	AV	O				
27	REALIZAR MARCAS EN LAMINA DE COBRE	0:00:16	AV	O				
28	CORTAR SOBRE LAS MARCAS PARARELIZAR LASALIDAC	0:00:46	AV	O				
29	COMPACTAR CON MARTILLO	0:00:51	AV	O				
30	PEGAR PAPEL AISLANTE	0:00:22	AV	O				
31	DOBLAR PLACAS	0:00:15	AV	O				
32	PEGAR LAS PLACAS EN LA BOBINA CON CINTA GRUESA	0:00:25	AV	O				
33	BOBINAR LAMINA DE COBRE Y PAPEL AISLANTE	0:03:01	AV	O				
34	MEDIR, SEPARAR Y CORTAR UNA SECCION DE LAMINA DE COBRE	0:01:03	AV	O				
35	REALIZAR MARCAS EN LAMINA DE COBRE	0:00:23	AV	O				
36	CORTAR SOBRE LAS MARCAS PARARELIZAR LASALIDAD	0:00:44	AV	O				
37	COMPACTAR CON MARTILLO	0:00:46	AV	O				
38	PEGAR PAPEL AISLANTE	0:00:16	AV	O				
39	DOBLAR TERMINALES DE BT	0:00:16	AV	O				
40	PEGAR LOS TERMINALES EN LA BOBINA CON CINTA GRUESA	0:00:26	AV	O				
41	BOBINAR PAPEL AISLANTE	0:00:25	AV	O				
42	PEGAR PAPEL DE EFRIAMIENTO	0:00:16	AV	O				
43	BOBINAR PAPEL AISLANTE	0:01:24	AV	O				
44	QUITAR SEGURO	0:00:21	NAVN				D	
45	RETIRAR BOBINA	0:00:19	NAVN				D	

Nota. La imagen muestra las actividades que se realizan durante el proceso de bobinado de baja tensión y el tiempo que le toma hacer al operador cada una de ellas.

Tabla 2.2.

Actividades de bobinado en BT que AV, NAV, NAVN

Actividades		
NAV	2	4%
NAVN	4	9%
AV	39	87%
TOTAL	45	100%

Nota. La imagen muestra las actividades que se realizan en el proceso de bobinado en BT

De acuerdo a la Tabla 2.2. una vez realizado el mapeo de las actividades de bobinado de alta tensión, se pudo definir:

- El 4% de las actividades del proceso no agregan valor.
- El 9% de las actividades del proceso no agregan valor, pero son necesarias.

2.2.2. Plan de recolección de datos

Para realizar el plan de recolección de datos se tomó en consideración la variable de respuesta, **tiempo de producción de bobinas**, considerando los CTQ'S como punto de partida, se obtuvieron las siguientes variables que intervienen directamente:

Línea de alta tensión

- X1: Recoger Papel aislante
- X2: Medir y Cortar tubo de papel
- X3: Colocar carretes de alambres
- X4: Colocar moldes en bobinas de BT

Línea de Baja tensión

- X5: Colocar tablas en eje
- X6: Separar dimensiones en el cilindro
- X7: Dar forma al cilindro

Además, se consideró las variables asociadas al “triple bottom line” el cual se tiene un enfoque en temas de medio ambiente, económico y social:

- X8: Desperdicio de materiales
- X9: Cumplimiento de estándar
- X10: Operadores capacitados

Se elaboró el plan de recolección de datos de las variables de respuesta que intervienen directamente en el proceso, como se muestra en la Figura 2.13.

Figura 2.13.

Plan de recolección de datos

Variables	Que?	Unidad	Tipo de dato	Data source	Muestreo	Cuando?	cómo?	Dónde	Quien?	o futuro de dat	Verificación
X1	Tiempo de recoger papel aislante	Min	Continuo	Registro propio en Excel	Gemba - Durante el proceso de producción	10/6/2024 - 12/6/2024	Gemba - Durante el proceso de producción se realizará la toma de tiempo con la ayuda de un cronómetro	Línea de AT	Líder de proyecto	Calcular el tiempo de producción de bobinas	Diferencias de medias de los datos actuales con los datos históricos
X2	Tiempo de medir y cortar tubo de papel	Min	Continuo	Registro propio en Excel	Gemba - Durante el proceso de producción	10/6/2024 - 12/6/2024	Gemba - Durante el proceso de producción se realizará la toma de tiempo con la ayuda de un cronómetro				
X3	Tiempo de colocar carretes de alambres	Min	Continuo	Registro propio en Excel	Gemba - Durante el proceso de producción	10/6/2024 - 12/6/2024	Gemba - Durante el proceso de producción se realizará la toma de tiempo con la ayuda de un cronómetro				
X4	Tiempo de colocar moldes en bobinas	Min	Continuo	Registro propio en Excel	Gemba - Durante el proceso de producción	10/6/2024 - 12/6/2024	Gemba - Durante el proceso de producción se realizará la toma de tiempo con la ayuda de un cronómetro				
X5	Tiempo de colocar lámina en máquina	Min	Continuo	Registro propio en Excel	Gemba - Durante el proceso de producción	13/6/2024 - 15/6/2024	Gemba - Durante el proceso de producción se realizará la toma de tiempo con la ayuda de un cronómetro	Línea de BT			
X6	Tiempo de colocar tablas en eje	Min	Continuo	Registro propio en Excel	Gemba - Durante el proceso de producción	13/6/2024 - 15/6/2024	Gemba - Durante el proceso de producción se realizará la toma de tiempo con la ayuda de un cronómetro				
X7	Tiempo de separar dimensiones en cilindro	Min	Continuo	Registro propio en Excel	Gemba - Durante el proceso de producción	13/6/2024 - 15/6/2024	Gemba - Durante el proceso de producción se realizará la toma de tiempo con la ayuda de un cronómetro				
X8	Tiempo en dar forma al cilindro	Min	Continuo	Registro propio en Excel	Gemba - Durante el proceso de producción	13/6/2024 - 15/6/2024	Gemba - Durante el proceso de producción se realizará la toma de tiempo con la ayuda de un cronómetro				
X9	Desperdicio	%	Continuo	Registro del servidor	Reporte semanal	16/6/2024 - 18/6/2024	Con la ayuda de una balanza se realizará el registro de desperdicio semanal	Línea de BT y AT		Medir el desperdicio generado en las líneas de producción	Inspección en piso y registro de desperdicio
X10	Cumplimiento de estándar	%	Continuo	Registro propio en Excel	Reporte diario	16/6/2024 - 18/6/2024	Con la ayuda del reporte se llevará la producción diaria			Seguimiento de la variación de los tiempos de producción	Inspección en piso y registro de la producción
X11	Operadores capacitados	%	Continuo	Registro propio en Excel	Reporte mensual	16/6/2024 - 18/6/2024	Capacitaciones planificadas			Comprender el nivel de personal capacitado	Inspección en piso y entrevistas con operadores

Nota. La imagen muestra el plan de recolección de datos

Para poder validar que la información recolectada sea correcta se realizó una prueba de confiabilidad, para ello se determinó el tamaño muestral de esta forma tener datos suficientes.

$$N = \frac{Z^2 s^2}{E^2}$$

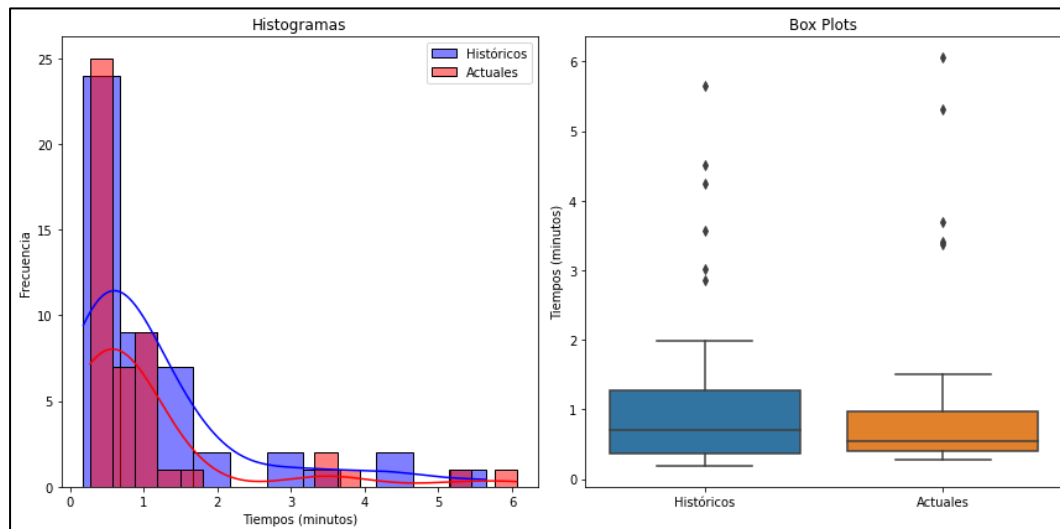
Donde la desviación estándar muestral (s) es 0.66 con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 20%. Se obtuvo un tamaño muestral de aproximadamente 30 muestras para el proceso de bobinado de alta tensión. Para el proceso de bobinado de baja tensión con una desviación estándar muestral (s) de 0.42 con un nivel de confianza del 95% con un margen de error del 20%, se obtuvo un tamaño muestral de aproximadamente de 17 muestras. (Se realizó un 20% debido a que el tiempo estándar de producción de una bobina es de 60 min aproximadamente al aumentar el porcentaje de error pudimos disminuir el tamaño muestral)

Una vez que se tomaron las 30 muestras adicionales del proceso de bobinado de alta tensión y las 17 muestras del proceso de bobinado de baja tensión, se analizaron la confiabilidad de los datos actuales con los datos históricos con el programa Python, el cual se realizó una diferencia de medias para el proceso de bobinado de baja tensión (Figura 2.14.) y para el proceso de alta tensión (Figura 2.15.).

Para la hipótesis sobre la diferencia de medias, se realizó una prueba t de dos muestras, donde se verifica si la media de los datos históricos y actuales son iguales o diferentes.

Hipótesis nula (**H₀**): No hay diferencias significativas entre las medias de los datos históricos y actuales.

Hipótesis alternativa (**H₁**): Hay diferencias significativas entre las medias de los datos históricos y actuales.

Figura 2.14.*Diferencias de medias proceso de bobinado BT*

Nota. La imagen muestra la diferencia de medias de los datos actuales y los datos históricos en del proceso de bobinado de baja tensión.

Los resultados obtenidos en Python fueron los siguientes:

Media de los datos históricos: 1.146

Desviación estándar de los datos históricos: 1.221

Media de los datos actuales: 1.012

Desviación estándar de los datos actuales: 1.247

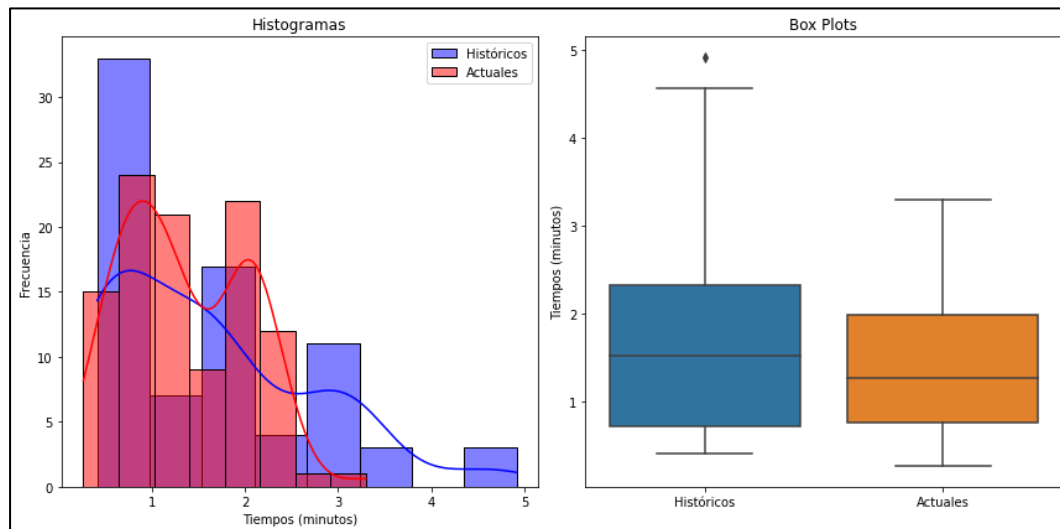
Estadístico t: 0.532

p-valor: 0.595

Estadístico F: 0.959

p-valor (prueba F): 0.556

La prueba t se obtuvo un valor $p > 0.05$ quiere decir que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, no existe diferencia significativa entre las medias de los datos históricos y actuales.

Figura 2.15.*Diferencias de medias proceso de bobinado AT*

Nota. La imagen muestra la diferencia de medias de los datos actuales y los datos históricos en minutos del proceso de bobinado de alta tensión.

Los resultados obtenidos en Python fueron los siguientes:

Media de los datos históricos: 1.602

Desviación estándar de los datos históricos: 1.109

Media de los datos actuales: 1.359

Desviación estándar de los datos actuales: 0.661

Estadístico t: 1.720

p-valor: 0.08790294476621936

El valor $p > 0.05$ quiere decir que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, no existe diferencia significativa entre las medias de los datos históricos y actuales.

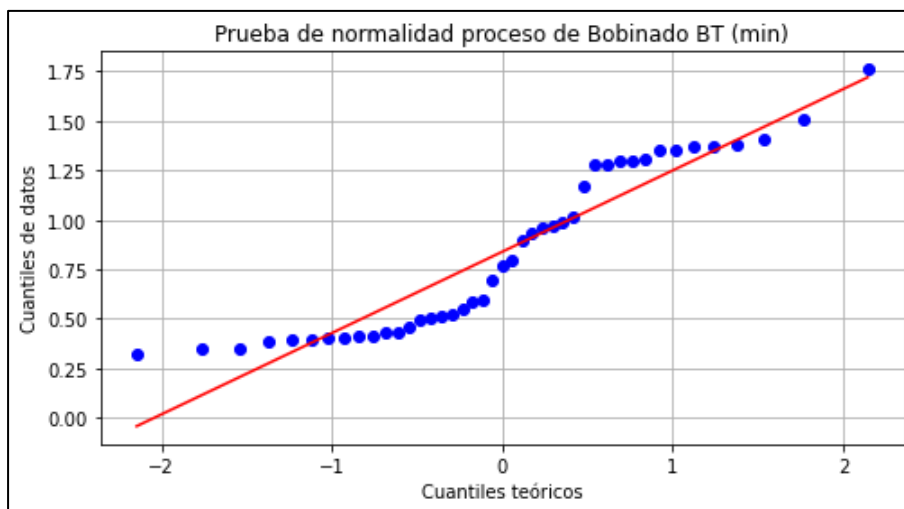
Como se pudo observar tanto en el proceso de alta tensión y baja tensión no hay diferencias significativas entre los datos históricos y actuales en términos de sus medias.

2.2.3. Análisis de procesos

Para el análisis de capacidad del proceso se realizó una prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov del proceso de bobinado de baja tensión (Figura 2.16.) y del proceso de bobinado de alta tensión (Figura 2.17.).

Figura 2.16.

Prueba de normalidad de datos proceso de BT



Nota. La imagen muestra la prueba de normalidad de datos proceso de BT

H_0 : Los datos se distribuyen normalmente

H_1 : Los datos no se distribuyen normalmente

Resultados de Kolmogorov-Smirnov:

Estadístico de prueba: 0.182

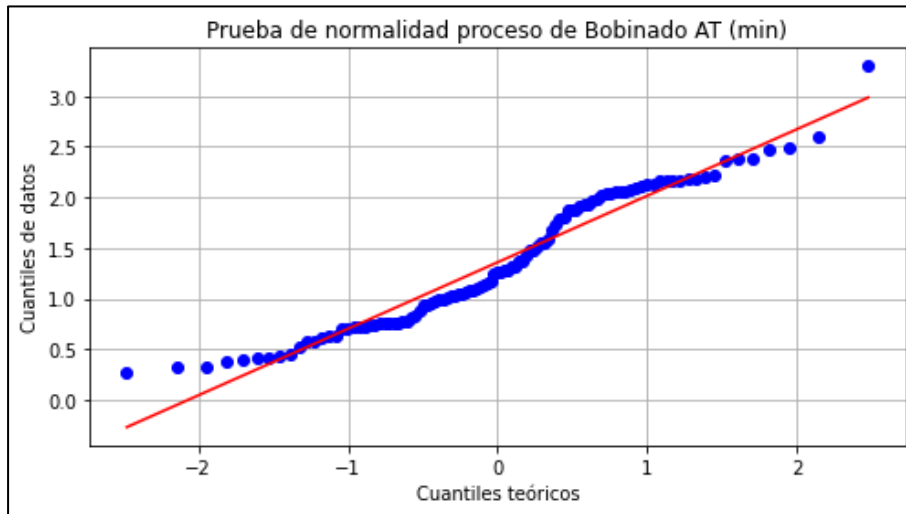
Valor p: 0.102

Desviación estándar muestral (estimación de la poblacional): 0.416

Con un Valor $p > 0.05$ no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, los datos obtenidos siguen una distribución normal.

Figura 2.17.

Prueba de normalidad de datos proceso de AT



Nota. La imagen muestra la prueba de normalidad de datos proceso de AT

H_0 : Los datos se distribuyen normalmente

H_1 : Los datos no se distribuyen normalmente

Resultados de Kolmogorov-Smirnov:

Estadístico de prueba: 0.106

Valor p: 0.168

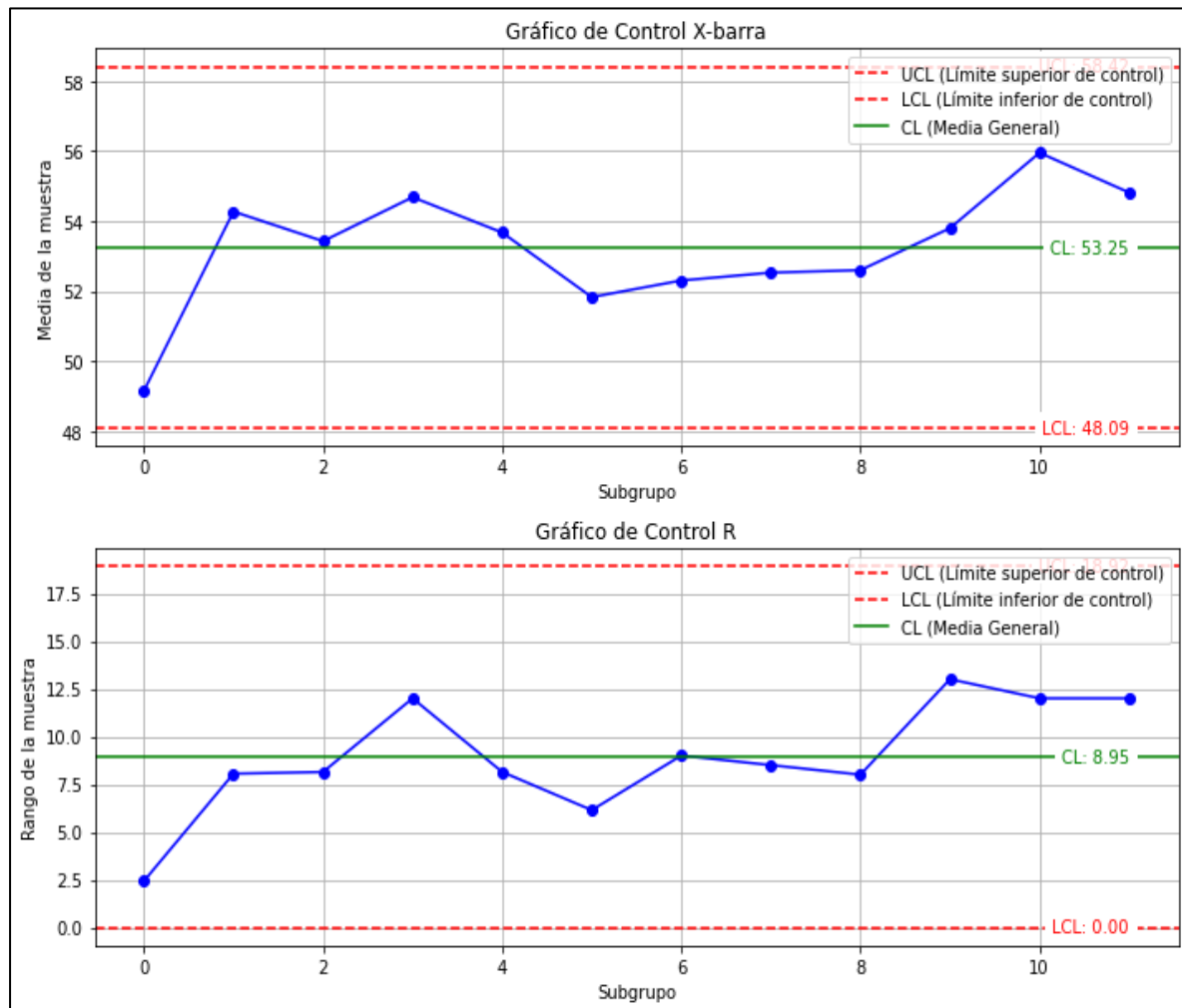
Desviación estándar muestral (estimación de la poblacional): 0.659

Con un valor $p > 0.05$, no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula; por lo tanto, los datos obtenidos siguen una distribución normal.

Una vez realizada la prueba de normalidad y habiendo concluido que los datos siguen una distribución normal, se continuó con el análisis mediante gráficos de control de X-R del tiempo en minutos por bobina, con el objetivo de demostrar que los procesos se encuentran en control y que presenta grandes oportunidades de mejora, se realizó un gráfico de control para el proceso de bobinado de baja tensión (Figura 2.19.) y para el proceso de bobinado de alta tensión (Figura 2.18.).

Figura 2.18.

Gráficas de control X-R proceso de bobinado AT

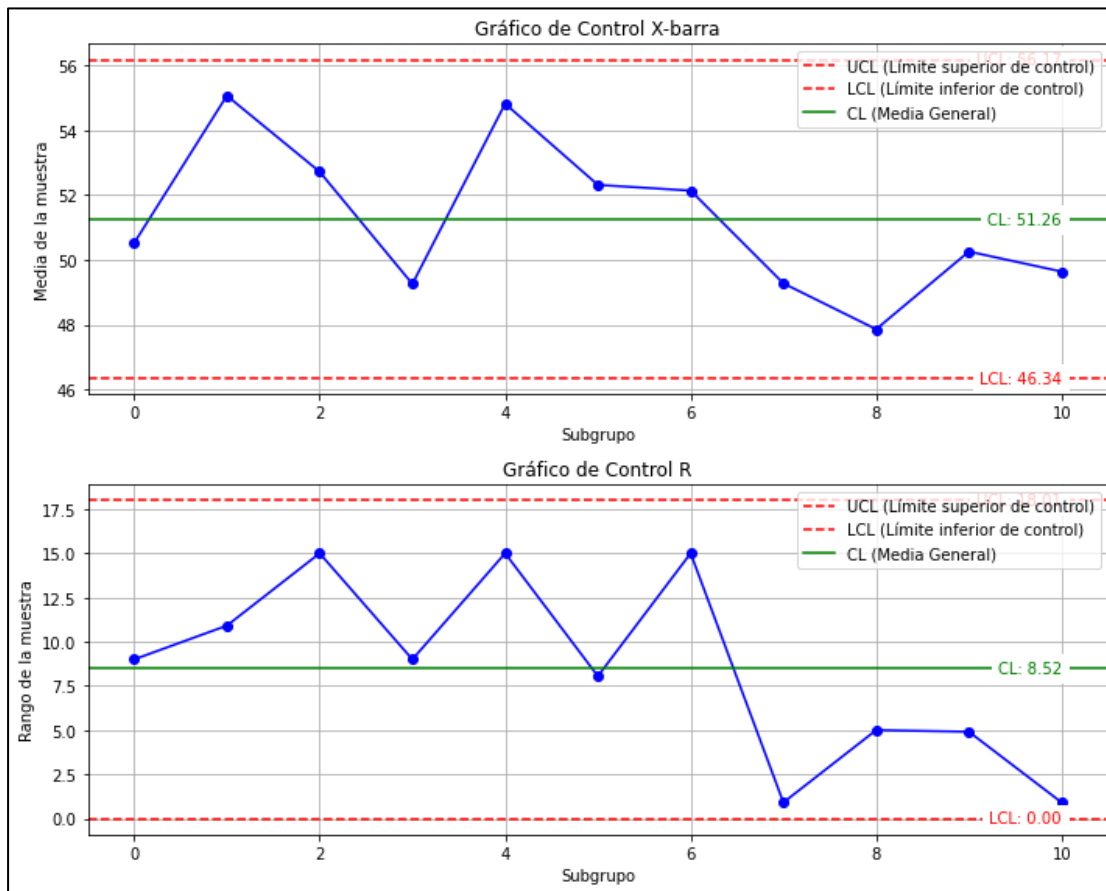


Nota. La imagen muestra los resultados de control X-R proceso de bobinado AT

Se puede observar que el tiempo promedio en minutos en el proceso de bobinado de alta tensión es de 53.25 minutos por bobina. Además, los datos se encuentran dentro de los límites de control, lo que indica que el proceso está bajo control.

Figura 2.19.

Gráficas de control X-R proceso de bobinado BT



Nota. La imagen muestra los resultados de control X-R proceso de bobinado BT

Se puede observar que el tiempo promedio en minutos en el proceso de bobinado de alta tensión es de 51.26 minutos por bobina. Además, los datos se encuentran dentro de los límites de control, lo que indica que el proceso está bajo control.

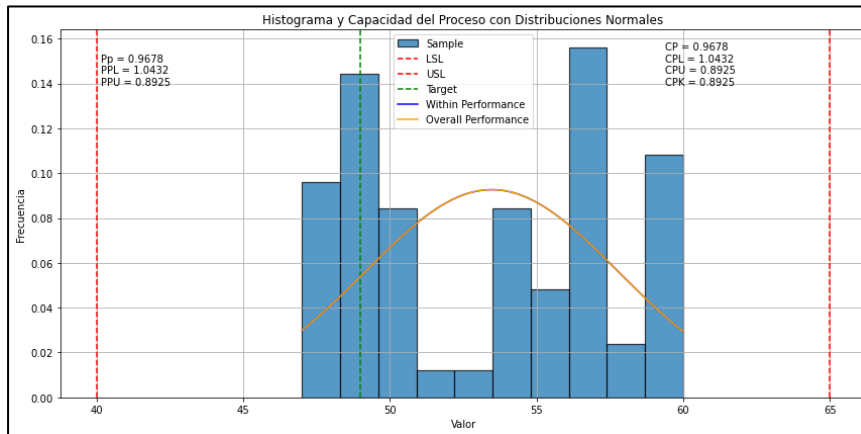
Se realizó el análisis de capacidad en los procesos de bobinado de baja tensión (Figura 2.21.) y alta tensión (Figura 2.20.) para evidenciar la variabilidad de los mismos y verificar si son capaces de cumplir de manera consistente con las especificaciones establecidas. Se utilizó el CPK para determinar si se rechaza o no la hipótesis nula sobre la capacidad del proceso.

H_0 : El proceso es capaz de cumplir con las especificaciones establecidas.

H_1 : El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones establecidas.

Figura 2.20.

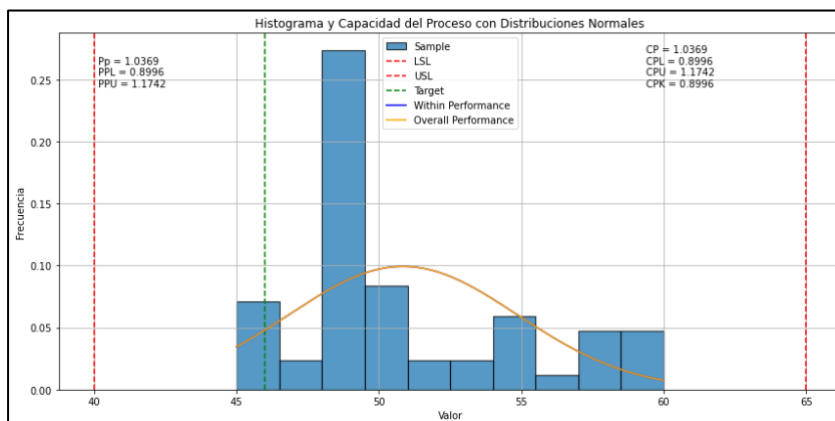
Análisis de capacidad proceso de AT



Nota. El histograma muestra la distribución de los tiempos de bobinado de alta tensión y la frecuencia de los datos dentro de un intervalo en específico.

Figura 2.21.

Análisis de capacidad proceso de BT



Nota. El histograma muestra la distribución de los tiempos de bobinado de baja tensión y la frecuencia de los datos dentro de un intervalo en específico.

Como se puede evidenciar, tanto en el proceso de bobinado de alta tensión como en el proceso de bobinado de baja tensión, ambos presentan un $CPK < 1$, lo cual indica que la variabilidad del proceso es alta. Por lo tanto, los procesos no son capaces de cumplir con las especificaciones establecidas.

2.3. Análisis

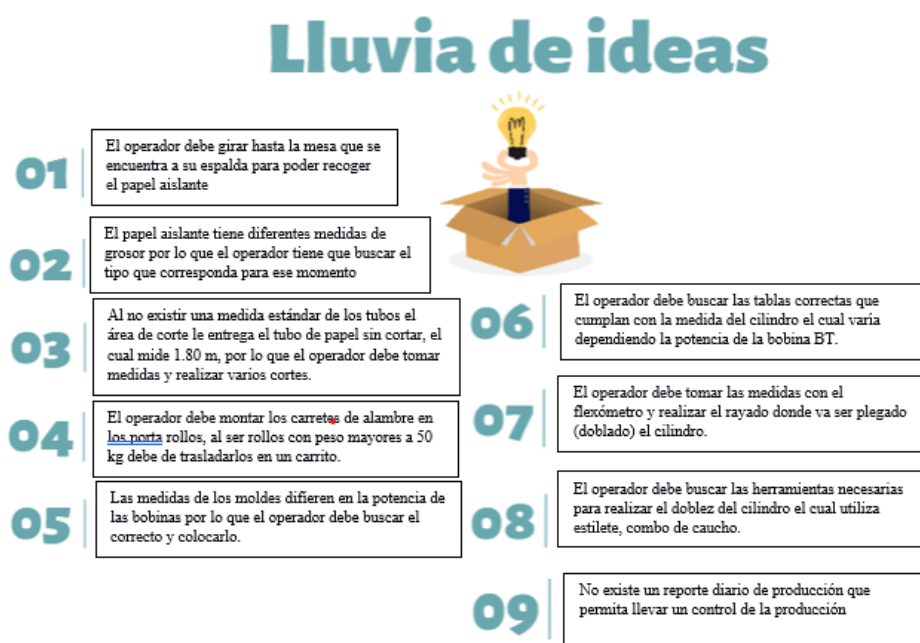
En esta etapa se pretende analizar los datos para poder identificar las causas raíz de la variabilidad y los diferentes problemas que se presentan en el proceso.

2.3.1. Lluvia de ideas

Se realizó mediante un grupo multidisciplinario de 5 personas, compuesto por el jefe de mejora continua, el supervisor, los operadores de las máquinas y el coordinador de producción. Cada uno aportó posibles causas que pueden afectar directamente a la variable de respuesta, como se puede observar en la Figura 2.22.

Figura 2.22.

Lluvia de ideas

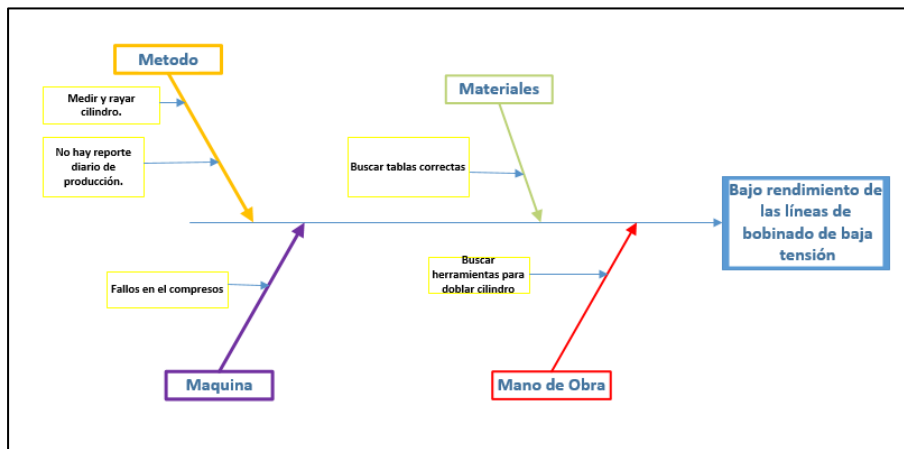


Nota. La imagen muestra el esquema de lluvia de ideas en base a causas

Se identificaron 9 ideas, que se clasificaron como principales. A continuación, se elaboró el diagrama de Ishikawa para clasificar las causas principales. Se desarrolló un diagrama específico para cada proceso de bobinado, como se ilustra en la Figura 24, que representa el proceso de bobinado de baja tensión, y en la Figura 25, que muestra el proceso de bobinado de alta tensión

Figura 2.23.

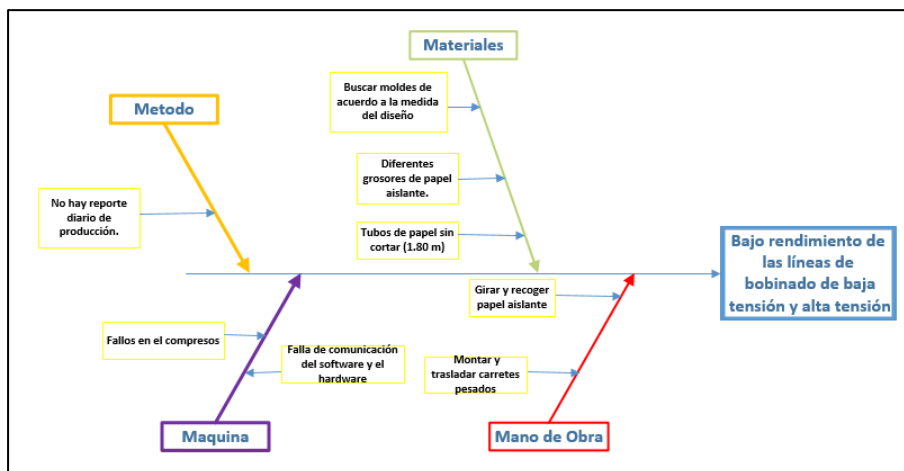
Diagrama de Ishikawa. Bajo rendimiento de las líneas de bobinado de Baja tensión



Nota. La imagen muestra el diagrama de Ishikawa sobre líneas de bobinado de B.T.

Figura 2.24.

Diagrama de Ishikawa. Bajo rendimiento de las líneas de bobinado de Alta tensión



Nota. La imagen muestra el diagrama de Ishikawa sobre líneas de bobinado de A.T.

2.3.2. Matriz causa-efecto

Para esta parte se elaboró la matriz causa-efecto como se muestra en la Figura 2.25. la cual se trabajó en conjunto con el coordinador de producción, el operador de Digmotor, el operador de Erasan y el supervisor. Se midieron las causas con un valor de 0, que indica que no influyen; 3, que indica una influencia media; y 6, que indica una alta influencia, se realizó

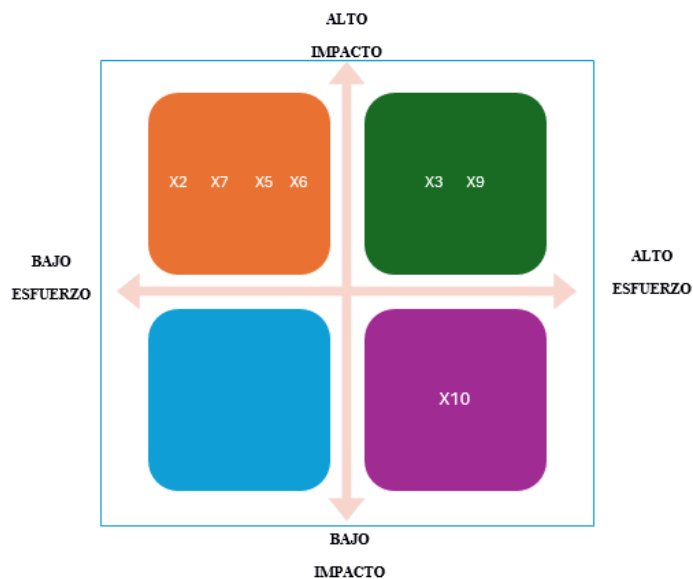
una matriz de ponderación de causas para el proceso de bobinado de baja tensión (Tabla 2.3.) y para el proceso de bobinado de alta tensión (Tabla 2.4.).

Tabla 2.3.

Ponderación de Causas proceso de bobinado de Alta tensión

X	Causas	Coordinador de producción	Operador de bobinado	Operador de bobinado	Supervisor	
1	Medir y rayar cilindro	3	6	3	3	3
2	No hay reporte diario	6	6	6	6	6
6	Buscar tabla correcta	6	6	6	6	6
9	Buscar herramientas y tomar medidas de cilindro	3	6	6	6	6
10	Falla del compresor	0	6	3	6	6
3	Buscar y colocar molde de acuerdo a la potencia	6	6	6	6	6
4	Diferentes grosores de papel aislante	3	0	3	3	3
5	Tubos de papel sin cortar	6	6	6	6	6
7	Girar y recoger papel aislante	6	6	6	6	6
8	Montar y trasladar carretes de alambre	0	6	3	3	3
10	Falla del compresor	0	6	3	6	6

Nota. La tabla muestra Ponderación de Causas proceso de bobinado de Alta tensión

Figura 2.25.*Matriz Causa - Efecto*

Nota. La imagen muestra la matriz causa - efecto

Las causas que se seleccionaron fueron las que se ubican en la matriz en la parte de mayor impacto y menor esfuerzo:

Proceso de bobinado baja tensión

X2: No hay reporte diario

X6: Buscar tablas para el cilindro

X9: Buscar herramientas

Proceso de bobinado Alta tensión

X2: No hay reporte diario

X7: Girar y recoger papel aislante

X5: Tubos de papel sin cortar

También se consideró X3 Buscar y colocar molde como causa potencial.

2.3.3. Plan de verificación de causas

Una vez que se obtuvieron las causas potenciales, se realizó un plan de verificación donde se detalla el impacto que tiene sobre la variable de respuesta y cómo serán verificadas las causas potenciales como se puede observar en la Tabla 2.5.

Tabla 2.4.

Tabla de Verificación

X	Causas	Quién Recolector de data	Dónde Fuente de data	Cuando Fecha de recolección	Cómo Método de obs.	Impacto a la variable de respuesta	¿Verificado?
2	No hay reporte diario	Líder del proyecto	Línea de bobinado de alta y baja tensión	Julio 2024	Estadística inferencial – Se realizo una toma de tiempo de 5 muestras con reporte y sin reporte	La usencia de reporte de producción incrementa la variabilidad y el tiempo promedio de la variable de respuesta	si
3	Buscar y colocar molde	Líder del proyecto	Línea de bobinado de alta tensión	Julio 2024	Gemba - Se realiza una toma de tiempo de 5 muestras desde que inicia a buscar el molde hasta que lo ubica dentro de la bobina	Si Existen tiempos por búsqueda de molde, se incrementa en el tiempo de la variable de respuesta	si
5	Tubos de papel sin cortar	Líder del proyecto	Línea de bobinado de alta tensión	Julio 2024	Gemba - Se realiza una toma de tiempo de 5 muestras desde que agarra el tubo de papel hasta el último corte	Se realiza el corte de los tubos durante el proceso de bobinado, se incrementa el tiempo total de la variable de respuesta	si
6	Buscar tablas	Líder del proyecto	Línea de bobinado de baja tensión	Julio 2024	Gemba - Se realiza 5 muestras del tiempo que le toma buscar las tablas de madera.	Si Existen tiempos por búsqueda de tablas, se incrementa en el tiempo de la variable de respuesta	si

7	Girar y recoger papel aislante	Líder del proyecto	Línea de bobinado de alta tensión	Julio 2024	Gemba - Se realiza una toma de tiempo de 4 muestras del tiempo que lo toma girar y recoger el papel aislante.	Recoge el papel aislante durante el proceso de bobinado, se incrementa el tiempo total de la variable de respuesta	si
9	Buscar herramientas	Líder del proyecto	Línea de bobinado de baja tensión	Julio 2024	Gemba - Se realiza 5 muestras del tiempo que le toma buscar las herramientas	Si Existen tiempos por búsqueda de tablas, se incrementa en el tiempo de la variable de respuesta	si

Nota. La tabla representa el impacto que tiene sobre la variable de respuesta

2.3.3.1. No hay reportes diarios.

Mediante análisis estadístico inferencial, se verificó que los reportes diarios de producción representan un impacto significativo en la variable de respuesta.

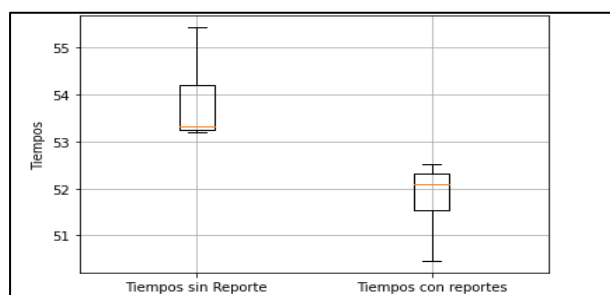
Se realiza la siguiente hipótesis:

H0: La implementación de reportes tienen un efecto significativo en los tiempos de los procesos de bobinado.

H1: No hay suficiente evidencia para concluir que la implementación de reportes afecta significativamente los tiempos de los procesos de bobinado.

Figura 2.26.

Gráfico de cajas proceso de bobinado de Baja tensión (min)

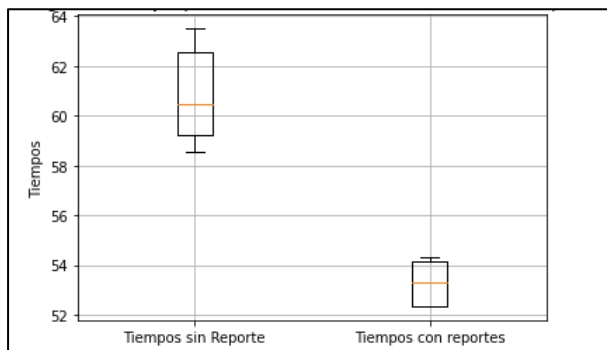


Nota. El gráfico muestra la diferencia en los tiempos del proceso de bobinado

Como el valor-p es $0.0061 < 0.05$, existe evidencia estadística para no rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, la implementación de reportes tiene un efecto significativo en los tiempos de los procesos de bobinado.

Figura 2.27.

Gráfico de cajas proceso de bobinado de alta tensión (min)



Nota. El gráfico muestra la diferencia en los tiempos del proceso de bobinado de alta tensión cuando se han implementado controles mediante reportes diarios.

Como el valor-p es $0.01 < 0.05$, existe evidencia estadística para no rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, la implementación de reportes tiene un efecto significativo en los tiempos de los procesos de bobinado.

Figura 2.28.

Tiempos con y sin reporte, proceso de bobinado de Baja tensión

Proceso de bobinado de Baja tension		
N	Tiempos con reporte(min)	Tiempos sin reportes (min)
1	48.54	55.43
2	49.46	54.33
3	52.53	52.19
4	52.09	55.2
5	52.32	55.26

Nota. El gráfico muestra tiempos con y sin reporte de bobinado B.T.

Figura 2.29.

Tiempos con y sin reporte, proceso de bobinado de Alta tensión

Proceso de bobinado de Alta tension		
N	Tiempos con reporte(min)	Tiempos sin reportes (min)
1	54.32	58.53
2	54.14	59.23
3	48.08	60.45
4	53.28	63.50
5	52.34	62.56

Nota. El gráfico muestra tiempos con y sin reporte de bobinado A.T.

Se realizó una toma de tiempo de 5 muestras para el proceso de bobinado de baja tensión (Figura 2.28.) y alta tensión (Figura 2.29.), tanto con reportes como sin reportes. Al analizar los datos, se observó que la implementación de reportes tuvo un efecto significativo. En el proceso de bobinado de baja tensión, el tiempo de bobinado se redujo en 2.10 minutos. De manera similar, en el proceso de bobinado de alta tensión, el tiempo se redujo en 8.10 minutos.

2.3.3.2. Buscar y colocar molde.

Se realizó una toma de tiempos de 5 muestras del tiempo que le toma al operador buscar el molde con la medida y el tiempo que le toma ingresar el molde en la bobina.

Figura 2.30.

Muestras de tiempo de buscar y colocar molde

Actividades	N1	N2	N3	N4	N5	PROMEDIO	
COLOCAR EL MOLDE EN LA BOBINA		1.59	1.67	1.48	2.00	2.01	1.75
BUSCAR MOLDES		1.12	1.42	1.98	1.33	1.40	1.45

Nota. El gráfico muestra tiempos de búsqueda y colocación

Se puede evidenciar mediante Gemba que el operador destina en promedio 1.45 min colocando el molde y 1.75 min buscando el molde correcto causando incremento el tiempo de la variable de respuesta.

Figura 2.31.*Buscar y colocar molde*

Nota. La imagen muestra donde se almacena los moldes y la actividad de colocar el molde dentro de la bobina de baja tensión.

2.3.3.3. Tubos de papel sin cortar.

La Actividad de cortar y medir tubo de papel es una de las activas que no agregan valor que más tiempo toma en el proceso de bobinado de alta tensión, el cual representa el 36% del tiempo de la actividad que no generan valor. Se realizó una muestra de n=5 del tiempo que le toma durante todo el proceso esta actividad.

Figura 2.32.*Muestra de medir y cortar tubo de papel*

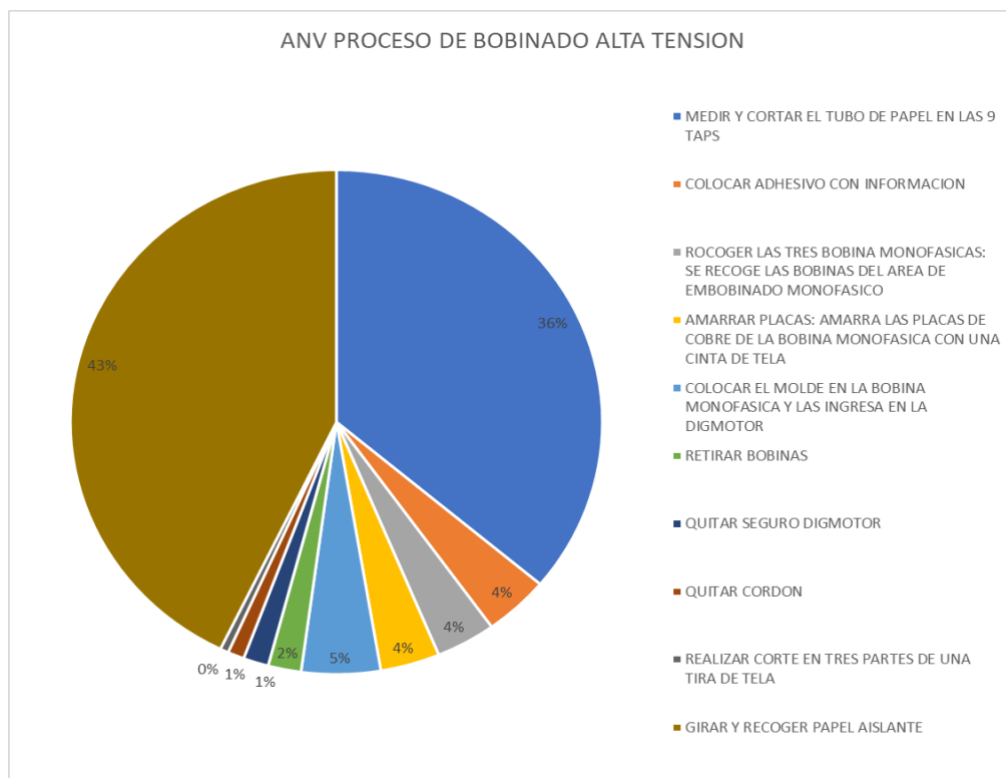
Actividades	N1	N2	N3	N4	N5	PROMEDIO
MEDIR Y CORTAR EL TUBO DE PAPEL	6.45	6.43	5.58	6.50	6.66	6.32

Nota. La imagen expone la muestra de medida y corte de papel

Se corroboró mediante Gemba que el tiempo que toma la actividad cortar y medir el tubo de papel al operador le toma en promedio 6.31 min.

Figura 2.33.*Cortar y medir tubos de papel*

Nota. La imagen muestra el proceso de corte del tubo el cual consta de tres pasos cortar, medir y luego cortar.

Figura 2.34.*Pie chart NAV proceso de bobinado alta tensión*

Nota. El gráfico muestra que la actividad Medir y cortar tubo de papel es una de las actividades que no agregan valor que más tiempo le quita al operador.

2.3.3.4. Buscar tablas.

Una de las principales causas del proceso de bobinado de baja tensión es buscar tablas con las medidas correctas para el cilindro. Se realizó una toma de tiempo de 5 muestras (Figura 2.35.)

Figura 2.35.

Muestra de buscar tablas

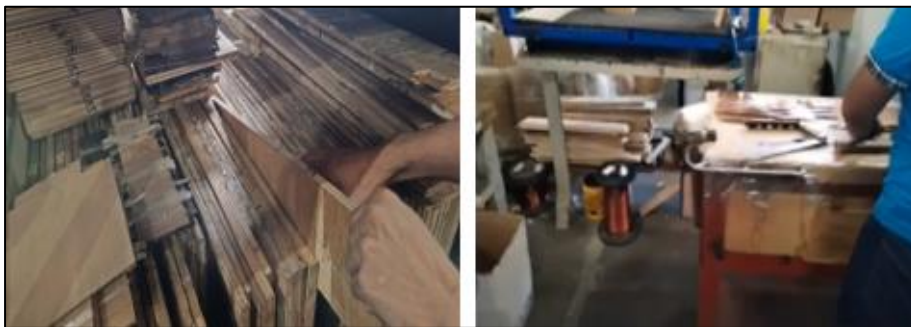
Actividades	N1	N2	N3	N4	N5	PROMEDIO
BUSCAR TABLAS DE MADERA	5.78	4.83	5.65	5.99	5.19	5.49

Nota. El gráfico expone la muestra de búsqueda de tablas

Se puede evidenciar por Gemba que al operador se toma en promedio 5.49 min buscando las tablas correctas.

Figura 2.36.

Buscar tablas de madera



Nota. La imagen muestra el desorden que existe en el área de bobinado de baja tensión Erasan.

2.3.3.5. Buscar herramientas y tomar medidas de cilindro.

Se evidenció otra causa mediante Gemba en el proceso de bobinado de baja tensión, es que el operador le toma muchos minutos, en promedio 3 min buscando las herramientas y realizando las mediciones del cilindro como se muestra en la Figura 2.37.

Figura 2.37.

Tomar medidas del cilindro



Nota. La imagen muestra al operador realizando medidas en el cilindro de cartón para realizar el proceso de bobinado de baja tensión.

2.3.3.6. Girar y recoger papel aislante.

La actividad de girar y recoger papel aislante es una de las activas que no agregan valor que más tiempo toma en el proceso de bobinado de alta tensión, el cual representa el 43% del tiempo de la actividad que no generan valor. Se realizó una toma de tiempo de 4 muestras y se corroboró mediante Gemba el tiempo promedio que toma la actividad el cual representa 7.81 min.

Figura 2.38.

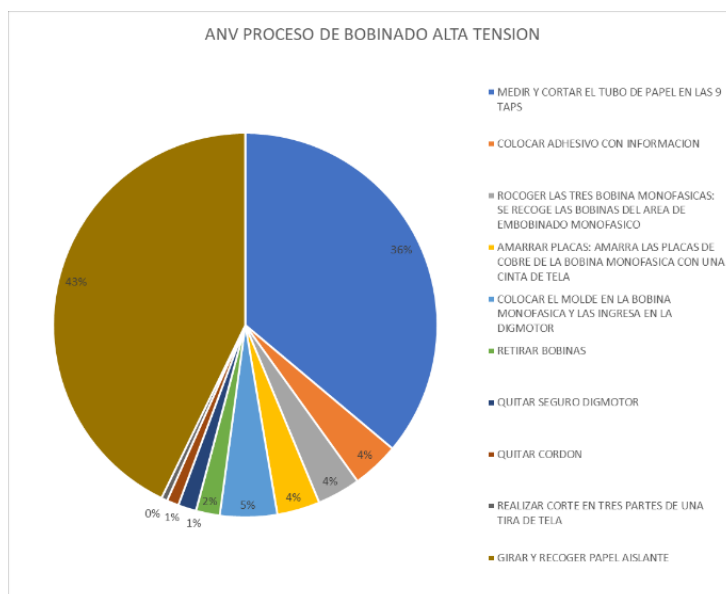
Muestra de girar y recoger papel aislante

Actividades	N1	N2	N3	N4	PROMEDIO
GIRAR Y RECOGER PAPEL AISLANTE	7.98	8.00	8.27	7.00	7.81

Nota. La imagen expone la muestra de girar y recoger papel aislante

Figura 2.39.*Girar y recoger papel aislante*

Nota. La imagen muestra al operador realizando medidas en el cilindro de cartón para realizar el proceso de bobinado de baja tensión.

Figura 2.40.*Pie chart NAV proceso de bobinado alta tensión*

Nota. El gráfico muestra que la actividad Girar y recoger papel aislante es la actividad que no agrega valor que más tiempo le quita al operador.

2.3.4. Análisis de los 5 por qué

Luego de realizar la verificación de las causas, se procedió a realizar los 5 por qué para conocer las causas raíces de las 6 posibles causas.

Análisis de los 5 por qué proceso de bobinado de alta tensión:

Tabla 2.5.

Análisis de ¿5 por qué? no hay reporte diario

Cause	Why 1		Why 2		Why 3	Why 4
No hay reporte diario de producción.	¿Por qué no hay reporte diario de producción?	OK	¿Por qué no se ha implementado un sistema de registro diario?	OK	¿Por qué no se ha determinado la capacidad real de las líneas?	¿Por qué se desconoce de los tiempos estándar de producción de los procesos de bobinado tanto de baja y alta tensión?
	Porque no se ha implementado un sistema de registro diario.		Porque no se ha determinado la capacidad real de las líneas		Porque se desconoce los tiempos estándar de producción de los procesos de bobinado tanto de baja y alta tensión	<u>No se ha realizado un estudio de tiempo de los procesos de bobinado de baja y alta tensión</u>

Nota. La tabla muestra el análisis de ¿5 por qué? no hay reporte diario

Tabla 2.6.*Análisis de ¿5 por qué? Búsqueda de colocación de molde*

Cause	Why 1		Why 2		Why 3
El tiempo del proceso de bobinado de alta tensión se incrementa debido a la búsqueda y colocación de moldes	¿Por qué el proceso de bobinado de alta tensión se demora debido a la búsqueda y colocación de moldes?	OK	¿Por qué el operador debe encontrar y ajustar manualmente el molde de madera antes de iniciar el bobinado?	OK	¿Por qué el diseño actual de la máquina bobinadora (Digmotor) requiere el uso de moldes de madera para el proceso de bobinado?
	Porque el operador debe encontrar y ajustar manualmente el molde de madera antes de iniciar el bobinado.		Porque el diseño actual de la máquina bobinadora (Digmotor) requiere el uso de moldes de madera para el proceso de bobinado.		<u>Porque no se ha implementado un eje expandible, que podría eliminar la necesidad de moldes de madera.</u>

Nota. La tabla muestra el análisis de ¿5 por qué? búsqueda de colocación de molde

Tabla 2.7.*Análisis de ¿5 por qué? Cortar tubos de papel*

Cause	Why 1		Why 2		Why 3
El tiempo del proceso de bobinado de alta tensión se incrementa porque el operador debe cortar el tubo de papel manualmente	¿Por qué el operador debe cortar el tubo de papel manualmente?	OK	¿Por qué los tubos de papel no vienen precortados en las medidas necesarias para cada salida?	OK	¿Por qué no se ha establecido una medida estándar para los tubos de papel utilizados en el proceso de bobinado de alta tensión?
	Porque los tubos de papel no vienen precortados en las medidas necesarias para cada salida.		Porque no se ha establecido una medida estándar para los tubos de papel utilizados en el proceso de bobinado de alta tensión.		<u>Porque no se ha realizado un análisis detallado de las dimensiones óptimas necesarias para el proceso de bobinado de alta tensión.</u>

Nota. La tabla muestra el análisis de ¿5 por qué? cortar tubos de papel

Tabla 2.8.

Análisis de ¿5 por qué? Girar y recoger el papel aislante

Cause	Why 1		Why 2		Why 3
El tiempo del proceso de bobinado de alta tensión se incrementa debido al tiempo que le toma al operador en girar y recoger el papel aislante	¿Por qué le toma tiempo al operador girar y recoger el papel aislante?	OK	¿Por qué el operador debe realizar el mismo movimiento de forma repetitiva para girar y recoger el papel aislante durante el bobinado?	OK	¿Por qué no hay un sistema adecuado que facilite la disposición del papel aislante al alcance de las manos del operador?
	Porque el operador debe realizar el mismo movimiento de forma repetitiva para girar y recoger el papel aislante durante el bobinado.		Porque no hay un sistema adecuado que facilite la disposición del papel aislante al alcance de las manos del operador.		<u>Porque no se ha diseñado una base o estructura que mantenga el papel aislante a una altura y posición ergonómica para el operador.</u>

Nota. La tabla muestra el análisis de ¿5 por qué? girar y recoger el papel aislante

2.3.4.1. Análisis de los 5 por qué proceso de bobinado de baja tensión.

Tabla 2.9.

Análisis de ¿5 por qué? Buscar tablas de madera

Cause	Why 1		Why 2		Why 3
El Tiempo del proceso de bobinado de baja tensión se incrementa debido al tiempo para buscar tablas de madera.	¿Por qué el operador debe buscar tablas de madera?	OK	¿Por qué el operador debe encontrar y seleccionar las tablas de madera con las medidas adecuadas antes de colocarlas en el eje expandible?	OK	¿Por qué las tablas de madera no están organizadas ni identificadas claramente en el área de trabajo?
	Porque el operador debe encontrar y seleccionar las tablas de madera con las medidas adecuadas antes de colocarlas en el eje expandible.		Porque las tablas de madera no están organizadas ni identificadas claramente en el área de trabajo.		<u>Porque no se ha implementado un sistema de organización para las tablas de madera.</u>

Nota. La tabla muestra el análisis de ¿5 por qué? buscar tablas de madera

Tabla 2.10.

Análisis de ¿5 por qué? Buscar tablas de madera

Cause	Why 1		Why 2		Why 3
El tiempo del proceso de bobinado de baja tensión se incrementa debido al tiempo para buscar herramientas.	¿Por qué el tiempo del proceso de bobinado de baja tensión se incrementa debido al tiempo empleado para buscar herramientas? Porque a los operadores se les dificulta encontrar rápidamente las herramientas que necesitan para realizar el proceso bobinado y de medición de los cilindros.	OK	¿Porque a los operadores se les dificulta encontrar rápidamente las herramientas que necesitan para realizar el proceso bobinado y de medición de los cilindros? Porque las herramientas no están organizadas ni etiquetadas adecuadamente en el área de trabajo.	OK	¿Por qué las herramientas no están organizadas ni etiquetadas adecuadamente en el área de trabajo? <u>Porque no se ha implementado un sistema de organización específico para las herramientas utilizadas en el proceso de bobinado de baja tensión.</u>

Nota. La tabla muestra el análisis de ¿5 por qué? buscar tablas de madera

Como resultado del análisis del 5 por qué se obtuvieron las 6 causas raíces que pasaron a la etapa de mejora.

Tabla 2.11.*Tabla de causas raíces*

Causa Potencial	Causa Raíz	Posibles soluciones
No hay reporte diario de producción	No se ha realizado un estudio de tiempo de los procesos de bobinado de baja y alta tensión.	Realizar estudio de tiempos y determinar la capacidad estándar de las líneas.
Búsqueda y colocación de moldes	No se ha implementado un eje expandible, que podría eliminar la necesidad de moldes de madera	Diseñar con ayuda del departamento de diseño y fabricar un eje expandible.
Cortar tubos de papel	No se ha realizado un análisis detallado de las dimensiones óptimas necesarias para el proceso de bobinado de alta tensión.	Determinar las medidas estándar de los tubos cortados.
Girar y recoger el papel aislante	No se ha diseñado una base o estructura que mantenga el papel aislante a una altura y posición ergonómica para el operador.	Realizar una estructura ergonómica para facilitar el agarre de los papeles aislantes.
Buscar tablas de madera	No se ha implementado un sistema de organización para las tablas de madera.	Realizar una mesa que ayude a organizar las tablas de madera.

Buscar herramientas	No se ha Implementado un sistema de organización específico para las herramientas utilizadas en el proceso de bobinado de baja tensión.	Realizar una mesa que ayude a organizar las herramientas. Crear Formato de orden y limpieza.
---------------------	---	---

Nota. La tabla muestra el análisis de causas raíces

2.4. Mejora

Para la etapa de mejora, se llevó a cabo una lluvia de ideas para identificar posibles soluciones, las cuales fueron posteriormente ponderadas. Una vez determinadas las soluciones viables, se realizó un análisis financiero para cada una cómo se puede observar en la figura 41, considerando los costos de instalación, el costo de la mano de obra considerando el día \$30 por operador y el costo de los materiales.

2.4.1. Análisis de soluciones propuestas

Solución para la falta de reporte diario de producción:

- **Explicación:** La falta de un informe diario de producción se puede solucionar mediante un análisis de tiempos de los procesos de bobinado de baja y alta tensión. Al descubrir la capacidad estándar de las líneas, este estudio mejorará la consistencia y precisión de los reportes de producción.
- **Modelado:** Se incluirán gráficos que muestren el rendimiento de las líneas, a partir de este estudio y se colocarán en el área para que los operadores puedan observar su rendimiento.
- **Evaluación:** La implementación de KPIs de rendimiento, como el OEE (Overall Equipment Effectiveness), se considera una alternativa.

- **Retroalimentación del Cliente:** Según los gerentes y operadores, un reporte diario mejorado no solo facilitará la planificación y la toma de decisiones, sino que también brindará una comprensión clara de cuánto debe producir cada línea, lo que mejorará el control de la producción.

Solución para la Búsqueda y Colocación de Moldes:

- **Explicación:** La implementación de un eje expandible en lugar de moldes de madera permitirá la colocación de las bobinas con más rapidez y eliminará el tiempo de búsqueda y colocación de moldes. Esto reducirá el tiempo perdido en la manipulación de moldes y mejorará la fluidez del proceso de bobinado.
- **Modelado:** Se proporcionarán dibujos técnicos y diagramas del diseño del eje expandible para ilustrar su funcionalidad y ventajas.
- **Evaluación:** Aunque se consideraron otras soluciones como el uso de moldes metálicos estándar, el eje expandible fue seleccionado por su flexibilidad y capacidad de adaptación a diferentes tamaños de bobinas.
- **Retroalimentación del Cliente:** Los operadores han expresado que el eje expandible simplificará su trabajo y reducirá por completo el tiempo utilizado en buscar y colocar los moldes, mejorando el tiempo de producción.

Solución para Cortar Tubos de Papel:

- **Explicación:** Determinar las dimensiones estándar óptimas para los tubos cortados es crucial para el proceso de bobinado de alta tensión. Establecer medidas estándar reducirá el margen de error y mejorará la eficiencia del proceso.
- **Modelado:** Se incluirán una ayuda visual que muestran las dimensiones estándar recomendadas.

- **Evaluación:** Se concluyó que el operador no debe realizar ese trabajo si no el área de papel y establecer dimensiones estándar proporcionará una solución más consistente y replicable.
- **Retroalimentación del Cliente:** Los operadores han indicado que al no tener que realizar dicha actividad, su rendimiento mejoraría y el tiempo de producción disminuiría. Por otro lado, en el área de corte de papel, se indica que, al tener dimensiones estándar, se reducirá el tiempo en cortar y medir los tubos de papel.

Solución para Manejo del Papel Aislante:

- **Explicación:** Diseñar una estructura ergonómica para mantener el papel aislante a una altura y posición adecuadas facilitará el manejo del material por parte de los operadores.
- **Modelado:** Se presentarán bocetos y esquemas de la estructura ergonómica propuesta para ilustrar su diseño y beneficios.
- **Evaluación:** Se consideraron otras soluciones como ajustar el área de trabajo o distribuir de forma diferente el área, pero se optó por una estructura ergonómica debido a su impacto directo en la reducción de esfuerzos físicos y la mejora en la accesibilidad del material.
- **Retroalimentación del Cliente:** Los operadores han afirmado que una estructura ergonómica mejorará su comodidad y reducirá el tiempo necesario para manejar el papel aislante.

Solución para Organización de Tablas de Madera:

- **Explicación:** Implementar una mesa organizadora para las tablas de madera facilitará su almacenamiento y acceso, lo que reducirá el tiempo dedicado a buscar y manipular las tablas.

- **Modelado:** Se incluirán etiquetas el cual mostrará el rango de las medidas de la madera, la mesa estará seccionada con capacidad para almacenar y organizar las tablas de manera eficiente.
- **Evaluación:** Se consideraron opciones como estantes móviles, pero se eligió la mesa organizadora por su capacidad de ofrecer una solución integral para la organización de las tablas.
- **Retroalimentación del Cliente:** Los operadores han indicado que una mesa organizadora hará que el área de trabajo sea más ordenada y accesible.

Solución para Organización de Herramientas:

- **Explicación:** Diseñar una mesa específica para la organización de herramientas ayudará a mantener las herramientas necesarias para el proceso de bobinado de baja tensión de manera ordenada y accesible.
- **Modelado:** Se presentarán etiquetas con los nombres de cada herramienta, se diagramará las herramientas en la mesa para tener un orden, destacando su capacidad para organizar y almacenar eficientemente.
- **Evaluación:** Aunque se evaluaron opciones como cajas de herramientas, la mesa de organización se eligió por su capacidad de proporcionar un espacio dedicado y bien organizado para todas las herramientas.
- **Retroalimentación del Cliente:** Los operadores han señalado que una mesa de herramientas organizada simplificará el acceso a las herramientas necesarias y reducirá el tiempo de búsqueda.

Se determinó el impacto, el cual se calificó en una escala de 0 a 6: 0 para soluciones que no influyen, 3 para soluciones de influencia media, y 6 para soluciones de alta influencia. El análisis se realizó con las partes involucradas, compuestas por el coordinador de

producción, el supervisor y los operadores de las líneas, como se observa en la Figura 2.40.

Con los resultados obtenidos, se pudo realizar la matriz de impacto-esfuerzo mostrada en la Figura 2.41.

Figura 2.41.

Análisis de impacto

N	Solucion	Coordinador de producción	Operador de bobinado	Operador de bobinado	Supervisor
1	Realizar estudio de tiempos y determinar la capacidad estándar de las líneas	6	6	6	6
2	Instalar un eje expandible para la Digmotor	6	6	6	6
3	Determinar medidas estándar de los tubos	6	6	6	6
4	Realizar una estructura ergonómica para facilitar el agarre de los papeles aislantes	6	6	6	6
5	Realizar una mesa que ayude a organizar las tablas de madera	6	6	6	6
6	Crear un formato de orden y limpieza	6	6	6	6
7	Realizar una mesa que ayude a organizar la herramientas	3	6	6	6

Nota. El gráfico muestra el análisis de impacto del proceso

Figura 2.42.

Análisis económico

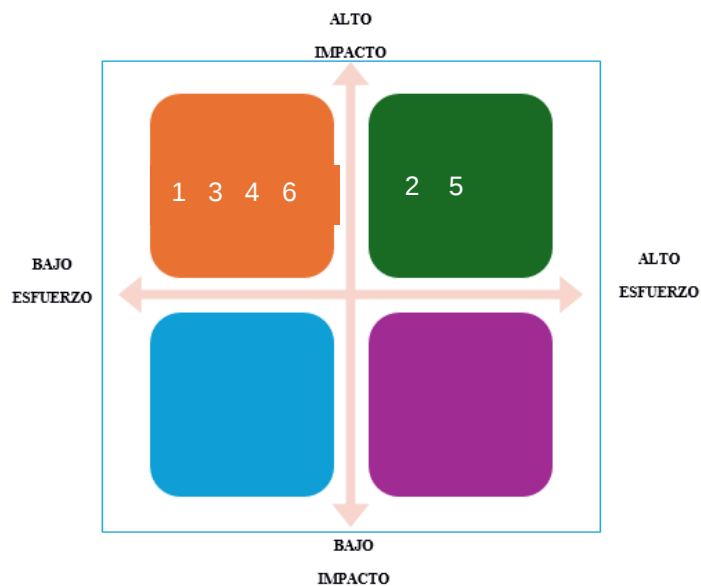
N	Solución	Personal	Días	Costo total mano de obra	Costo Material	Costo total
1	Realizar estudio de tiempos y determinar la capacidad estándar de las líneas.	1	5	\$ 150.00	\$ -	\$ 150.00
2	Instalar un eje expandible para la Digmotor.	7	28	\$ 1,680.00	\$ 8,000.00	\$ 9,680.00
3	Determinar las medidas estándar de los tubos cortados.	1	3	\$ 90.00	\$ -	\$ 90.00
4	Realizar una estructura ergonómica para facilitar el agarre de los papeles aislantes.	5	5	\$ 750.00	\$ 30.00	\$ 780.00
5	Realizar una mesa que ayude a organizar las tablas de madera.	11	6	\$ 1,980.00	\$ 60.00	\$ 2,040.00
6	Realizar una mesa que ayude a organizar las herramientas.	11	6	\$ 1,980.00	\$ 60.00	\$ 2,040.00
7	Crear un formato de orden y limpieza.	1	1	\$ 30.00	\$ 61.00	\$ 91.00

Nota. El gráfico muestra el análisis de análisis económico del proceso

Con el análisis financiero se pudo obtener el costo total de la implementación dando un total de \$14,780.00. Una vez obtenido los el análisis de impacto y el análisis económico se pudo realizar la matriz de impacto – esfuerzo mostrado en la Figura 2.42.

Figura 2.43.

Gráfica de impacto – esfuerzo de las soluciones



Nota. El gráfico muestra el impacto – esfuerzo de las soluciones del proceso

Se seleccionaron las soluciones de alto impacto y también se consideraron las soluciones de alto impacto y alto esfuerzo.

- Realizar estudio de tiempos y determinar la capacidad estándar de las líneas.
- Instalar un eje expandible para la Digmotor.
- Determinar las medidas estándar de los tubos cortados
- Realizar una estructura ergonómica para facilitar el agarre de los papeles aislantes
- Realizar una mesa que ayude a organizar las tablas de madera
- Crear un formato de orden y limpieza
- Realizar una mesa que ayude a organizar las herramientas

Luego de determinar las soluciones se establece un plan de implementación donde se indica los responsables, el costo y la fecha que será realizado. La información se muestra en la siguiente imagen.

Figura 2.44.*Plan de implementación*

Solutions	Activity	Start Date	End Date	Duration	Responsible
Realizar un estudio de tiempos y determinar la capacidad estándar de las líneas.	Gemba - Evaluación del proceso y medición de actividades con un cronómetro digital.	08/21/2024	08/27/2024	5 days	Project Leader
Instalar un eje expandible para la Digmotor.	Diseño mecánico del eje expandible utilizando AutoCAD e Inventor.	07/15/2024	07/22/2024	6 days	Design Manager
	Creación del eje expandible.	07/23/2024	08/16/2024	20 days	Supplier
	Implementación del eje en la línea del Digmotor.	08/19/2024	08/20/2024	2 days	Maintenance
Determinar las medidas estándar para los tubos cortados.	Estandarización de la medida de los tubos de papel con la ayuda del diseño eléctrico de la bobina.	07/30/2024	08/01/2024	3 days	Project Leader
	Establecer la medida estándar de los tubos según la potencia y el ancho del cilindro.	07/08/2024	07/09/2024	2 days	Project Leader
Create an ergonomic structure to facilitate handling of the insulation papers.	Realizar un análisis ergonómico de la estructura del papel aislante.	07/12/2024	07/12/2024	1 day	Project Leader
	Diseño mecánico de la estructura en AutoCAD.	07/15/2024	07/16/2024	1 day	Production
	Desarrollo de la estructura.	07/17/2024	07/17/2024	1 day	Maintenance
	Implementación de la estructura.	07/15/2024	07/19/2024	5 days	Project Leader
Crear una estructura ergonómica para facilitar el manejo de los papeles aislantes.	Realizar un análisis ergonómico para la mesa de herramientas y aplicar las 2S del método 5S.	07/22/2024	07/23/2024	2 days	Project Leader
	Diseño mecánico en AutoCAD para la mesa de herramientas.	07/24/2024	07/26/2024	3 days	Production
	Desarrollo de la estructura.	07/27/2024	07/27/2024	1 day	Maintenance
	Implementación de la estructura.	07/15/2024	07/19/2024	5 days	Project Leader
Construir una mesa para ayudar a organizar las herramientas.	Realizar un análisis ergonómico para la mesa que ayude a organizar la madera.	07/22/2024	07/23/2024	2 days	Project Leader
	Diseño mecánico en AutoCAD.	07/24/2024	07/26/2024	3 days	Production
	Desarrollo de la estructura.	07/27/2024	07/27/2024	1 day	Maintenance
	Implementación de la estructura.	07/15/2024	07/19/2024	5 days	Project Leader

Nota. La imagen muestra detalladamente las fechas que se van a realizar la implementación de cada una de las soluciones y sus responsables.

2.5. Implementación

2.5.1. Realizar una estructura ergonómica para facilitar el agarre de los papeles aislantes

Para realizar la estructura primero se realizó un análisis ergonómico donde se determinó:

- La altura de la estructura: La estructura esta fija y empernada en la línea Digmotor a una altura de 100 cm del suelo. Permitiendo al operador alcanzar el papel sin que gire o se incline.
- Los papeles se encuentran organizados en compartimientos, el cual se encuentran a 30 cm del operador, considerando una postura natural con la espalda recta permitiendo un acceso rápido y natural a los papeles aislantes.

Para la implementación de la mejora, se realizó un diseño en AutoCAD en formato DXF, adecuado para el corte láser.

El proceso de fabricación incluyó los siguientes pasos:

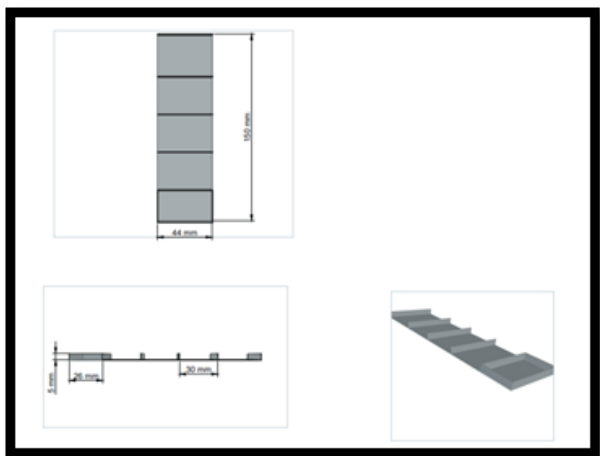
- **Corte de las Piezas:** Las piezas fueron cortadas utilizando una cortadora láser, asegurando precisión y calidad en el corte.
- **Proceso de Soldadura:** Posteriormente, las piezas cortadas fueron ensambladas y soldadas para formar la estructura final.
- **Proceso de pintura:** Por último, la estructura se granallo y se pintó del mismo color de la maquina Digmotor.

La estructura final (Figura 2.43.) cuenta con un compartimiento diseñado específicamente para que el operador pueda organizar sus herramientas y ubicar los papeles aislantes de manera eficiente.

Este diseño no solo facilita el acceso y manejo de los materiales, sino que también optimiza el espacio de trabajo, mejorando la ergonomía y la productividad del operador.

Figura 2.45.

Determinar las medidas estándar de los tubos cortados.



Nota. La imagen muestra la estructura en AutoCAD con sus medidas correspondientes, para clasificar y ordenar el papel aislante.

Con la ayuda del departamento de mantenimiento se realizó la instalación de la estructura en la línea de alta tensión Digmotor como se puede observar en la Figura 2.44.

Figura 2.46.

Antes y después de la implementación de la estructura de papel



Nota. Se muestra un antes y después de la estructura ya instalada en la línea de alta tensión en la máquina Digmotor.

2.5.2. Realizar una mesa que ayude a organizar las tablas de madera y que ayude a organizar las herramientas

Para la elaboración de la mesa de herramientas, se siguieron los principios de las 2S del método 5S: Clasificar (Seiri) y Ordenar (Seiton). En la primera etapa, se clasificaron los materiales en necesarios y no necesarios. Se elaboró una lista de los materiales necesarios y se etiquetaron con una etiqueta roja los que no eran necesarios, colocándolos en cuarentena como se muestra en la Figura 2.45.

Una vez determinadas las herramientas necesarias, se evaluó su frecuencia de uso, elaborando una matriz que clasificaba las herramientas según su frecuencia de uso en baja, media y alta, como se muestra en la Figura 2.46.

Figura 2.47.

Materiales no necesarios línea de baja tensión Erasan

LISTA DE MATERIALES INNECESARIOS AREA DE CUARENTENA						
		Area	ERASAN FOIL 500		Fecha	3/5/2023
N.	Descripción	Cantidad Real	Acción sugerida	Frec promedio de uso	Necesidad	Observación
1	CAJA CLIP REFORZADOS	1	REUBICAR	-	NO	
2	CUCHILLO DENTADO	1	REUBICAR	-	NO	
3	ODADO DE RATCHET 30MM	1	REUBICAR	-	NO	
4	FUNDA DE TORNILLOS 1/4"	1	REUBICAR	-	NO	
5	FUNDA DE TORNILLOS M6	1	REUBICAR	-	NO	
6	GRAPADORA	1	REUBICAR	-	NO	
7	LLAVE MIXTA 15/16"	1	REUBICAR	-	NO	
8	LLAVE MIXTA 7/8"	1	REUBICAR	-	NO	
9	ROLLO DE MANGUERA NEUMATICA	1	REUBICAR	-	NO	
10	SPRAY DE PINTURA	1	REUBICAR	-	NO	
11	TACOS DE MADERA	2	ELIMINAR	-	NO	



Nota. Se muestra en el gráfico los materiales no necesarios línea de baja tensión Erasan

Figura 2.48.

Matriz de frecuencia de herramientas línea de baja tensión Erasan

LISTA DE MATERIALES					
Area ERASAN FOIL 500					
N.	Descripción	Cantidad Real	Acción sugerida	Frec promedio de uso	Necesidad
1	BROCHA	1		MEDIA	SI
2	CALCULADORA	1		ALTA	SI
3	CINTA FINA	4		ALTA	SI
4	CINTA GRUESA	2		ALTA	SI
5	COMBO DE GOMA	1		ALTA	SI
6	ENCENDEDOR DE PIEDRA	1		MEDIA	SI
7	ESCUADRA	1		ALTA	SI
8	ESTILETE	1		ALTA	SI
9	GOMERO	1		ALTA	SI
10	JUEGO LLAVES ALLEN	1		ALTA	SI
11	LLAVE PARA MANDRIL	1		ALTA	SI
12	MARCADOR NEGRO	1		MEDIA	SI
13	MARCADOR ROJO	1		MEDIA	SI
14	MARTILLO DE ACERO	1		ALTA	SI
15	PAR GUANTES PARA SOLDAR	1		MEDIA	SI
16	PLAYO	1			ALTA SI
17	PLAYO DE PRESION	3			ALTA SI
18	RAYADOR DE 170 MM	1			MEDIA SI
19	RAYADOR DE 175 MM	1			MEDIA SI
20	RAYADOR DE 178 MM	1			ALTA SI
21	RAYADOR DE 210 MM	1			MEDIA SI
22	TABLERO PORTAPAPELES	2			ALTA SI
23	TAPONES AUDITIVOS	3			BAJA SI
24	TUERA DE METAL	1			ALTA SI
25	TUERA NEUMATICA	1			ALTA SI
26	TUERA DE PAPEL	1			ALTA SI
27	VARILLA DE SUPLEMENTO MANDRIL	5			MEDIA SI

Nota. Se muestra en el gráfico la matriz de frecuencia de herramientas línea de baja tensión Erasan

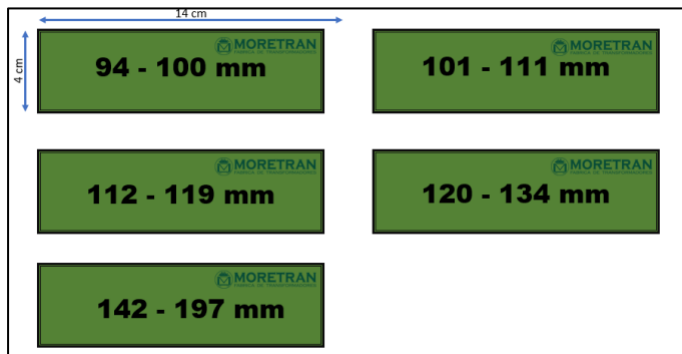
En la etapa de Ordenar, se etiquetaron todas las herramientas y para determinar su ubicación se realizó el corte de la espuma mediante una CNC router para acomodar las herramientas y se diseñó una estructura para colocar la tijera neumática y la llave. Además, se determinaron los rangos de las medidas de las tablas para organizarlas de acuerdo a su tamaño, como se observa en la Figura 2.47. y Figura 2.48.

Medidas de tablas:

- 94 – 100 mm
- 101 – 111 mm
- 112 – 119 mm
- 120 – 134 mm
- 142 – 197 mm

Figura 2.49.

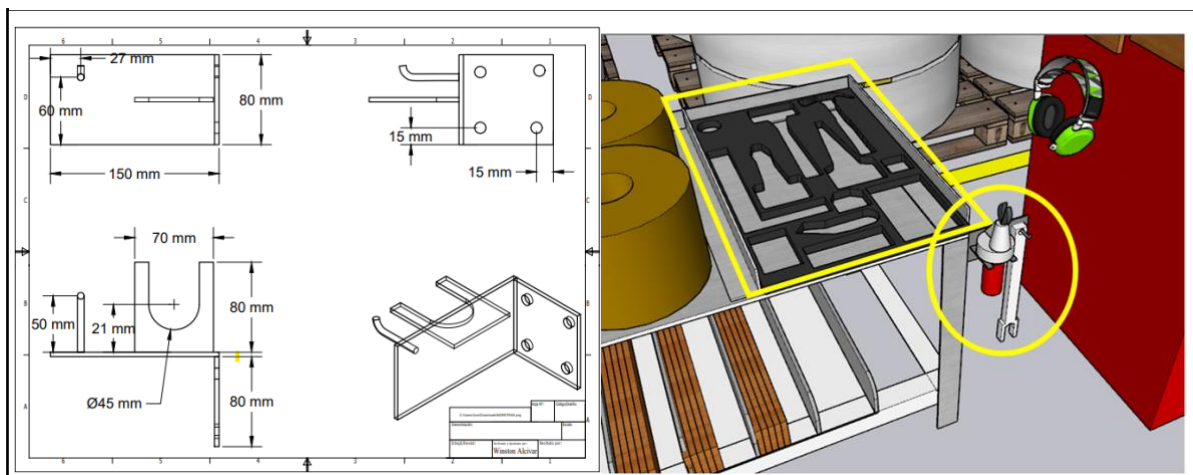
Etiquetas con las medidas de las tablas de madera



Nota. Se muestra en el gráfico la matriz de frecuencia de herramientas línea de baja tensión

Figura 2.50.

Diseño de estructura para tijera semiautomática y llave



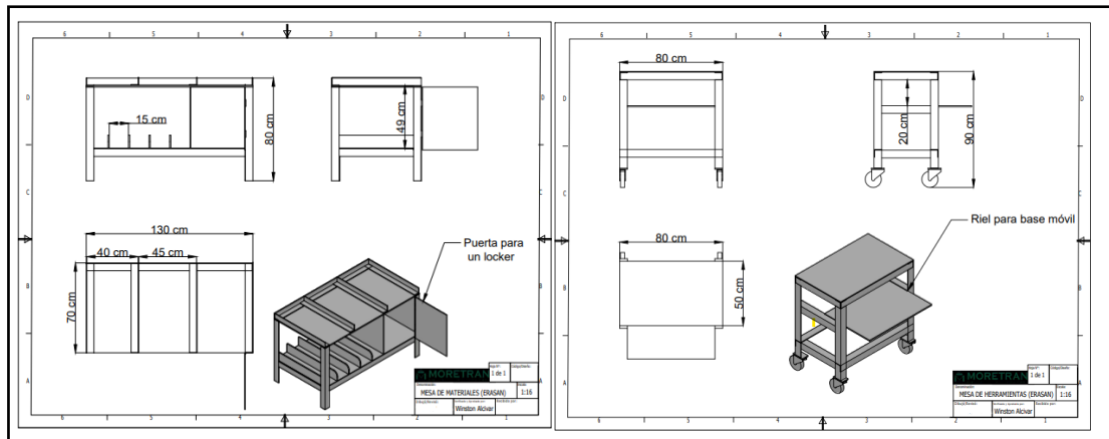
Nota. Se realizó el bosquejo en SketchUp para mostrar cómo quedaría la espuma troquelada junto con el soporte para la tijera semiautomática en la nueva mesa de herramientas.

Para la elaboración de la mesa de herramientas (Figura 2.51.), se realizó un estudio ergonómico y se determinó una altura de 80 cm, ya que, en promedio, la distancia desde el codo hasta el suelo es el 45% de la estatura promedio de las personas en Ecuador, que es de 167 cm. La mesa está ubicada a un lado de la línea de producción, con las herramientas a una distancia de 30 cm del operador para reducir la necesidad de estirarse. Dado que la actividad

requiere movilidad y espacio, se elaboró otra mesa de trabajo que puede moverse con facilidad.

Figura 2.51.

Diseño de mesas para herramientas y de trabajo



Nota. Se realizó el bosquejo de mesas para herramientas y de trabajo

Para la elaboración de la mesa, se realizó el corte de las piezas en la máquina láser XT. Posteriormente, se llevó a cabo el armado y la soldadura. Una vez que se tuvo la estructura completa, esta pasó por el proceso de granallado, escoriado y pintura, como se puede observar en la figura 50, que son las mesas ya terminadas.

Figura 2.52.

Mesa de herramientas y de trabajo finalizadas

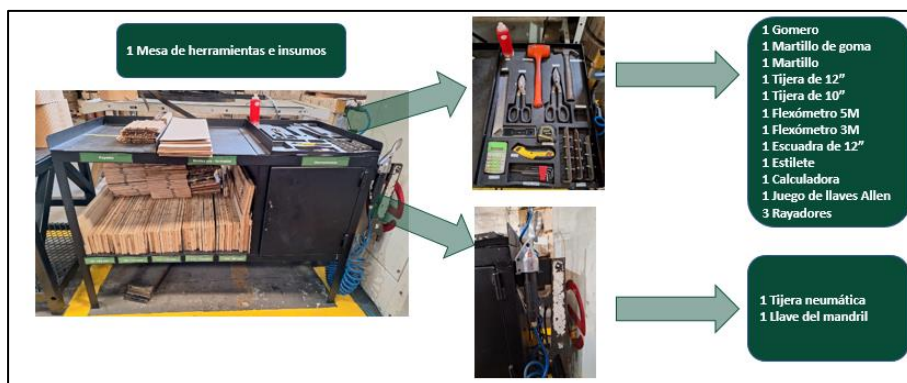


Nota. Se realizó el bosquejo de mesa de herramientas y de trabajo finalizadas

Una vez que se realizó implementación de las mesas con la ayuda del departamento de mantenimiento, se colocaron las etiquetas, la espuma para ubicar las herramientas, la estructura para la tijera neumática (Figura 2.52, y Figura 2.53.) y se delimito el área con líneas amarillas quedando de la siguiente manera como se puede ver en la figura.

Figura 2.53.

Implementación de la mesa de herramientas línea de baja tensión Erasan



Nota. Se muestra la mesa de herramientas con el soporte de la tijera semiautomática y la llave junto con la espuma ya cortada y las herramientas ordenadas.

Figura 2.54.

Implementación de la mesa de herramientas línea de baja tensión Erasan



Nota. Se muestra la mesa de herramientas con las etiquetas para las medidas de las tablas.

Figura 2.55.

Antes y después de la línea de baja tensión Erasan



Nota. Se muestran fotografías del antes y después de la línea de baja tensión Erasan

2.5.3. *Determinar las medidas estándar de los tubos cortados*

Determinar las dimensiones estándar es crucial para mejorar los tiempos de producción y proporcionará una guía para que cualquier operador esté en capacidad de saber a qué medida cortar los tubos.

Se concluyó, además, que el operador de la línea Digmotor no debería realizar dicha actividad; en su lugar, el área de papel debería encargarse de ella. Por ello, es importante crear medidas estándar para los tubos cortados. De esta manera, el operador de la Digmotor, al no tener que realizar dicha actividad, mejoraría su tiempo de producción y su rendimiento.

Por otro lado, en el área de corte de papel, se señala que, al tener las medidas estándar de los cortes del tubo de papel, no tendrían problema en realizarlo, ya que ese era el motivo por el cual no lo hacían anteriormente. Para determinar las medidas estándar de los tubos de papel se realizó lo siguiente:

Revisión de Diseños Eléctricos: Se revisaron los diseños eléctricos para obtener las medidas necesarias.

Cálculo de Altura Promedio: Se calculó la altura promedio de los cilindros a partir del diseño eléctrico.

Adición de Margen: Se añadió un adicional de 60 mm a la altura promedio para garantizar que el tubo se extienda más allá de la bobina.

Creación de la Tabla de Medidas: Con la altura promedio ajustada, se creó la tabla de medidas estándar para su inclusión en las ayudas visuales.

Una vez realizado el estudio de estandarización estos fueron los resultados como se logra ver en la Figura 2.55.

Figura 2.56.

Medidas estándar de los tubos de papel

TUBOS DE PAPEL - BOBINADO DE ALTA TENSION							
DISEÑOS TRIFASICOS				DISEÑOS MONOFASICOS			
DISEÑO STANDAR	POTENCIA [kVA]	CODIGO TUBO	LARGO TUBO [mm]	DISEÑO STANDAR	POTENCIA [kVA]	CODIGO TUBO	LARGO TUBO [mm]
EBT30-DV	30	P098399	220	EBTFM0318-B POSC DV2	5	P098399	220
EBT50-DV	50	P098399	260	EBTFM316 DV-A	10	P098399	220
EBT75-DV2	75	P098399	260	EBTFM0317-FLEJE POSC 130 DV3	15	P098399	260
EBT100-DV	100	P098399	260	EBTFM0312-FLEJE POSC -DV B	25	P098399	260
EBT112,5-DV	112,5	P098399	260	EBTFM0313-FLEJE POSC -DV	37,5	P098499	260
EBTP1085-EH	125	P098399	260	EBTFM0311-FLEJE 1 POSC DV	50	P098499	260
EBT150-DV	150	P098399	260	EBTFM0314-G18 DV POS210 BBM	75	P098499	300
EBTP0930-EH	200	P098399	300	EBTJM023-DV POS210 BBM	100	P098499	350

Nota. En la imagen se observa el diseño eléctrico estándar de cada potencia y en la parte de largo del tubo es la medida estándar que se debe cortar el tubo de papel con un adicional de 60mm.

Para la implementación se realizó la ayuda visual de las medidas estándar de los tubos de papel como se muestra en la Figura 2.56.

Figura 2.57.

Ayuda visual estandarización de longitud de tubos de papel para derivaciones de bobinas



2.5.4. Instalar un eje expandible para la Digmotor

Se consideró un eje expandible para eliminar el tiempo de búsqueda y colocación del molde. Como primer paso, se tomaron las medidas de la máquina, tanto del eje como de la base del mismo como se muestra en la Figura 2.58. Posteriormente, se realizó un análisis para determinar el rango máximo y mínimo de expansión del eje. Para esto, se revisaron los diseños eléctricos, observándose que la máxima distancia que puede alcanzar el cilindro de una bobina en esta línea es de 200mm, y la mínima, de 150mm.

Figura 2.59.

Medición eje expandible

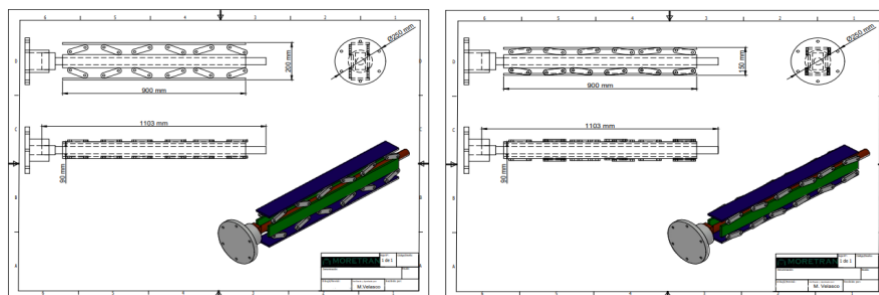


Nota. La toma de medidas estuvo a cargo el área de diseño y se consideró la distancia del eje y la media de la base del eje de la máquina.

Una vez obtenidas las medidas, se elaboró el diseño en AutoCAD, como se puede observar en la Figura 2.60.

Figura 2.60.

Diseño en AutoCAD del eje expnadible Digmotor



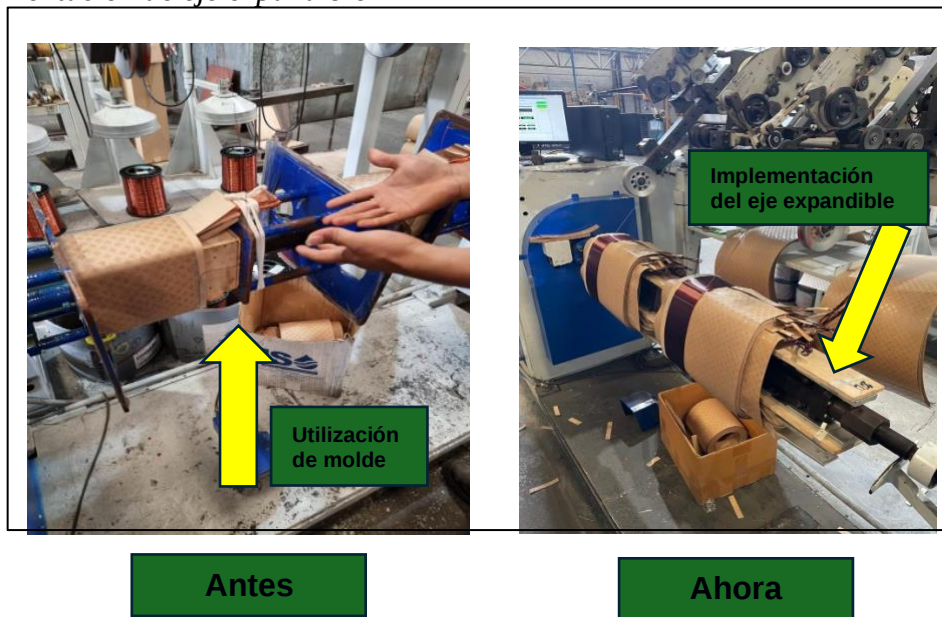
Nota. Se puede observar en la imagen los dos diseños del eje, se muestra el eje expandido y sin expandir.

Para la implementación, el área de mantenimiento fue el encargado, además se realizaron prueba para verificar que el mecanismo funcione correctamente y se pudo validar las distancias del eje eran correctas.

Una vez realiza la implementación del eje expandible en área de bobinado de alta tensión que de la siguiente manera como se puede observar en la Figura 2.61.

Figura 2.61.

Implementación de eje expandible



Nota. Se puede observar en la imagen el antes y el después de la implementación de eje expandible

2.5.5. Realizar estudio de tiempos y determinar la capacidad estándar de las líneas

Una vez que se realizaron todas las implementaciones, se llevó a cabo un estudio de tiempos para determinar el nuevo tiempo que toma producir una bobina. Además, se pudo identificar la capacidad estándar de la línea de bobinado de baja y alta tensión, dato que nos sirve para poder realizar reportes más exactos y aplicar indicadores de producción más precisos, el formato que se utilizó para el estudio de tiempos se puede observar en la Figura 2.61.

Figura 2.62.

Formato para estudio de tiempo

 Registro de tiempos de actividades					
Producto: Bobina de Alta tensión		Operación: Proceso de embobinado		Máquina: DIGMOTOR	
Nombre del operario: Chila		Turno: Matutino	Fechas de análisis: 20/08/2024	Condiciones de temperatura: 28 a 30°C	
Elaborado por: Rommel Betancourt	Revisado por: Winston Alcívar		Aprobado por:	Número de página	
Descripción de actividad	T1	T2	T3	T4	T promedio
ROCOGER LAS TRES BOBINA DE BT	00:01:58	00:01:49	00:02:05	00:01:39	00:01:53
COLOCAR EL MOLDE EN LA BOBINA MONOFASICA Y LAS INGRESA EN LA DIGMOTOR	00:01:35	00:01:40	00:01:29	00:02:00	00:01:41
ASEGURAR BOBINAS: ASEGURA LAS BOBINAS MONOFASICAS EN LA DIGMORTO	00:01:07	00:01:12	00:01:08	00:01:10	00:01:09
AMARRAR PLACAS: AMARRA LAS PLACAS DE COBRE DE LA BOBINA MONOFASICA CON UNA CINTA DE TELA	00:00:50	00:01:03	00:01:36	00:01:50	00:01:20

Registro de tiempos de actividades					
BOBINADO DE BAJA TENSION		Operación: Proceso de bobinado		Máquina: ERASAN	
Nombre del operario: MARTINEZ		Turno: Matutino	Fechas de análisis: 19/08/2024	Condiciones de temperatura:	
Elaborado por: Rommel Betancourt	Revisado por: Winston Alcívar		Aprobado por:	Número de página	
Descripción de actividad	T1	T2	T3	T promedio	
COLOCAR TABLAS EN EL EJE: EL OPERADOR COLOCA LAS TABLAS EN EL EJE DE LA ERASAN CON CINTA	0:01:22	0:01:30	0:01:09	0:01:20	
TOMAR MEDIDA DE LAS DIMENSIONES DEL EJE Y SEPARAR DIMENSIONES DEL CARTON: CON LAS DIMENSIONES DEL EJE, CON UNA PLUMA SEPARA LAS DIMENSIONES DEL CARTON QUE VA SERVIR COMO MOLDE DE LA NUEVA BOBINA.	0:01:34	0:01:46	0:02:46	0:02:02	
DAR FORMA AL CARTON CON MARTILLO: SE LE DA LA MISMA FORMA Y DIMENSIONES DEL EJE	0:01:07	0:01:25	0:01:59	0:01:30	
COLOCAR MOLDE DE CARTON EN EL EJE: EL OPERARIO COLOCA EL CARTON MOLDEADO EN EL EJE Y LO PEGA CON GOMA Y CINTA	0:00:47	0:00:53	0:01:13	0:00:58	
COLOCAR GOMA SOBRE EL MOLDE DE CARTON	0:00:26	0:00:27	0:00:00	0:00:18	

Nota. Se puede observar en la imagen el formato para estudio de tiempo

Una vez obtenido el tiempo observado, tomando cuatro muestras para el proceso de bobinado de alta tensión y tres muestras para el proceso de bobinado de baja tensión, se obtuvo un tiempo de 31:22 min/bobina. Aplicando márgenes y suplementos de tolerancia, se pudo obtener un tiempo estándar de 46:40 min para el proceso de bobinado de alta tensión. Para el proceso de bobinado de baja tensión, se obtuvo un tiempo observado de 29:28 min/bobina y, aplicando márgenes y suplementos de tolerancia, se pudo obtener un tiempo estándar de 43:50 min/bobina, como se puede observar en la Figura 2.62. y Figura 2.63.

Figura 2.63.

Márgenes y suplementos de tolerancia

BOBINADO DE ALTA TENSION														
Nombre del Operario							Chila							
Factor nivelación- CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO														
E	H	Co	Cs				Fn							
0.08	0.08	0.02	0.01				1.19							
MARGENES Y TOLERANCIAS (SUPLEMENTOS)														
Tolerancias Constantes				Tolerancias Variables										Fs
A1	A2	A3	B1	B2a	B3	B4A	B5	B6c	B7	B8b	B9b	B10b		
5	4	2	2	0	2	0	2	2	2	1	1	2	0.25	

Fn	1+Fs	To	TS
1.19	1.25	0:31:22	0:46:40

BOBINADO BAJA TENSION													
Nombre del Operario				MARTINEZ									
Factor nivelación- CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO POR VELOCIDAD													
E	H	Co	Cs						Fn				
0.08	0.08	0.02	0.01						1.19				
MARGENES Y TOLERANCIAS (SUPLEMENTOS)													
Tolerancias Constantes				Tolerancias Variables									
A1	A2	A3	B1	B2a	B3	B4a	B5	B6c	B7	B8b	B9b	B10b	Fs
5	4	2	2	0	2	0	2	2	2	1	1	2	0.25

Fn	1+Fs	To	TS
1.19	1.25	0:29:28	0:43:50

Nota. Se puede observar en la imagen los márgenes y suplementos de tolerancia

Como resultado del estudio de tiempos, se concluyó que la capacidad de las líneas de baja tensión y de alta tensión es de 12 bobinas diarias. Una vez obtenida la capacidad, se realizó el reporte diario de producción, en el cual se registrarán las paradas programadas, las paradas no programadas y la producción real diaria, como se puede observar en la Figura 2.63.

Figura 2.64.

Reporte de producción diario

[illegible][illegible]

Nota. Cada operador debe de tener su reporte de producción.

Capítulo 3

3.1. Resultados y análisis

Luego de realizar las implementaciones descritas, se logró reducir de forma significativa los tiempos de producción. La línea de bobinado de baja tensión obtuvo una reducción del 20.20% en el tiempo de producción, y la línea de bobinado de alta tensión, una reducción del 29.87%, como se puede observar en la Tabla 3.1. y en las Figuras 2.64. y 3.1.

Tabla 3.1.

Reducción de tiempos de producción de bobina

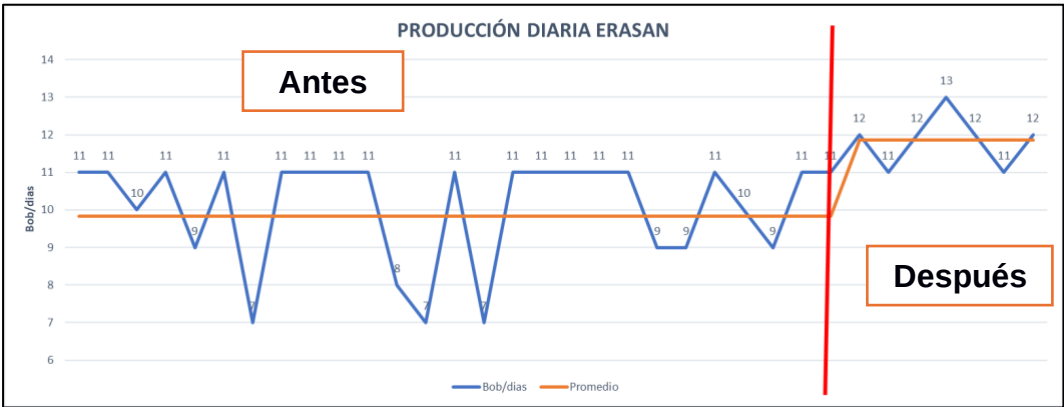
Línea	Enero – diciembre 2023	Ahora 2024
Baja tensión (Erasan)	54.93 Min/bobina	43.83 Min/bobina
Alta tensión (Digmotor)	66.17 Min/bobina	46.40 Min/bobina

Nota. En la tabla se puede observar la reducción de tiempos de producción de bobina

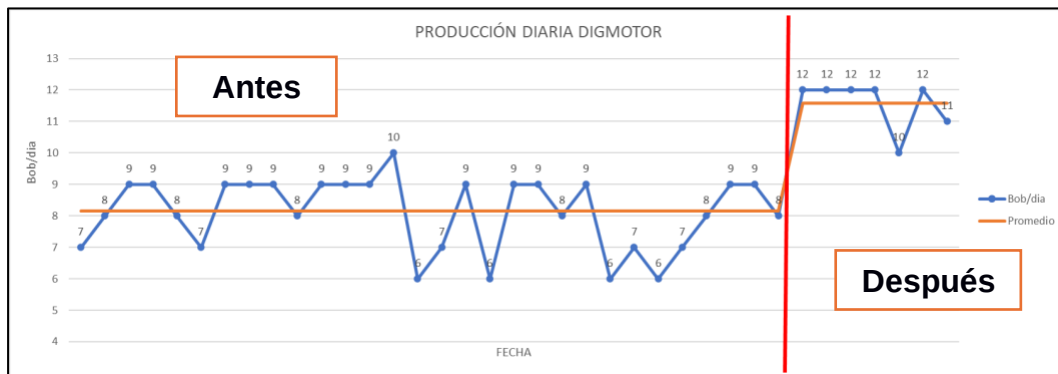
Se puede notar una mejora en la producción diaria tanto en la línea de baja tensión Erasan, con un promedio de 11.86 bobinas al día, como en la línea de alta tensión Digmotor, con un promedio de 11.57 bobinas al día.

Figura 3.1.

Producción diaria Erasan Antes y Después



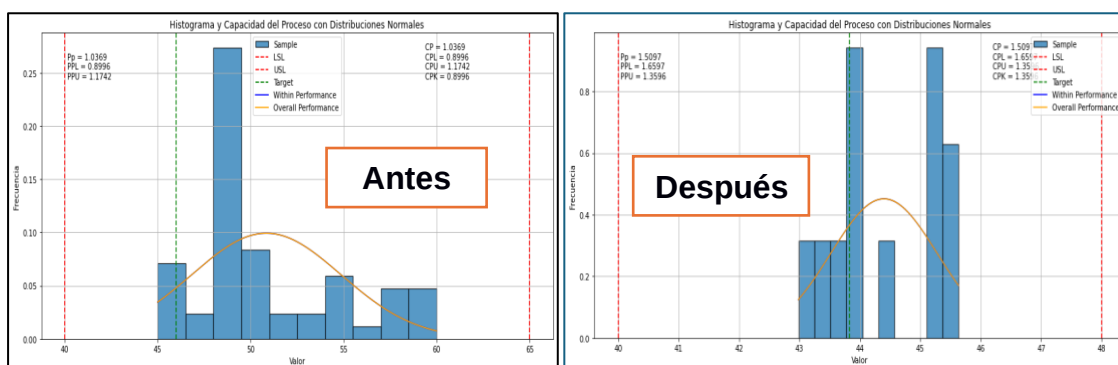
Nota. En el gráfico se puede observar la producción diaria Erasan antes y después

Figura 3.2.*Producción diaria Digmotor Antes y Después*

Nota. En el gráfico se puede observar la producción diaria digmotor antes y después

Considerando los cambios realizados en las líneas de bobinado, se llevó a cabo un análisis de capacidad y carta de control para los procesos de bobinado de baja y alta tensión.

Para el proceso de baja tensión se realizó un análisis de capacidad donde se puede evidenciar que ahora presentan un $CPK > 1$, lo cual indica que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones establecidas.

Figura 3.3.*Análisis de capacidad en minutos proceso de bobinado de baja tensión antes y después*

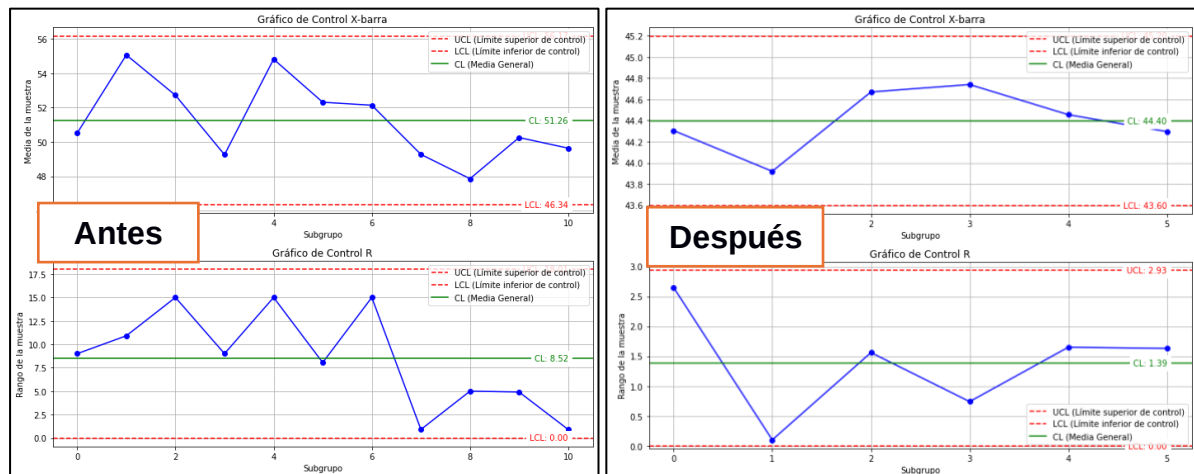
Nota. En el gráfico se puede observar la capacidad proceso de bobinado de baja tensión antes y después

Se puede observar que el tiempo promedio en minutos en el proceso de bobinado de baja tensión es de 51.26 minutos por bobina antes y después se evidencia una disminución a

44.40 minutos por bobinas. Además, los datos se encuentran dentro de los límites de control, lo que indica que el proceso está bajo control.

Figura 3.4.

Carta de control proceso de bobinado de baja tensión antes y después

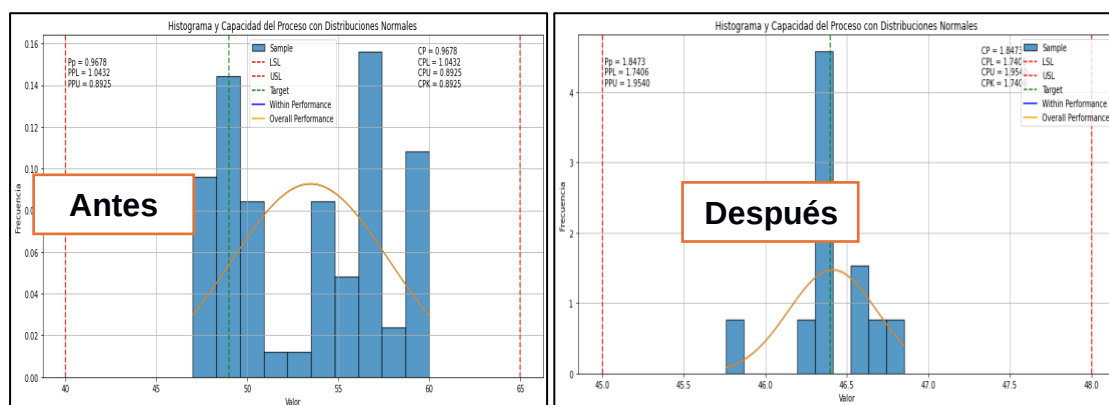


Nota. En el gráfico se puede observar proceso de bobinado de baja tensión antes y después

Para el proceso de alta tensión se realizó un análisis de capacidad donde se puede evidenciar que ahora presentan un $CPK > 1$, lo cual indica que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones establecidas.

Figura 3.5.

Analisis de capacidad en minutos proceso de bobinado de alta tensión antes y después



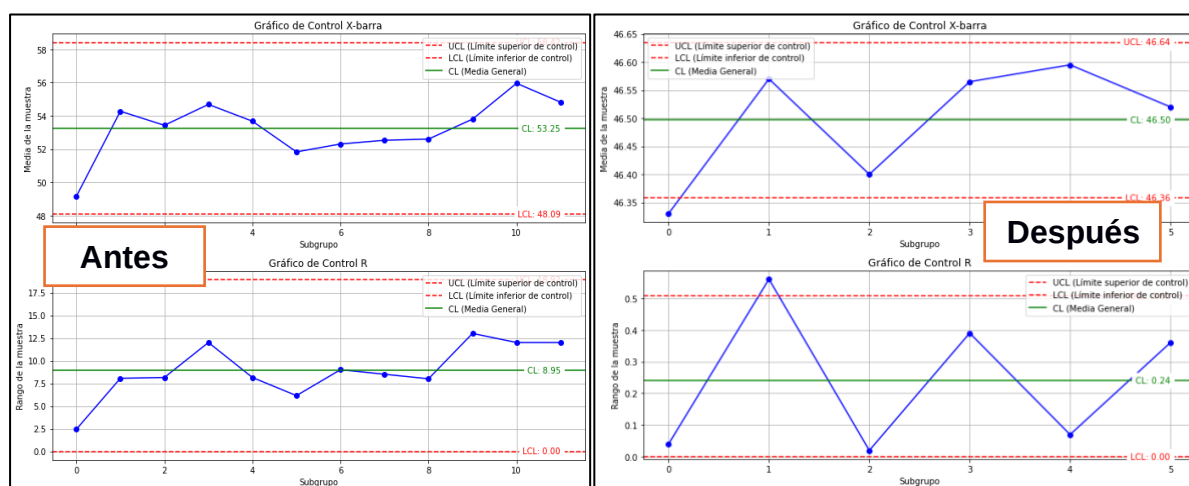
Nota. En el gráfico se puede observar capacidad proceso de bobinado de alta tensión antes y después

Se puede observar que el tiempo promedio en minutos en el proceso de bobinado de alta tensión es de 53.25 minutos por bobina antes y después se evidencia una disminución a 46.50 minutos por bobinas.

Además, los datos se encuentran dentro de los límites de control, lo que indica que el proceso está bajo control.

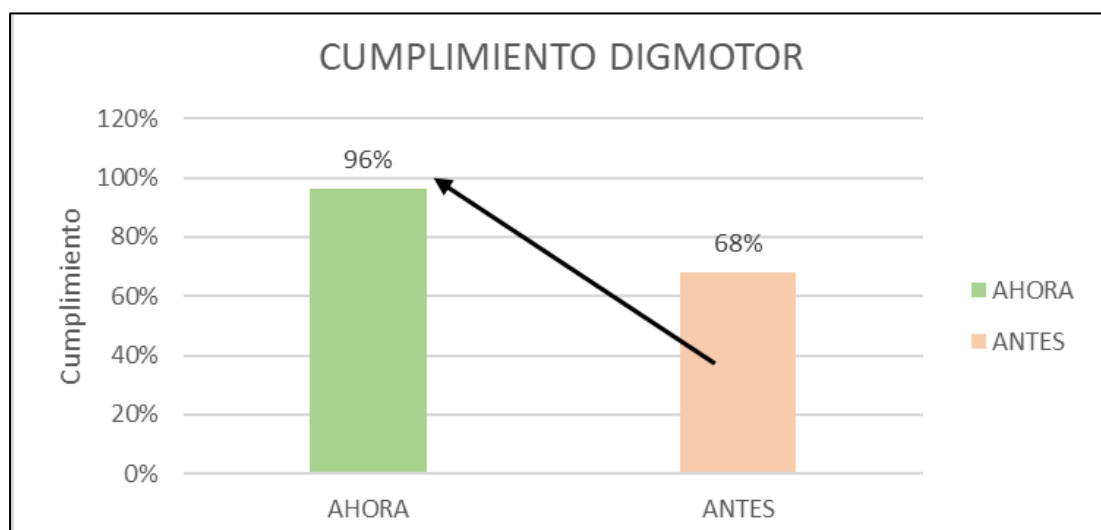
Figura 3.6.

Carta de control proceso de bobinado de alta tensión antes y después

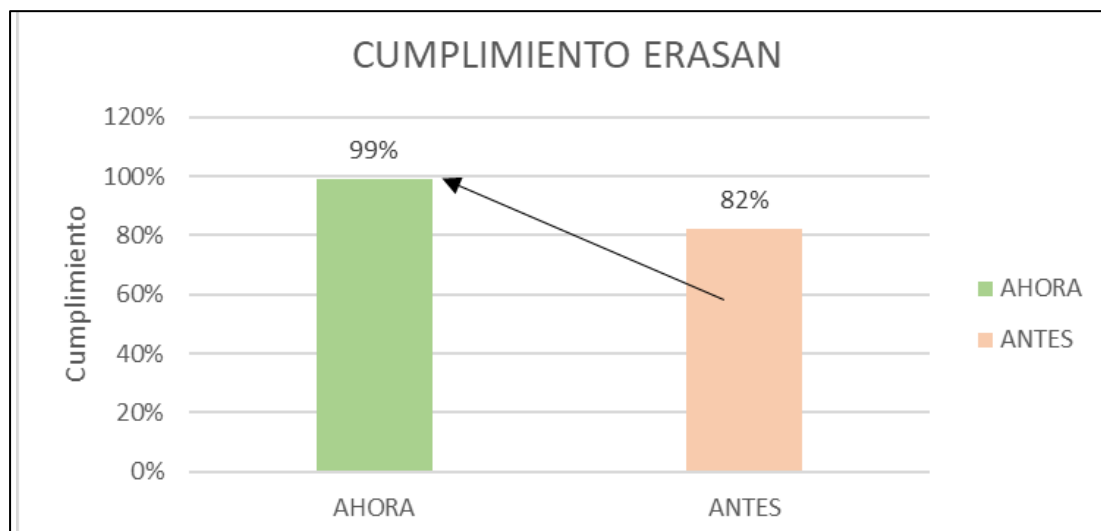


Nota. En el gráfico se puede observar el proceso de bobinado de alta tensión antes y después

En cuanto al pilar económico, al establecer un estándar de producción de 12 bobinas diarias, se obtuvo un porcentaje de cumplimiento del 96% para la línea de alta tensión Digmotor y del 98.8% para la línea de baja tensión Erasan.

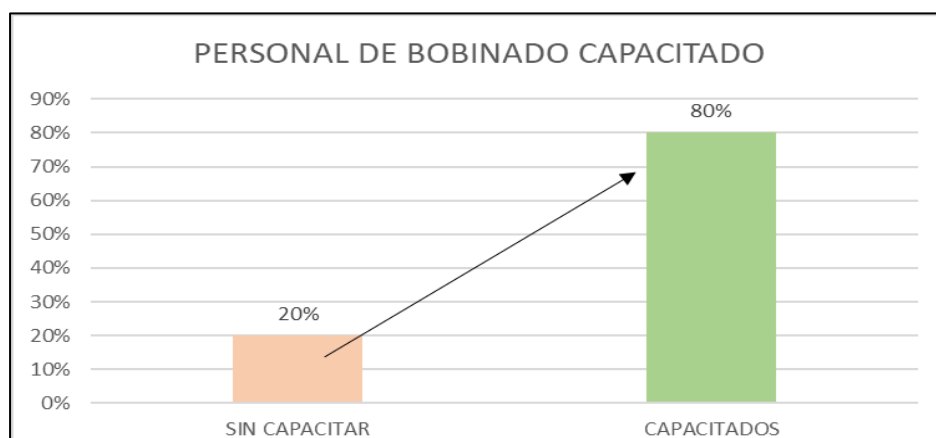
Figura 3.7.*Cumplimiento de producción Digmotor*

Nota. En el gráfico se puede observar el cumplimiento de producción Digmotor

Figura 3.8.*Cumplimiento de producción Erasan*

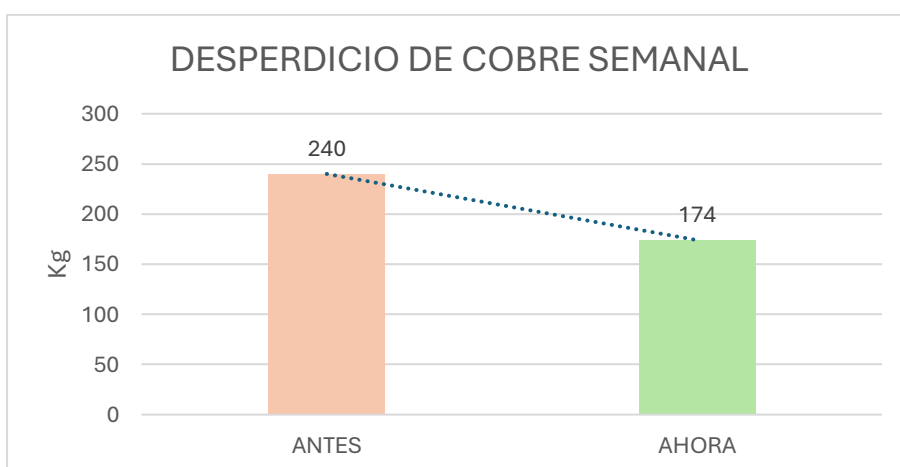
Nota. En el gráfico se puede observar el cumplimiento de producción Erasan

En cuanto al pilar social, se capacitó a los operadores del área de bobinado, donde se les enseñó cómo llenar el reporte diario de producción y se les brindó una breve explicación de cada parada no programada, la cual deberá ser registrada.

Figura 3.9.*Personal capacitado área de bobinado*

Nota. En el gráfico se puede observar al personal capacitado área de bobinado

Para el pilar ambiental, logramos reducir en un 27.5% el desperdicio de cobre debido a la mala manipulación de las láminas de cobre durante su traslado con el puente grúa. Esto se debía a que utilizaban una faja que, al levantar la lámina, doblaba los bordes de la misma, lo que resultaba en que esa porción de la lámina debía ser desechada. Por tal motivo, se implementó un gancho que ayuda en el traslado de la lámina de cobre sin dañarla. Se pudo observar una reducción de 66Kg durante la primera semana.

Figura 3.10.*Desperdicio de cobre*

Nota. En el gráfico se puede observar el desperdicio de cobre que se detecta

Capítulo 4

4.1. Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

A través de la implementación de la metodología DMAIC se logró reducir el tiempo de producción de bobinas; en la línea de bobinado de baja tensión, se redujo el tiempo de producción en un 20.20%, y en la línea de bobinado de alta tensión, se redujo el tiempo de producción en un 29.87%. De igual forma se consiguió un incremento de la producción de las líneas de bobinado de 9 bobinas diarias a 12 bobinas diarias y se redujo en un 27.5 % el desperdicio de cobre semanal.

Se identificaron las causas raíces de los problemas de rendimiento en las líneas de producción; carencia de reporte diario de producción, fallos en compresos, montajes y traslados, tubos de papel sin cortar, medidas de grosores de papel y moldes disparejos, entre otros. Lo que permitió implementar mejoras específicas orientadas a optimizar la eficiencia operativa. Además, se estableció un sistema de control robusto que ofrece una visión clara y precisa del rendimiento de las líneas de bobinado, facilitando la toma de decisiones informadas basadas en datos reales.

4.1.2. Recomendaciones

Es recomendable realizar un análisis detallado de la capacidad de las líneas de bobinado Trishull y China para identificar oportunidades de mejora y optimización. Este análisis debe considerar tanto la capacidad teórica como la capacidad real de producción, evaluando factores como la eficiencia del equipo, tiempos de inactividad, y tasas de rechazo. Además, la implementación de un sistema de reporte de orden y limpieza en las líneas de bobinado permitirá mantener un entorno de trabajo seguro y eficiente.

Por otra parte, se recomienda la capacitación continua del personal sobre el proceso de reporte diario de producción, asegurando que todos los empleados comprendan y sigan los procedimientos establecidos para la recopilación y registro de datos. Esto no solo garantiza la

consistencia en la información reportada, sino que también facilita el monitoreo del rendimiento y la identificación de áreas de mejora. Asimismo, la implementación del indicador de rendimiento OEE, que permitirá toma de decisiones más proactiva, orientada a incrementar la eficiencia operativa y a reducir las pérdidas en la producción.

Referencias

- Alaya, A. B. (2016). El método Seis Sigma: Mejore los resultados de su negocio. Economía y empresa 50Minutos.
- Albert, E. N., Soler, V. G., y Molina, A. I. (2017). Metodología e implementación de Six Sigma. *3C Empresa: investigación y pensamiento crítico*, 1, 73-80.
- Ballestín, F. J., Cervero, D., Bludszuweit, H., Martinez, R., Saez Castro, J. A., y Tecnológico., S. V. (2020). Fault location in low-voltage distribution networks based on reflectometry – A case study. *Renewable Energy and Power Quality Journal*.
- Castillo, N. M. (2021). Implementación de la metodología Lean Six Sigma para reducir costos de producción en el proceso de fabricación de transformadores de baja tensión en la empresa Niusa SAC. Repositorio Institucional de la UTP.
- Chen, Q., y Yang, H. W. (2019). Dielectric Properties of Epoxy Resin Impregnated Nano-SiO₂ Modified Insulating Paper. *Polymers*, 11(3).
- Escudero, R. M., y González, J. V. (2016). análisis de los procesos de laboratorio para el control de calidad de bobinas de alambres esmaltados, usando técnicas lean, teoría de restricciones y simulación dinámica, en una empresa de fabricación de cables eléctricos. ESPOL.
- Fernandez, M. M. (2021). Propuesta de mejora en la línea de extrusión de bobinas de polietileno de la empresa Polybags Perú SRL para incrementar la productividad. USAT.
- Garza, R. R., González, S. C., Rodríguez, G. E., y Hernández, A. C. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 22, 19-35.
- Henao, J., Fernández, A., y Gómez, D. G. (2020). Técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia: Una revisión crítica. *Ingeniare. Rev. chil. ing*, 28(2), 184-203.

Hernández, J., Mantilla, A. D., Perdomo, D. A., Guzmán, O. R., Agredo, S. A., y Galvis, O. (2018). Hernández, J., Mantilla, A. D. R. T., Perdomo, D. A. P., Guzmán, O. R. V., Agredo, S. A., & Galvis, O. *Estimulación de la germinación de espinaca (Spinacia oleracea) a través de electromagnetismo.*, 4, 205-218.

Trillos, L. N., Barrero, ,. P., y Gómez, P. J. (2020). Diseño y construcción de un transformador electrónico 12Vrms 50W con control de frecuencia de conmutación programable. *Scientia et Technica*, 25(3), 358-366.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22517/23447214.24251>.

APÉNDICES

RE: Toma de muestras proceso de bobinado de alta tensión y baja tensión

WA

Winston Alcivar

Para Rommel Betancourt

Responder

Responder a todos

Reenviar

...

martes 2/7/2024 19:25

Que tal Rommel
Muchas gracias
Aprobado y validado sus datos de estudio y análisis de tiempo en la ERASAN Y DIGIMOTOR.
Se informa para fines pertinentes

WINSTON ALCIVAR M.

Jefe de Procesos y Mejora Continuas

ECUACABLE S.A.

Ecuadoriana de Cables

Guayaquil:

Km.15½ vía a Daule y Av. Rosavín,

Parque Industrial Pascuales

PBX: (593-4) 3728690 Ext: 1622

Contacto: 0987248664

walcivar@ecuacable.ec

www.ecuacable.ec

De: Rommel Betancourt <rbetancourt@moretran.ec>
Enviado: lunes, 1 de julio de 2024 17:43
Para: Winston Alcivar <walcivar@ecuacable.ec>
Asunto: Toma de muestras proceso de bobinado de alta tensión y baja tensión

Buenas tardes,
Ing. [@Winston Alcivar](#) se adjunto los tiempos que se tomaron en el proceso de bobinado en las líneas de baja tensión ERASAN y alta tensión DIGIMOTOR.
El cual se realizaron 30 muestras para el proceso de bobinado alta tensión y 20 muestras para el proceso de bobinado baja tensión
Quedo atento a comentarios validos.

ROMMEL BETANCOURT C.

Asistente de mejora continua

MORETRAN

Moretrane de Cables

Guayaquil:

Km.7½ vía a Daule diagonal

WA

Winston Alcivar

Para Renato Pico; Rommel Betancourt

CC Luis Cueva

Responder

Responder a todos

Reenviar

...

lunes 15/7/2024 10:09

📌 Seguimiento. Comienza el miércoles, 17 de julio de 2024. Vence el miércoles, 17 de julio de 2024.
Este mensaje es la respuesta a una conversación con seguimiento. Haga clic aquí para buscar todos los mensajes relacionados o para abrir el mensaje marcado original.

Que tal Rommel
Muchas gracias por la información, se va a proceder con la elaboración del plan de acción y seguimiento de la ejecución del mismo.

WINSTON ALCIVAR M.

Jefe de Procesos y Mejora Continuas

ECUACABLE S.A.

Ecuadoriana de Cables

Guayaquil:

Km.15½ vía a Daule y Av. Rosavín,

Parque Industrial Pascuales

PBX: (593-4) 3728690 Ext: 1622

Contacto: 0987248664

walcivar@ecuacable.ec

www.ecuacable.ec

RE: Presentación 4 Materia Integradora

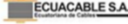
WA Winston Alcivar
Para [Rommel Betancourt](#); [Luis Cueva](#); [Renato Pico](#)

[Responder](#) [Responder a todos](#) [Reenviar](#) [...](#)

martes 20/8/2024 12:53

Que tal Rommel
Buenos días
Excelente trabajo, por favor su ayuda con el seguimiento para el control de los implementado

WINSTON ALCIVAR M.
Jefe de Procesos y
Mejora Continuas

**ECUACABLE S.A.**
Empaques de Calidad

Guayaquil:
Km. 15½ vía a Daule y Av. Rosavín,
Parque Industrial Pascuales
PBX: (593-4) 3728690 Ext: 1622
Contacto: 0987248664
walcivar@ecuacable.ec
www.ecuacable.ec

De: Rommel Betancourt <rbetancourt@moretran.ec>
Enviado: lunes, 19 de agosto de 2024 15:45
Para: Winston Alcivar <walcivar@ecuacable.ec>; Luis Cueva <lcueva@moretran.ec>; Renato Pico <rpico@moretran.ec>
Asunto: Presentación 4 Materia Integradora

Estimados [@Winston Alcivar](#), [@Renato Pico](#), [@Luis Cueva](#)
Adjunto presentación 4 que contiene lo siguiente:
- Resultados de las soluciones implementadas de acuerdo al plan presentado en la etapa 3.
- Validación de resultados y comparación de datos antes y después del proyecto (nuevo análisis de capacidad)

RE: Presentación 4 Materia Integradora

RP Renato Pico
Para [Rommel Betancourt](#)
CC [Winston Alcivar](#); [Luis Cueva](#)

[Responder](#) [Responder a todos](#) [Reenviar](#) [...](#)

martes 20/8/2024 8:54

Buenos días estimado [@Rommel](#),

En base a lo implementado, en piso ha sido notorio el cambio vistas desde varias aristas, como lo es:
El aumento de producción de las bobinas y visualmente el puesto de trabajo, contando con lugares específicos para cada insumo, donde no solo se mejora la reducción de tiempos innecesario sino también genera un mejor ambiente de trabajo,

De parte de producción continuaremos con el plan de control mediante el uso de los formatos establecidos,

Muchas gracias,

RENATO PICO
Coordinador de Planta

**MORETRAN**
PARCELAS S.A. TRANSFORMACIONES

Guayaquil:
Km. 7½ vía a Daule diagonal
a Textiles San Antonio
PBX: (593-4) 3779850 Ext: 2109
Contacto: 0968819775
rpico@moretran.ec
www.moretran.ec

De: Rommel Betancourt <rbetancourt@moretran.ec>
Enviado el: lunes, 19 de agosto de 2024 15:45
Para: Winston Alcivar <walcivar@ecuacable.ec>; Luis Cueva <lcueva@moretran.ec>; Renato Pico <rpico@moretran.ec>
Asunto: Presentación 4 Materia Integradora

Estimados [@Winston Alcivar](#), [@Renato Pico](#), [@Luis Cueva](#)
Adjunto presentación 4 que contiene lo siguiente:
- Resultados de las soluciones implementadas de

